



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΑΛΙΚΗ Ν. ΚΟΚΚΑΛΑ
MSc Τεχνικός Γεωλόγος

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ. ΕΡΕΥΝΑ ΕΠΙ ΤΗΣ
ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024



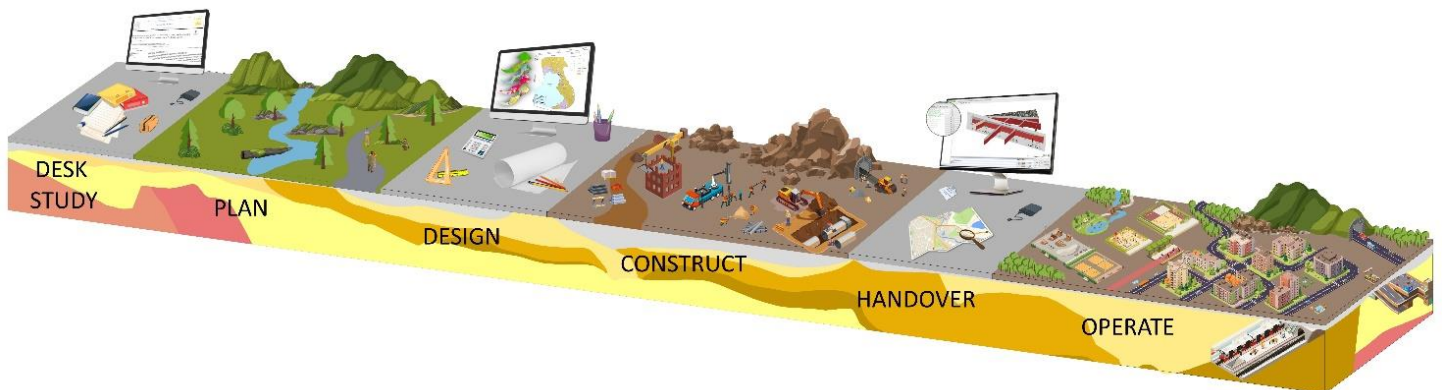


ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI
FACULTY OF SCIENCES
SCHOOL OF GEOLOGY

ALIKI N. KOKKALA
MSc Engineering Geologist

ENGINEERING GEOLOGICAL ASSESSMENT AND CLASSIFICATION OF
THESSALONIKI'S URBAN AREA FORMATIONS USING A GEOTECHNICAL
DATABASE. RESEARCH ON THE TECHNICAL BEHAVIOR AND
APPLICATIONS IN THE DESIGN OF ENGINEERING PROJECTS

DOCTORAL THESIS



THESSALONIKI
2024



*«Στοργικά με θαλπωρή τη γη αν αγγίζεις
υποτακτικά μυστικά αυτή θα σε αγαπήσει.
Μη, μη ποτέ σαδιστικά τη τραυματίσεις.»*

Κωνσταντίνος Ζερβαντωνάκης

*Ποιήματα,
ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ
Ταξιδεύοντας με τον Παύλο
2000-2002*

*«Η τελική έξοδος όσο κι αν μοιάζει
δεν είναι ηρωική
κοιτώντας γύρω συνεχίζεις
συνεχίζεις με ότι έμαθες
μ' ότι κρατάει τη μουσική
μ' ότι κρατάει όρθιο τον κόσμο
συνεχίζεις
σ' έναν αληθινό ουρανό
με ό,τι έχασες μ' ό,τι γυρεύεις
μ' έναν καθρέφτη λιγότερο απατηλό
το δικό σου πρόσωπο»*

Έμμη Μπαζοπούλου

*Λειψό πλευρό
2019*





ΑΛΙΚΗ Ν. ΚΟΚΚΑΛΑ
MSc Γεωλόγος

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΟΥ
ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ
ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ. ΕΡΕΥΝΑ ΕΠΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Εκπονήθηκε στον Τομέα Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.
Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. το Δεκέμβριο του 2023

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 19/12/2023

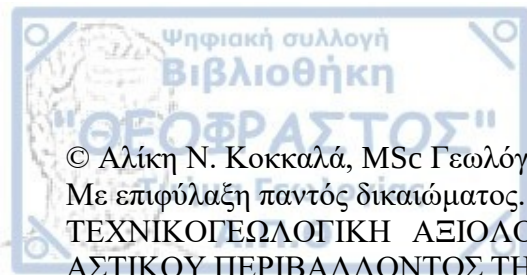
Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Ν°: 239

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επικ. Καθηγητής, Μαρίνος Βασίλειος, Επιβλέπων
Αναπ. Καθηγητής, Παπαθανασίου Γεώργιος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Επικ. Καθηγητής, Μουρατίδης Αντώνιος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Εξεταστική Επιτροπή

Επικ. Καθηγητής, Μαρίνος Βασίλειος, Επιβλέπων
Αναπ. Καθηγητής, Παπαθανασίου Γεώργιος
Επικ. Καθηγητής, Μουρατίδης Αντώνιος
Καθηγητής, Βουδούρης Κωνσταντίνος
Επικ. Καθηγητής, Δεπούνης Νικόλαος
Καθηγητής, Λουπασάκης Κωνσταντίνος
Επικ. Καθηγήτρια, Μανάκου Μαρία



© Αλίκη Ν. Κοκκαλά, MSc Γεωλόγος, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ. ΕΡΕΥΝΑ ΕΠΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ. – Διδακτορική Διατριβή

© Aliko N. Kokkala, MSc Geologist, 2024

All rights reserved.

ENGINEERING GEOLOGICAL ASSESSMENT AND CLASSIFICATION OF THESSALONIKI'S URBAN AREA FORMATIONS USING A GEOTECHNICAL DATABASE. RESEARCH ON THE TECHNICAL BEHAVIOR AND APPLICATIONS IN THE DESIGN OF ENGINEERING PROJECTS. – *Ph.D. Thesis*

Η παρούσα διδακτορική διατριβή χρηματοδοτήθηκε από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (Γ.Γ.Ε.Τ.) και το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της «2ης ΠΡΟΚΗΡΥΞΗΣ ΥΠΟΤΡΟΦΙΩΝ ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. ΓΙΑ ΥΠΟΨΗΦΙΟΥΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΕΣ» (Κωδικός Υποτροφίας: 94, 99319).

Citation:

Κοκκαλά Α. Ν., 2024. – Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση και ταξινόμηση των σχηματισμών του αστικού περιβάλλοντος της Θεσσαλονίκης με τη χρήση γεωτεχνικής βάσης δεδομένων. Έρευνα επί της τεχνικής συμπεριφοράς και εφαρμογές στον σχεδιασμό τεχνικών έργων. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμ. Γεωλογίας Νο 239

Kokkala A. N., 2024. – Engineering geological assessment and classification of Thessaloniki's urban area formations using a geotechnical database. Research on the technical behavior and applications in the design of engineering projects. Ph.D. Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Annex Number of Scientific Annals of the School of Geology No 239

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι γεωλογικές αβεβαιότητες που συναντώνται σε μια αστική περιοχή προκύπτουν από ένα συνδυασμό φυσικών κι ανθρωπογενών παραγόντων, αντανακλώντας την πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις αστικές περιοχές. Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκκινεί από τη ανάγκη ανάπτυξης μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας, η οποία αξιοποιεί και αξιολογεί σε βάθος τη διαθέσιμη γεωλογική και τεχνικογεωλογική πληροφορία, με στόχο την απομείωση αυτών των αβεβαιοτήτων. Η αφετηρία πραγματοποιείται με τη δημιουργία μιας τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων προσανατολισμένη στον σχεδιασμό τεχνικών έργων, τη διαχείριση έναντι γεωκινδύνων και την προστασία του γεωπεριβάλλοντος στη λεκάνη της Θεσσαλονίκης.

Με την κατασκευή της συγκεκριμένης τεχνικογεωλογικής και γεωτεχνικής βάσης δεδομένων είναι ικανή η συγκέντρωση, επεξεργασία κι αξιολόγηση ενός μεγάλου πλήθους δεδομένων με σκοπό τη διεξοδική διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών και των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων της δεύτερης μεγαλύτερης πόλης στην Ελλάδα. Τα δεδομένα αφορούν σ' ένα πλήθος πρωτογενών γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών στοιχείων προερχόμενα από περισσότερες από 600 γεωτρήσεις που διενεργήθηκαν στο πλαίσιο πλήθος γεωτεχνικών ερευνών και μελετών, τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα μέχρι πρότινος. Τούτα αναφέρονται σε φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές παραμέτρους όπως προέκυψαν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών που διενεργήθηκαν στους εδαφικούς γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας, δηλαδή τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.

Από την ανάλυση και συσχέτιση των δεδομένων είναι ικανή η απομείωση της αβεβαιότητας στο αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης μέσω:

- της αναπαράστασης των εγγενών γεωλογικών διακυμάνσεων που σχετίζονται με το πάχος και βάθος των εδαφικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας
- της λεπτομερούς διερεύνησης της ετερογένειας που παρουσιάζουν οι αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας ως προς τη σύστασή τους
- του καθορισμού των διαφοροποιήσεων που εμφανίζουν τα γεωυλικά ως προς την επικράτηση της κοκκομετρίας
- της έρευνας των τεχνικογεωλογικών συνθηκών των εξεταζόμενων σχηματισμών τόσο επιφανειακά, όσο και με λεπτομέρεια σε βάθος με:
 - την παράθεση εύρους τιμών πλήθους φυσικών και μηχανικών παραμέτρων και
 - τον προσδιορισμό της χωρικής κατανομής τους

- του εντοπισμού ζωνών αυξημένης γεωλογικής επικινδυνότητας για:
 - την αποφυγή τέτοιων περιοχών κατά τον αρχικό σχεδιασμό τεχνικών έργων, σε επίπεδο χάραξης αλλά και πρόδρομης ανάλυσης
 - την αξιολόγηση εκδήλωσης γεωκινδύνων

Ειδικότερα, μέσω της παρούσας έρευνας προσδιορίζεται ένα σημαντικό εύρος χρήσεων της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων που έχουν σκοπό:

- i. Να αναδείξουν τον τρόπο με τον οποίο η τεχνικογεωλογική έρευνα συμβάλλει στη διασφάλιση της ασφάλειας κατά τον σχεδιασμό των αστικών έργων υποδομής, όπως τα κτίρια, οι δρόμοι και τα υπόγεια έργα
- ii. Να προτείνουν βέλτιστες μεθόδους και πρακτικές ώστε να προληφθεί ή/και να μειωθεί ο κίνδυνος αστοχίας κατά το αρχικό στάδιο προγραμματισμού
- iii. Να καθορίσουν εύρη παραμέτρων σε συγκεκριμένες περιοχές, προσδιορίζοντας ένα πρόδρομο τεχνικογεωλογικό πρότυπο και αναδεικνύοντας την ανάγκη για περαιτέρω διενέργεια στοχευμένου γεωερευνητικού προγράμματος με σκοπό τον λεπτομερή σχεδιασμό τεχνικών έργων
- iv. Να προσδιορίσουν πιθανούς γεωκινδύνους εντός αστικού περιβάλλοντος, όπως οι καθιζήσεις και η ρευστοποίηση
- v. Να τονίσουν τη σημασία και ιδιαίτερη συμβολή της λεπτομερούς τεχνικογεωλογικής έρευνας με σκοπό τον μετριασμό αυτών των γεωκινδύνων
- vi. Να ενισχύσουν τις διάφορες διαδικασίες λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με:
 - τον ασφαλή αστικό σχεδιασμό της Θεσσαλονίκης και την προστασία της από γεωκινδύνους
 - ζητήματα πολιτικής προστασίας και διαχείρισης κρίσεων

Συνολικά, η καινοτομία της παρούσας έρευνας έγκειται στην ανάπτυξη ενός πολύτιμου και ιδιαίτερα χρήσιμου εργαλείου το οποίο είναι ικανό ώστε να αξιοποιεί διεξοδικά τη διαθέσιμη γεωλογική και τεχνικογεωλογική γνώση, καθιστώντας άμεση κι εύκολη την αξιοποίησή της από τις ενδιαφερόμενες ειδικότητες που σχετίζονται με τους τομείς της τεχνικής γεωλογίας, γεωτεχνικής μηχανικής αλλά και πολιτικής προστασίας.

Με την ολοκλήρωση της διατριβής, επιθυμώ να εκφράσω την ευγνωμοσύνη και τις θερμές ευχαριστίες μου, σε όλους εκείνους που συνέβαλαν ποικιλοτρόπως στην εκπόνησή της και συγκεκριμένα:

Τον επιβλέποντα της διατριβής Επίκ. Καθηγητή Ε.Μ.Π. Βασίλη Μαρίνο για την ανάθεση του θέματος της διδακτορικής διατριβής. Τον ευχαριστώ από καρδιάς για τη συνεχή καθοδήγηση, την εμπιστοσύνη του και το ουσιαστικό ενδιαφέρον καθόλη τη διάρκεια της διατριβής. Μα κυρίως για όλα τα μαθήματα που μου δίδαξε εντός γραφείου αλλά και στην ύπαιθρο, εκεί όπου κι ο ίδιος γνώρισε κι αγάπησε το αντικείμενο της Τεχνικής Γεωλογίας από τον πατέρα του. Τον ευχαριστώ βαθιά για τις ανθρώπινες στιγμές που μοιραστήκαμε και τη φιλία που αναπόφευκτα αναπτύχθηκε μεταξύ μας.

Τον Αναπ. Καθηγητή Α.Π.Θ. Γιώργο Παπαθανασίου για το αληθινό ενδιαφέρον του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της διατριβής, την πολύτιμη βοήθεια κι ενθάρρυνση του ειδικά τα τελευταία χρόνια της διατριβής. Τον ευχαριστώ θερμά για τη σημαντική στήριξη σε όλα τα επίπεδα και ιδιαίτερα για την εμπιστοσύνη που έδειξε στη δουλειά μου, την οποία υποστήριξε με κάθε ευκαιρία.

Τον Επίκ. Καθηγητή Α.Π.Θ. Αντώνη Μουρατίδη για τις συνεχείς κι αναλυτικές συζητήσεις με σκοπό τη αναβάθμιση του περιεχομένου συγκεκριμένων ενοτήτων της διατριβής και την ανάδειξη της δομής και διάρθρωσης του κειμένου, καθώς και για τη συμμετοχή του στην Τριμελή Συμβουλευτική Επιτροπή.

Τον Καθηγητή Α.Π.Θ. Κωνσταντίνο Βουδούρη για την ιδιαίτερα σημαντική του συμβολή και καθοδήγησή στη διάρκεια της διατριβής με χρήσιμες συζητήσεις και πολύτιμες συμβουλές σε επίπεδο επιστημονικής καθοδήγησης.

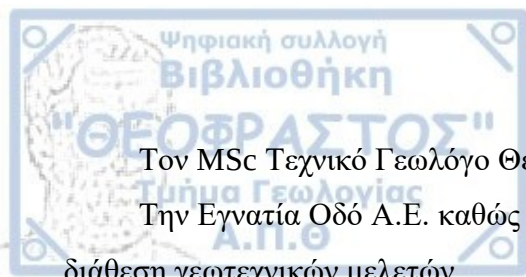
Τον Επίκ. Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πατρών Νικόλαο Δεπούντη για τις ουσιαστικές παρατηρήσεις του στο τελευταίο στάδιο της διατριβής και τη συμμετοχή του στην Επταμελή Εξεταστική Επιτροπή της διδακτορικής διατριβής.

Τον Καθηγητή Ε.Μ.Π. Κωνσταντίνο Λουπασάκη για τις συμβουλές και τη βοήθειά του στην αναζήτηση βιβλιογραφίας, αλλά και για τις σημαντικές παραινέσεις του σε διάφορα στάδια της διδακτορικής διατριβής.

Την Επίκ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ. Μαρία Μανάκου για τη λεπτομερείς διορθώσεις αλλά και τις χρήσιμες προτάσεις της κατά τη διαμόρφωση του τελικού κειμένου της διατριβής.

Τον Γεωλόγο κ. Κωνσταντίνο Δημαρά καθώς και το προσωπικό της Γεώγνωσης Α.Ε. για τη βοήθεια που μου παρείχαν στη συλλογή δεδομένων και το ευχάριστο κλίμα που δημιούργησαν κατά την παραμονή μου στα γραφεία της εταιρείας.

Τον MSc Τεχνικό Γεωλόγο Γεώργιο Στούμπο, καθώς και την MSc Υδρογεωλόγο Δήμητρα Παπούλη για την παραχώρηση πλήθους δεδομένων εκ μέρους της εταιρείας Ελληνικό Μετρό Α.Ε.



Τον MSc Τεχνικό Γεωλόγο Θεόδωρο Στιμάρατση για την παροχή δεδομένων από γεωτρήσεις.
Την Εγνατία Οδό Α.Ε. καθώς και το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (Κ.Ε.Δ.Ε.) για τη διάθεση γεωτεχνικών μελετών.

Τον Καθηγητή Α.Π.Θ. Δημήτρη Πιτιλάκη για την παροχή δεδομένων σχετικά με τα σεισμικά σενάρια που αξιολογήθηκαν.

Τον MSc Υδρογεωλόγο Θωμά Σπάχο της Εταιρείας Ύδρευσης κι Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (Ε.Υ.Α.Θ.) για τη διάθεση δεδομένων μέτρησης στάθμης του υπόγειου νερού.

Τον Επίκ. Καθηγητή Πανεπιστημίου Πατρών Άκη Καζάκη και τη Δρ. Υδρογεωλόγο Άννα Ζερβοπούλου για την παροχή στοιχείων σε ψηφιοποιημένη μορφή.

Τον μετεωρολογικό σταθμό Μίκρας για την παροχή βροχομετρικών δεδομένων και το Εθνικό Κτηματολόγιο για τη διάθεση του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου της περιοχής έρευνας.

Το προσωπικό του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. για τις συνεχείς επιστημονικές συζητήσεις και το φιλικό κλίμα που δημιούργησαν.

Τους φίλους και συναδέλφους Δρ. Υδρογεωλόγο Γιούλη Βενετσάνου, γεωλόγο Αχιλλέα Πεϊτσίδα και Υπ. Διδ. Γιάννη Τσιτρούλη για τη βοήθεια που μου παρείχαν σε διάφορα στάδια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής.

Τις πολύ καλές μου φίλες Έλλη Αποστολάκη, MEd Κλασική Φιλολόγο και Έβα Γανίδου, Δρ. Νεοελληνικής Φιλολογίας για τη συμβολή τους στην επιμέλεια του κειμένου και την στήριξή τους σε αυτό το εγχείρημα.

Τον Γιάννη Ασβεστά, software engineer, για την αυτοματοποίηση πλήθους διαδικασιών εντός της βάσης δεδομένων, αλλά προτίστως για τη συνεχή ενθάρρυνση και ειλικρινή συμπαράσταση στις δυσκολίες που συνάντησα στην πορεία αυτής της προσπάθειας.

Τέλος, την οικογένεια μου, για την αμέριστη ηθική, συναισθηματική και οικονομική στήριξη καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τους ευχαριστώ βαθιά για τη φροντίδα κι αγάπη που μου προσφέρουν απλόχερα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύεται την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση και ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών του αστικού περιβάλλοντος της Θεσσαλονίκης με τη δημιουργία και χρήση τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων. Η έρευνα επικεντρώνεται στη λεπτομερή διερεύνηση της γεωλογικής σύστασης, των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων και της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, με σκοπό την απομείωση της γεωλογικής αβεβαιότητας και την αντιμετώπιση προκλήσεων που σχετίζονται μ' αυτή.

Το ζήτημα της αποτελεσματικής διαχείρισης μεγάλου πλήθους δεδομένων βρίσκεται στην επικαιρότητα της έρευνας, ιδίως στο πλαίσιο του ασφαλούς πολεοδομικού σχεδιασμού. Μάλιστα, στην περίπτωση ενός αστικού περιβάλλοντος όπου συναντώνται κατά βάση εδαφικά γεωυλικά, η δημιουργία μιας τέτοιας βάσης δεδομένων είναι επιτακτική καθώς συνδράμει στην απομείωση της γεωλογικής αβεβαιότητας που σχετίζεται με:

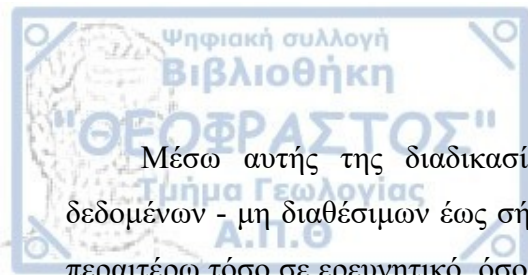
- την έλλειψη ή/και περιορισμένη προσβασιμότητα σε γεωλογικά και τεχνικογεωλογικά δεδομένα
- τη γεωλογική ετερογένεια του υπεδάφους, τη διακύμανση των γεωλογικών σχηματισμών στο χώρο και τις συνθήκες των υπόγειων υδάτων
- τη διαφοροποίηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών ανά τεχνικογεωλογικές ενότητες
- την ύπαρξη ζωνών και περιοχών γεωλογικής επικινδυνότητας
- τις προκλήσεις που συναντώνται κατά το σχεδιασμό έργων υποδομής
- την εκδήλωση γεωκινδύνων (π.χ. ρευστοποίηση και καθιζήσεις)

Τα δεδομένα που εισήχθησαν κι επεξεργάστηκαν εντός της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων προέρχονται από περισσότερες από 600 γεωτρήσεις πλήθους γεωτεχνικών ερευνών και μελετών κι αφορούν σε αποτελέσματα εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών που διενεργήθηκαν στους εξεταζόμενους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας. Βασικός στόχος της βάσης δεδομένων, είναι να αναδείξει τον τρόπο με τον οποίο η γεωλογική και τεχνικογεωλογική γνώση μπορούν να διαχειριστούν σε μια καλά οργανωμένη πλατφόρμα. Ωστόσο, οι δυνατότητές της δεν περιορίζονται μόνο στην παροχή πληροφοριών αρχειακού χαρακτήρα, αλλά εστιάζουν στη λεπτομερή ανάλυση και συσχέτιση των δεδομένων, ούτως ώστε να προκύψουν χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με τον ασφαλή σχεδιασμό τεχνικών έργων, τη διαχείριση έναντι γεωκινδύνων και την προστασία του γεωπεριβάλλοντος στη λεκάνη της Θεσσαλονίκης.

Η ιδιαίτερη συμβολή της έρευνας ενισχύεται από τη λεπτομερή μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθείται, κατά την οποία συνδυάζονται διαφορετικά λογισμικά (ArcGIS, LeapfrogWorks, Cliq,

AutoCAD), επιστημονικά εργαλεία (Surfer, Grapher), γεωστατιστικές και προγραμματιστικές τεχνικές (R Studio, node.js) με σκοπό την ανάλυση, συσχέτιση και παρουσίαση των δεδομένων. Ειδικότερα, μέσω αυτής της προσέγγισης, παράγεται ένα μεγάλο πλήθος παραγόμενων αποτελεσμάτων, τα οποία αναλύονται ανά κατηγορίες ως εξής:

- Θεματικοί χάρτες:
 - i. κατανομής πάχους των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας
 - ii. κατανομής βάθους των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας με απεικόνιση ισοβαθών καμπύλων
 - iii. κατανομής λεπτόκοκκων κι αδρόκοκκων υλικών για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για τα βάθη: 0-5, 5-10, 10-15 και 15-20 m οι οποίοι συνοδεύονται από θηκογράμματα που δημιουργήθηκαν με λεπτομέρεια ανά 0.5 m
 - iv. χωρικής κατανομής πλήθους τεχνικογεωλογικών φυσικών και μηχανικών παραμέτρων με λεπτομέρεια ανά 5 m, μέχρι το βάθος των 20 m
 - v. χωρικής κατανομής πλήθους τεχνικογεωλογικών παραμέτρων για συγκεκριμένα εύρη τιμών στους οποίους προβάλλονται οι ισοβαθείς καμπύλες ανά 2 m.
- Στατιστικές κατανομές ποσοστιαίας συμμετοχής και διαγράμματα κατανομής των εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος κι ανά κατηγορία γεωολικού
- Δισδιάστατες τομές και τρισδιάστατα γεωολογικά και τεχνικογεωολογικά μοντέλα στα οποία προβάλλονται:
 - i. η χωρική κατανομή των εξεταζόμενων σχηματισμών με λεπτομέρεια ως προς την επικράτηση της λιθολογίας και τη διακύμανση αυτής με το βάθος
 - ii. η χωρική μεταβλητότητα των εκάστοτε φυσικών και μηχανικών παραμέτρων που διερευνώνται ανά βάθος
- Ο νέος επικαιροποιημένος τεχνικογεωολογικός χάρτης του λεκανοπεδίου της Θεσσαλονίκης με τον επαναπροσδιορισμό των γεωολογικών επαφών με βάση τα νέα διαθέσιμα δεδομένα
- Εύρη τιμών και στατιστικοί δείκτες για τις εξεταζόμενες φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες των γεωολογικών σχηματισμών, με λεπτομέρεια ανά 5 m έως το βάθος των 25 m, όπου είναι διαθέσιμα πολλά και λεπτομερή δεδομένα
- Παραδείγματα συγκεκριμένων εφαρμογών-χρήσεων της βάσης, με έμφαση στη διερεύνηση κι εκτίμηση της τεχνικογεωολογικής αξιολόγησης βάσει επικινδυνότητας (εδώ ρευστοποίησης κι εκδήλωσης καθιζήσεων) και είδους τεχνικού έργου (διάνοιξη αστικών σηράγγων και κατασκευή σημαντικών θεμελιώσεων)



Μέσω αυτής της διαδικασίας, επιτυγχάνεται ο μετασχηματισμός πλήθους πρωτογενών δεδομένων - μη διαθέσιμων έως σήμερα - σε χρήσιμες πληροφορίες που μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω τόσο σε ερευνητικό, όσο και τεχνικό επίπεδο. Έτσι, δημιουργείται ένα πολύτιμο εργαλείο που μπορεί να αξιοποιηθεί από διάφορες εμπλεκόμενες ειδικότητες, με σκοπό την ενίσχυση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με την ασφαλή αστική ανάπτυξη και την προστασία της Θεσσαλονίκης από γεωκινδύνους.

Abstract

The doctoral thesis deals with the engineering geological assessment and classification of the geological formations of Thessaloniki's urban area through the creation and use of a geotechnical database. The research focuses on the detailed investigation of the geological composition, engineering geological properties and hydrogeological behavior of fill deposits and sediments of Quaternary and Neogene age, in order to reduce the geological uncertainty and to address related challenges.

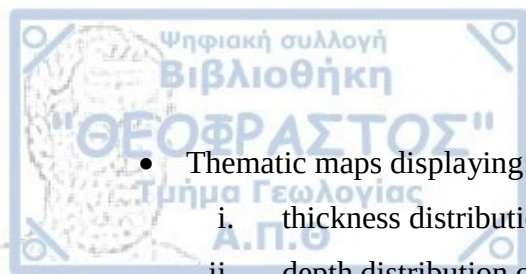
The issue of big data management is of high significance on the research community, especially in the context of safe urban planning. In fact, in case of an urban environment where soil geomaterials are predominant, the creation of such a database is crucial as it assists in reducing the geological uncertainty related to:

- lack of and/or limited access to geological and engineering geological data
- geological heterogeneity of the subsurface, spatially variation of geological formations and groundwater conditions
- discrimination of engineering geological conditions per engineering geological units
- existence of geological hazardous zones
- challenges encountered in the early stages of designing infrastructure projects
- the occurrence of geohazards (e.g. liquefaction and settlement)

The data entered and processed within the engineering geological database originate from more than 600 boreholes of numerous geotechnical investigations for the construction of engineering projects and refer to the results of laboratory and field tests carried out in the geological formations of the research area.

The main objective of the database is to highlight how geological and engineering geological knowledge can be managed in a well-organized platform. Its potential is not only limited to provide archival information; it goes beyond that, focusing on developing various correlations in order to generate useful information related to the safe design of engineering projects, management against geohazards and protection of the geoenvironment in the Thessaloniki basin.

The remarkable contribution of the research is enhanced by the detailed methodological approach followed, which combines different software (ArcGIS, LeapfrogWorks, Cliq, AutoCAD), scientific tools (Surfer, Grapher), geostatistical and coding techniques (R Studio, node.js) in order to analyse, correlate and present the data. In particular, by means of this approach, a large amount of produced outcomes is generated, categorized as follows:



- Thematic maps displaying:
 - i. thickness distribution of fill deposits and sediments of Quaternary and Neogene age
 - ii. depth distribution of fill deposits and sediments of Quaternary and Neogene age with isobaths
 - iii. the distribution of fine and coarse-grained materials for sediments of Quaternary and Neogene age for depths of 0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 m, accompanied by detailed boxplots per 0.5 m
 - iv. spatial distribution of a significant number of engineering geological physical and mechanical parameters at 5 m intervals up to a depth of 20 m
 - v. spatial distribution of a significant number of engineering geological parameters for specific ranges of values with isobaths of 2 m
- Statistical plots and relative frequency of the distributions on the physical and mechanical properties, by depth and geomaterial category
- Two-dimensional sections and three-dimensional geological and engineering geological models displaying:
 - i. the spatial distribution of the geological formations investigated, illustrating details of the predominance of lithology and its variation by depth
 - ii. the spatial variability of the physical and mechanical parameters by depth
- The new updated engineering geological map of Thessaloniki basin highlighting the redefinition of the geological contacts based on the new available data
- Range of values and statistical indices for the physical, mechanical and hydraulic properties of the geological formations examined in detail at 5 m intervals up to the depth of 25 m, where a large amount of detailed data is available
- Examples of specific applications-usages of the database, with emphasis on the investigation and assessment of the engineering geological evaluation based on geohazards (here, liquefaction and settlement) and type of engineering project (urban tunneling and construction of major foundations)

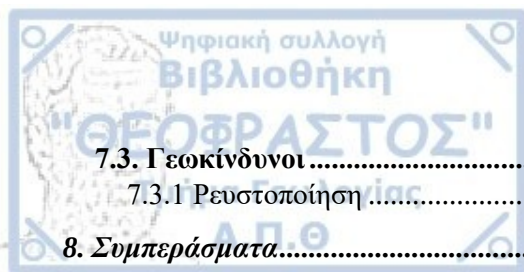
Through this methodology, a large amount of primary data - not available until now - is transformed into useful information that can be further exploited both on research and technical level. Thus, a useful tool is created which can be utilized by various disciplines involved, in order to optimize decision-making process related to safe urban development and protection of Thessaloniki from geohazards.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	25
1.1. Αντικείμενο – Σκοπός	25
1.2. Μεθοδολογία.....	27
1.3. Διάρθρωση Διατριβής.....	35
2. Τεχνικογεωλογική βάση δεδομένων για τον σχεδιασμό τεχνικών έργων και την προστασία αστικών περιοχών από γεωκινδύνους.....	37
2.1. Γενικά.....	37
2.2. Σκοπός της βάσης δεδομένων.....	38
2.3. Η βάση δεδομένων TIAS	40
2.4. Δομή της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων	41
2.5. Συγκέντρωση γεωλογικών και γεωτεχνικών δεδομένων	48
2.6. Φυσικές και μηχανικές παράμετροι.....	51
3. Μέθοδοι χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστική ανάλυση	61
3.1. Γενικά.....	61
3.2. Μεθοδολογία.....	62
3.3. Μέθοδοι χωρικής παρεμβολής.....	65
3.3.1 Inverse Distance Weighted - IDW (Στάθμιση της Αντίστροφης Απόστασης).....	66
3.3.2 Ordinary Kriging (Κανονικό Kriging).....	66
3.3.3 Topo to Raster (Τοπογραφία σε ψηφιδωτά)	67
3.4. Διαμόρφωση κι επιλογή δεδομένων.....	68
3.5. Αξιολόγηση μεθόδων χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστική ανάλυση.....	73
3.5.1 Στατιστικοί δείκτες	73
3.5.2 Διαγράμματα Taylor	77
4. Γεωλογικές συνθήκες ευρύτερης περιοχής.....	80
4.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά	80
4.1.1 Γεωγραφική θέση.....	80
4.1.2 Μορφολογικές συνθήκες	82
4.1.3 Γεωλογικές συνθήκες.....	85
4.1.3.1 Γενικά	85
4.1.3.2 Λιθολογικές ενότητες	88
4.1.4 Τεκτονική - Νεοτεκτονική - Σεισμική Επικινδυνότητα.....	94
4.1.5 Υδρογεωλογικό υπόβαθρο	101
4.2 Άλλοι θεματικοί χάρτες περιοχής έρευνας	102
4.2.1 Γενικά	102
4.2.2 Υδρογραφικό Δίκτυο	103
4.2.3 Χρήσεις Γης.....	107
4.2.4 Οδικό δίκτυο	109
4.3. Υπόβαθρο τεχνικογεωλογικών συνθηκών.....	110
4.3.1 Γενικά	110
4.3.2 Διαθέσιμα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά	112

4.3.3 Γεωτεχνικές ταξινομήσεις - κατατάξεις.....	123
4.3.3.1 Επιτόπου δοκιμές.....	124
4.3.3.2 Εργαστηριακές δοκιμές.....	132
5. Ανάλυση και παρουσίαση γεωλογικών δεδομένων	144
5.1. Γενικά.....	144
5.2. Μεθοδολογία.....	145
5.3. Γεωλογικές συνθήκες.....	146
5.3.1 Θεματικοί χάρτες γεωλογικής πληροφορίας.....	146
5.3.1.1 Γενικά	146
5.3.1.2 Χάρτες κατανομής πάχους εμφάνισης σχηματισμών	148
5.3.1.3 Χάρτες κατανομής βάθους εμφάνισης σχηματισμών	151
5.3.1.4 Χάρτες κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών.....	154
5.3.2 Κοκκομετρική ανάλυση.....	173
5.3.3 Γεωλογικά μοντέλα.....	178
5.3.3.1 Γενικά	178
5.3.3.2 Παραδείγματα γεωλογικών μοντέλων.....	181
5.4. Υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών	192
5.4.1 Γενικά	192
5.4.2 Υδρολιθολογική συμπεριφορά των σχηματισμών	193
5.4.3 Δοκιμές υδροπερατότητας	194
5.4.4 Στάθμη υπόγειων υδάτων	201
6. Ανάλυση και παρουσίαση τεχνικογεωλογικών δεδομένων	212
6.1 Γενικά	212
6.2 Μεθοδολογία.....	212
6.3 Τεχνικογεωλογικές ενότητες	219
6.4 Σχεδιασμός επικαιροποιημένου τεχνικογεωλογικού χάρτη.....	227
6.5 Διαγράμματα κατανομής ιδιοτήτων ανά τεχνικογεωλογική ενότητα.....	229
6.5.1 Τεχνητές Επιχώσεις	229
6.5.2 Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	243
6.5.3 Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας	275
6.5.3.1 Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά.....	275
6.5.3.2 Σειρά Ερυθρών Αργίλων	311
6.6 Θεματικοί χάρτες τεχνικογεωλογικής πληροφορίας.....	351
6.6.1 Γενικά	351
6.6.2 Χάρτες χωρικής κατανομής τεχνικογεωλογικών παραμέτρων.....	352
6.6.3 Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τεχνικογεωλογικών παραμέτρων	364
6.7 Τεχνικογεωλογικά μοντέλα.....	375
6.7.1 Γενικά	375
6.7.2 Παραδείγματα τεχνικογεωλογικών μοντέλων	376
7. Εφαρμογές τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων	383
7.1 Γενικά	383
7.2. Τεχνικά έργα	384
7.2.1 Υπόγεια έργα	384
7.2.2 Θεμελιώσεις.....	403



7.3. Γεωκίνδυνοι.....	411
7.3.1 Ρευστοποίηση.....	411
8. Συμπεράσματα.....	471
8.1. Βασικά αποτελέσματα.....	472
8.2. Πρωτοτυπία έρευνας.....	476
8.3. Προτάσεις περαιτέρω έρευνας.....	477
8.4. Συζήτηση.....	478
9. Βιβλιογραφία.....	479
10. Παράρτημα.....	511

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Σχηματικό διάγραμμα αναπαράστασης της σύνδεσης των διάφορων πινάκων εντός της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων.....	44
Σχήμα 2.2: Πίνακας "GEOL", όπου διακρίνεται η σύνδεση με το πεδίο "HOLE_ID", η γενική γεωλογική περιγραφή από τα μητρώα γεωτρήσεων και οι κωδικοποιημένες καταχωρήσεις που διακριτοποιούν τη γεωλογική πληροφορία.....	45
Σχήμα 2.3: Πίνακας "UNIT", όπου διακρίνεται η ανάγκη για ομαδοποιημένη καταχώρηση των μονάδων μέτρησης με τη μορφή συντμήσεων.....	46
Σχήμα 2.4: Πίνακας "ABBR", όπου διακρίνεται η ανάγκη για ομαδοποιημένη καταχώρηση της πληροφορίας με συντμήσεις.....	47
Σχήμα 2.5: Κατανομή διαθέσιμων γεωτρήσεων εντός περιοχής έρευνας.....	49
Σχήμα 2.6: Αριθμός διαθέσιμων γεωτρήσεων ανά έτος.....	50
Σχήμα 2.7: Μέγιστο βάθος γεωτρήσεων.....	50
Σχήμα 2.8: Πίνακας "SAMP", όπου διακρίνονται ανά βάθος οι σχετικές πληροφορίες των δειγμάτων γεωτρήσεων.....	54
Σχήμα 2.9: Πίνακας "CLSS", όπου διακρίνεται η σύνδεση με τα δείγματα και δοκίμια των γεωτρήσεων μέσω των πεδίων "SAMP_REF" και "SPEC_REF".....	55
Σχήμα 2.10: Πίνακας "GRAD", όπου διακρίνονται τα στοιχεία που προέρχονται από τις κοκκομετρικές αναλύσεις κι εντάσσονται στα πεδία "GRAD_SIZE" και "GRAD_PERP".....	58
Σχήμα 2.11: Πίνακας "SHBG", όπου διακρίνονται τα πεδία εισαγωγής των τιμών συνοχής, γωνίας εσωτερικής τριβής.....	59
Σχήμα 2.12: Πίνακας "ISPT", όπου διακρίνονται το πεδίο εισαγωγής των τιμών NSPT που μετρήθηκαν κατά τη διεύθυνση του πρότυπου δειγματολήπτη στο πεδίο "ISPT_NVAL".....	60
Σχήμα 3.1: Διάγραμμα ροής που παρουσιάζει τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα.....	64
Σχήμα 3.2: Η διαδικασία διαχωρισμού των δεδομένων σύμφωνα με τη μέθοδο «Hold-out».....	69
Σχήμα 3.3: Υποδιαίρεση περιοχής έρευνας σε μικρότερες περιοχές και παρουσίαση.....	70
Σχήμα 3.4: Αποτελέσματα σχετικά με την κατανομή των γεωτρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση Average Nearest Neighbor – ANN μέσω ArcGIS.....	71
Σχήμα 3.5: Τμήμα κώδικα που περιγράφει τη διαδικασία επιλογής.....	72
Σχήμα 3.6: Ενδεικτικό διάγραμμα Taylor.....	77
Σχήμα 3.7: Διαγράμματα Taylor στα οποία απεικονίζεται η στατιστική σύγκριση των μεθόδων παρεμβολής: Ordinary kriging (ροζ), IDW (μπλε) και Topo to raster (κόκκινο) για τα δεδομένα πάχους (1 ^η σειρά) και βάθους (2 ^η σειρά) των τεχνητών επιχώσεων και των σχηματισμών Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.....	79
Σχήμα 4.1: Χάρτης απεικόνισης περιοχής έρευνας.....	80
Σχήμα 4.2: Χάρτης απεικόνισης περιοχής έρευνας εντός του ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας.....	81
Σχήμα 4.3: Χάρτης απεικόνισης περιοχής έρευνας εντός των ΛΑΠ Γαλλικού και Χαλκιδικής.....	82
Σχήμα 4.4: Μορφολογικός χάρτης υψομέτρων της περιοχής έρευνας.....	83
Σχήμα 4.5: Χάρτης μορφολογικών κλίσεων της περιοχής έρευνας.....	84
Σχήμα 4.6: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών στο οποίο παρουσιάζεται η ευρύτερη περιοχή έρευνας.....	89
Σχήμα 4.7: Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας κλίμακας 1:50.000 (τροποποιημένος από Kockel et al. 1978a, 1978b).....	91
Σχήμα 4.8: Δορυφορική εικόνα όπου σημειώνεται το ρήγμα του Ανθεμούντα.....	96
Σχήμα 4.9: Χάρτης όπου φαίνονται τα ρήγματα της περιοχής Θεσσαλονίκης με άσπρο χρώμα και τα επίκεντρα σεισμών με μαύρους, γκρι και άσπρους κύκλους (Paradisopoulou et al., 2004).....	96
Σχήμα 4.10: Δορυφορική εικόνα του ρήγματος Πυλαίας – Πανοράματος. Με κίτρινο χρώμα τα τρία τμήματά του (Παυλίδης, 2004).....	97
Σχήμα 4.11: Δορυφορική εικόνα όπου φαίνεται το ανενεργό ρήγμα της Θέρμης (F-Th(1)) με μαύρο χρώμα και με άσπρο η προέκτασή του στον υποθαλάσσιο χώρο. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα πιθανά ενεργά ρήγματα (F-Th(2)). Ως F-A φαίνεται το ενεργό ρήγμα του Αεροδρομίου (Παυλίδης, 2004).....	98

Σχήμα 4.12: Δορυφορική εικόνα όπου φαίνεται με κόκκινο χρώμα το πιθανό ενεργό ρήγμα του Ασβεστοχωρίου (F-As), με κίτρινο χρώμα τα τμήματά του (segments). (Παυλίδης, 2004).....	99
Σχήμα 4.13: Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας κλίμακας 1:50.000, όπου: F-Ap ρήγμα Ανθεμούντα, F-Th ρήγμα Θέρμης, F-Ka ρήγμα Καλαμαριάς, F-NE ρήγμα Νέας Ελβετίας, F-PP ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος, F-Fl ρήγμα Φλέμινγκ, F-Anal ρήγμα Ανάληψης, F-PA ρήγμα Πεδίου Άρεως, F-Egn ρήγμα Εγνατίας, F-AD ρήγμα Αγ. Δημητρίου, F-As ρήγμα Ασβεστοχωρίου, F-K ρήγμα Καλοχωρίου (τροποποιημένος από Kockel et al. 1978a, 1978b; Ζερβοπούλου, 2010)	100
Σχήμα 4.14: Νέος χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας (Ο.Α.Σ.Π.-Ι.Τ.Σ.Α.Κ., 2001)	101
Σχήμα 4.15: Χάρτης απεικόνισης περιοχής έρευνας σε σχέση με τις υπολεκάνες του ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας	103
Σχήμα 4.16: Μορφολογικός χάρτης υψομέτρων και υδρογραφικό δίκτυο	104
Σχήμα 4.17: Χάρτης που φαίνονται οι υδρολογικές λεκάνες.....	105
Σχήμα 4.18: Υδρολογική λεκάνη Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης.....	105
Σχήμα 4.19: Οι χρήσεις γης της περιοχής έρευνας (Corine Land Cover, 2018).....	108
Σχήμα 4.20: Το οδικό δίκτυο της περιοχής έρευνας	109
Σχήμα 4.21: Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε. (Ρόζος et al., 1998).....	113
Σχήμα 4.22: Ψηφιοποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε.	114
Σχήμα 4.23: Διαστάσεις πρότυπου δειγματολήπτη και σχηματική απεικόνιση της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (τροποποιημένο από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002).....	125
Σχήμα 4.24: Στάδια λειτουργίας Ολλανδικού κώνου Begemann.....	127
Σχήμα 4.25: Νομογράφημα χαρακτηρισμού των εδαφικών σχηματισμών συναρτήσει	128
Σχήμα 4.26: Τυπική διάταξη δοκιμής σταθερού φορτίου.....	130
Σχήμα 4.27: Τυπική διάταξη δοκιμής πίπτοντος φορτίου	131
Σχήμα 4.28: Κατηγορίες εδαφικών υλικών, χαρακτηριστικά κόσκινα και μέγεθος κόκκων κατά ASTM, 1975 (τροποποιημένο από Σακελλαρίου et al., 2003)	135
Σχήμα 4.29: Διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εμφάνισης ως προς το μέγεθος.....	136
Σχήμα 4.30: Όρια μεγεθών κόκκων εδαφικών υλικών, σύμφωνα με τα συστήματα γεωτεχνικής ταξινόμησης USCS και BS (τροποποιημένο από Holtz και Kovacs, 1981).....	136
Σχήμα 4.31: Διάγραμμα κατάταξης λεπτόκοκκων εδαφών κατά Casagrande.....	138
Σχήμα 4.32: Διαγράμματα «διατμητικής τάσης, τ – μετακίνησης, δ » και «διατμητικής τάσης, τ - ορθής τάσης, σ_n ». (τροποποιημένο από Μαρίνος, 2012)	141
Σχήμα 4.33: Διαγράμματα «εκτροπικής τάσης, σ_1 - σ_3 - αξονικής παραμόρφωσης, ϵ (%)» και «διατμητικής τάσης, τ - ορθής τάσης, σ_n ». (τροποποιημένο από Μαρίνος, 2012).....	143
Σχήμα 5.1: Χάρτης κατανομής πάχους τεχνητών επιχώσεων	149
Σχήμα 5.2: Χάρτης κατανομής πάχους αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας.....	150
Σχήμα 5.3: Χάρτης κατανομής πάχους αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας	151
Σχήμα 5.4: Χάρτης κατανομής βάθους εμφάνισης τεχνητών επιχώσεων.....	152
Σχήμα 5.5: Χάρτης κατανομής βάθους εμφάνισης αποθέσεων	153
Σχήμα 5.6: Χάρτης κατανομής βάθους εμφάνισης αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας.....	154
Σχήμα 5.7: Παράδειγμα ενδεικτικής τομής όπου παρουσιάζεται η αναλυτική γεωλογική σύσταση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας με βάση το επικρατέστερο υλικό	157
Σχήμα 5.8: Παράδειγμα ενδεικτικής τομής όπου παρουσιάζεται η ομαδοποίηση των υλικών σύμφωνα με τη γεωλογική σύσταση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.....	158
Σχήμα 5.9: Χάρτης κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για βάθη 0-5 m.....	160
Σχήμα 5.10: Χάρτης κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για βάθη 5-10 m.....	161
Σχήμα 5.11: Χάρτης κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για βάθη 10-15 m.....	162
Σχήμα 5.12: Χάρτης κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για βάθη 15-20 m.....	163
Σχήμα 5.13: Παράδειγμα θηκογράμματος	164

Σχήμα 5.14: Θηκογράμματα κατανομής ποσοστού συμμετοχής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, ανά 0.5 m για βάθη από 0 έως 20 m.....	168
Σχήμα 5.15: Θηκογράμματα κατανομής ποσοστού συμμετοχής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας, ανά 0.5 m για βάθη από 0 έως 20 m	170
Σχήμα 5.16: Θηκογράμματα κατανομής ποσοστού συμμετοχής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας, ανά 0.5 m για βάθη από 0 έως 20 m.....	172
Σχήμα 5.17: Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 0-5 m.....	175
Σχήμα 5.18: Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 5-10 m.....	176
Σχήμα 5.19: Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 10-15 m.....	177
Σχήμα 5.20: Διάγραμμα ροής που περιγράφει τη διαδικασία της 3D μοντελοποίησης.....	179
Σχήμα 5.21: Διαφορετικοί τύποι επιφανειών με τη χρήση των εργαλείων παρεμβολής	180
Σχήμα 5.22: Τεχνικογεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας με τις 5 περιοχές για τις οποίες δημιουργούνται 3D γεωλογικά μοντέλα στο Leapfrog Works.....	182
Σχήμα 5.23: Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 1» (βλ. σχήμα 5.22).....	184
Σχήμα 5.24: Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 2» (βλ. σχήμα 5.22).....	186
Σχήμα 5.25: Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 3» (βλ. σχήμα 5.22).....	188
Σχήμα 5.26: Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 4» (βλ. σχήμα 5.22).....	190
Σχήμα 5.27: Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 5» (βλ. σχήμα 5.22).....	191
Σχήμα 5.28: Διάγραμμα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους των τεχνητών επιχώσεων.....	194
Σχήμα 5.29: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	195
Σχήμα 5.30: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας.....	196
Σχήμα 5.31: Διάγραμμα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους της «ψαμμιτομαργαϊκής σειράς» Νεογενών αποθέσεων	197
Σχήμα 5.32: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά.....	198
Σχήμα 5.33: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους της «σειράς ερυθρών αργίλων» των Νεογενών αποθέσεων.....	199
Σχήμα 5.34: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά.....	200
Σχήμα 5.35: Ισοπιεζομετρικές καμπύλες στην περιοχή της Πατρικίου την περίοδο Νοεμβρίου 2014	202
Σχήμα 5.36: Ισοπιεζομετρικές καμπύλες στην περιοχή της Μίκρας την περίοδο Μαΐου 2014	203
Σχήμα 5.37: Ισοπιεζομετρικές καμπύλες στην περιοχή της Μίκρας την περίοδο Οκτωβρίου 2014	204
Σχήμα 5.38: Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στις γεωτρήσεις Θ01, Θ02Π, Θ02Ν, Θ05, Θ06, Θ08 και Θ09 της Μίκρας	207
Σχήμα 5.39: Η μέση ετήσια και μηνιαία βροχόπτωση στην περιοχή έρευνας για τα έτη 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 και 2020	208
Σχήμα 5.40: Θέσεις γεωτρήσεων μέτρησης στάθμης στην περιοχή του Καλοχωρίου.....	210
Σχήμα 5.41: Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στις γεωτρήσεις K08, K10 και K11 του Καλοχωρίου	211
Σχήμα 6.1: Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση στην περιοχή Συντριβάνι.	221
Σχήμα 6.2: Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση στην περιοχή Αγίας Σοφίας.....	221
Σχήμα 6.3: Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση στην περιοχή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού (ΝΣΣ).	221
Σχήμα 6.4: Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση στην περιοχή Επίσταθμος ΝΣΣ.	222
Σχήμα 6.5: Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση στην περιοχή Αναλήψεως.	222
Σχήμα 6.6: Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση στην περιοχή Φλέμινγκ-Αναλήψεως.	222
Σχήμα 6.7: Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή Ευκλείδη. Περιγραφή: Πολύ στιφρή έως σκληρή, καστανοκίτρινη, ασβεστιτική ΑΡΓΙΛΟΣ. Κοκκομετρικά χαρακτηρίζεται ως παχιά-ισχνή	

ΑΡΓΙΛΙΟΣ με άμμο, μεγάλης έως μέσης πλαστικότητας έως τοπικά αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο μεγάλης πλαστικότητας. Από τα 26,63 m παρατηρείται ασθενής, καστανοκίτρινος, ΨΑΜΜΙΤΗΣ (Αττικό Μετρό Α.Ε.).	223
Σχήμα 6.8: Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή Βούλγαρη. Περιγραφή: Εναλλαγές από πολύ στιφρή, μπέζ αμμώδη ιλύ με άμμο, με πολύ πυκνή, λεπτόκοκκη έως μεσόκοκκη, ιλυώδη άμμο, χωρίς πλαστικότητα. Τοπικά διακρίνονται λεπτές ενστρώσεις ΜΑΡΓΑΣ. Από το βάθος των 26,8 m παρατηρείται πολύ στιφρή έως σκληρή, γκρι-μπλε, καστανή-πορτοκαλί, λεπτοστρωματώδης μάργα με ολισθηρές επιφάνειες στο βάθος των 29,60m. (Αττικό Μετρό Α.Ε.).	223
Σχήμα 6.9: Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή Νέα Ελβετία. Περιγραφή: Πολύ ασθενής έως ασθενής, ανοικτός καστανοκόκκινος ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ με ανθρακικά συσσωματώματα. Από τα 24,4 m παρατηρείται ασθενής ανοικτός πρασινωπός ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ (Αττικό Μετρό Α.Ε.).	223
Σχήμα 6.10: Ερυθρές άργιλοι Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού. Περιγραφή: Στιφρή έως πολύ στιφρή, ανοικτή καστανέρυθρη έως καστανέρυθρη, αμμώδης ΙΣΧΝΗ ΑΡΓΙΛΙΟΣ, με διάσπαρτους γωνιώδεις χάλικες σχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (Αττικό Μετρό Α.Ε.).	224
Σχήμα 6.11: Ερυθρές άργιλοι Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή Αγίας Σοφίας.	224
Σχήμα 6.12: Ερυθρές άργιλοι Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή Πανεπιστήμιο.	224
Σχήμα 6.13: Ενότητα Χορτιάτη, γεώτρηση στην περιοχή Αγίας Σοφίας.	225
Σχήμα 6.14: Ενότητα Χορτιάτη, γεώτρηση στην περιοχή Αγίας Σοφίας.	225
Σχήμα 6.15: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής της πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε.	226
Σχήμα 6.16: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης (αριστερά). Στο πλαίσιο σημειώνεται η επιφανειακή εμφάνιση των Τεταρτογενών αποθέσεων με επικράτηση ιλύων και αργίλων, η οποία απουσιάζει από τον τεχνικογεωλογικό χάρτη (δεξιά), κλίμακας 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε. (τροποποιημένο από Ρόζος et al., 1998)	228
Σχήμα 6.17: Διάγραμμα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδυσης (NSPT) για τις τεχνητές επιχώσεις	230
Σχήμα 6.18: Διάγραμμα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (qu) για τις τεχνητές επιχώσεις	231
Σχήμα 6.19: Διάγραμμα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τις τεχνητές επιχώσεις	232
Σχήμα 6.20: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τις τεχνητές επιχώσεις	233
Σχήμα 6.21: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τις τεχνητές επιχώσεις	234
Σχήμα 6.22: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (Ic) για τις τεχνητές επιχώσεις	235
Σχήμα 6.23: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τις τεχνητές επιχώσεις	236
Σχήμα 6.24: Διάγραμμα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τις τεχνητές επιχώσεις	237
Σχήμα 6.25: Διάγραμμα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τις τεχνητές επιχώσεις	238
Σχήμα 6.26: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τις τεχνητές επιχώσεις	239
Σχήμα 6.27: Διάγραμμα κατανομής τιμών υγρού φαινομένου βάρους (γb) για τις τεχνητές επιχώσεις	240
Σχήμα 6.28: Διάγραμμα κατανομής τιμών ξηρού φαινομένου βάρους (γd) για τις τεχνητές επιχώσεις	241
Σχήμα 6.29α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) (αριστερά) και γωνίας εσωτερικής τριβής (φ) (δεξιά) για τις τεχνητές επιχώσεις	242
Σχήμα 6.30: Διάγραμμα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδυσης (NSPT) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	243
Σχήμα 6.31α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδυσης (NSPT) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	244
Σχήμα 6.32: Διάγραμμα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (qu) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	245
Σχήμα 6.33α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (qu) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	246
Σχήμα 6.34: Διάγραμμα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	247
Σχήμα 6.35α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	248
Σχήμα 6.36: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	249

Σχήμα 6.37α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	250
Σχήμα 6.38: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	251
Σχήμα 6.39α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	252
Σχήμα 6.40: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (Ic) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	253
Σχήμα 6.41α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (Ic) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	254
Σχήμα 6.42: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	255
Σχήμα 6.43α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	256
Σχήμα 6.44: Διάγραμμα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας.....	257
Σχήμα 6.45α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	258
Σχήμα 6.46: Διάγραμμα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας.....	259
Σχήμα 6.47α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	260
Σχήμα 6.48: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας.....	261
Σχήμα 6.49α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	262
Σχήμα 6.50: Διάγραμμα κατανομής τιμών υγρού φαινομένου βάρους (γb) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	263
Σχήμα 6.51α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών υγρού φαινομένου βάρους (γb) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	264
Σχήμα 6.52: Διάγραμμα κατανομής τιμών ξηρού φαινομένου βάρους (γd) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	265
Σχήμα 6.53α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ξηρού φαινομένου βάρους (γd) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	266
Σχήμα 6.54: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας.....	267
Σχήμα 6.55α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	268
Σχήμα 6.56: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (φ) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	269
Σχήμα 6.57α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (φ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	270
Σχήμα 6.58: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας.....	271
Σχήμα 6.59α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	272
Σχήμα 6.60: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (φ) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας	273
Σχήμα 6.61α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (φ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας	274
Σχήμα 6.62: Διάγραμμα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (NSPT) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων.....	276
Σχήμα 6.63α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (NSPT) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	277

Σχήμα 6.64: Διάγραμμα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη (q_u) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων.....	278
Σχήμα 6.65α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη (q_u) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	279
Σχήμα 6.66: Διάγραμμα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων.....	280
Σχήμα 6.67α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	281
Σχήμα 6.68: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά.....	282
Σχήμα 6.69α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	283
Σχήμα 6.70: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων	284
Σχήμα 6.71α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	285
Σχήμα 6.72: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων	286
Σχήμα 6.73α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	287
Σχήμα 6.74: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων	288
Σχήμα 6.75α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	289
Σχήμα 6.76: Διάγραμμα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά.....	290
Σχήμα 6.77α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	291
Σχήμα 6.78: Διάγραμμα κατανομής τιμών πορώδους (n) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά.....	292
Σχήμα 6.79α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων	293
Σχήμα 6.80: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά.....	295
Σχήμα 6.81α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων	296
Σχήμα 6.82: Διάγραμμα κατανομής τιμών υγρού φαινόμενου βάρους (γ_b) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων.....	298
Σχήμα 6.83α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών υγρού φαινόμενου βάρους (γ_b) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	299
Σχήμα 6.84: Διάγραμμα κατανομής τιμών ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_d) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά...301	
Σχήμα 6.85α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_d) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	302
Σχήμα 6.86: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων	303
Σχήμα 6.87α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων	304
Σχήμα 6.88: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων.....	305
Σχήμα 6.89α,β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	306
Σχήμα 6.90: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων	307

Σχήμα 6.91α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων	308
Σχήμα 6.92: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (φ) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων.....	309
Σχήμα 6.93α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (φ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.....	310
Σχήμα 6.94: Διάγραμμα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διεύθυνσης (NSPT) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	312
Σχήμα 6.95α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διεύθυνσης (NSPT) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	313
Σχήμα 6.96: Διάγραμμα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (qu) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	314
Σχήμα 6.97α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (qu) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	315
Σχήμα 6.98: Διάγραμμα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας	316
Σχήμα 6.99α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	317
Σχήμα 6.100: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας	318
Σχήμα 6.101α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	319
Σχήμα 6.102: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας	321
Σχήμα 6.103α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	322
Σχήμα 6.104: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (Ic) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	324
Σχήμα 6.105α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (Ic) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	325
Σχήμα 6.106: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας	326
Σχήμα 6.107α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	327
Σχήμα 6.108: Διάγραμμα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τη σειρά ερυθρών αργίλων	328
Σχήμα 6.109α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	329
Σχήμα 6.110: Διάγραμμα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τη σειρά ερυθρών αργίλων	330
Σχήμα 6.111α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας	331
Σχήμα 6.112: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τη σειρά ερυθρών αργίλων	332
Σχήμα 6.113α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας	333
Σχήμα 6.114: Διάγραμμα κατανομής τιμών υγρού φαινομένου βάρους (γb) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	335
Σχήμα 6.115α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών υγρού φαινομένου βάρους (γb) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	336
Σχήμα 6.116: Διάγραμμα κατανομής τιμών ξηρού φαινομένου βάρους (γd) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	337

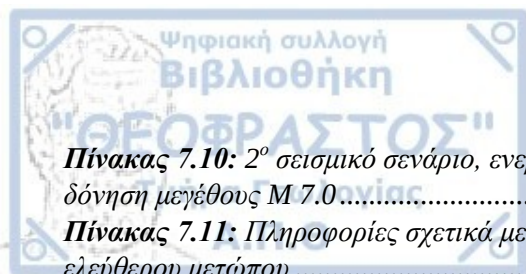
Σχήμα 6.117α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_d) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	338
Σχήμα 6.118: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τη σειρά ερυθρών αργίλων.....	339
Σχήμα 6.119α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας	340
Σχήμα 6.120: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	341
Σχήμα 6.121α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	342
Σχήμα 6.122: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τη σειρά ερυθρών αργίλων.....	343
Σχήμα 6.123α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας	344
Σχήμα 6.124: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τη σειρά ερυθρών αργίλων.....	345
Σχήμα 6.125α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.....	346
Σχήμα 6.126α.β: Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδυσης (NSPT) για βάθη 0-5 m (αριστερά) και 15-20 m (δεξιά)	355
Σχήμα 6.127α.β: Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη (q_u) για βάθη 5-10 m (αριστερά) και 15-20 m (δεξιά)	357
Σχήμα 6.128α.β: Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για βάθη 0-5 m (αριστερά) και 15-20 m (δεξιά).....	359
Σχήμα 6.129α.β: Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για βάθη 0-5 m (αριστερά) και 10-15 m (δεξιά)	361
Σχήμα 6.130α.β: Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για βάθη 0-5 m (αριστερά) και 5-10 (δεξιά) m.....	363
Σχήμα 6.131α.β: Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδυσης (NSPT) για $0 \leq NSPT \leq 4$ (αριστερά) και NSPT=APN (δεξιά)	366
Σχήμα 6.132α.β: Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη (q_u) για $q_u < 0.1\text{MPa}$ (αριστερά) και $0.1 \leq q_u \leq 0.25\text{MPa}$ (δεξιά).....	368
Σχήμα 6.133α.β: Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για $PI < 7\%$ (αριστερά) και $17 < PI \leq 35\%$ (δεξιά)	370
Σχήμα 6.134α.β: Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για $LL < 35\%$ (αριστερά) και $35 \leq LL \leq 50\%$ (δεξιά).	372
Σχήμα 6.135α.β: Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για $10 < w \leq 20\%$ (αριστερά) και $20 < w \leq 30\%$ (δεξιά)	374
Σχήμα 6.136: Τεχνικογεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας με τις 3 περιοχές για τις οποίες δημιουργούνται 3D τεχνικογεωλογικά μοντέλα στο Leapfrog Works	377
Σχήμα 6.137: Τρισδιάστατο τεχνικογεωλογικό μοντέλο «περιοχής 1» (βλ. σχήμα 6.136)	378
Σχήμα 6.138: Τρισδιάστατο τεχνικογεωλογικό μοντέλο «περιοχής 2» (βλ. σχήμα 6.136)	380
Σχήμα 6.139: Τρισδιάστατο τεχνικογεωλογικό μοντέλο «περιοχής 3» (βλ. σχήμα 6.136)	382
Σχήμα 7.1: Πεδίο εφαρμογής μηχανήματος εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης (EPB) και μηχανήματος πολφού μπεντονίτη με ασπίδα (Slurry)	387
Σχήμα 7.2: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, όπου απεικονίζονται η ανατολική και δυτική περιοχή (διακεκομμένα πλαίσια) και συγκεκριμένα παραδείγματα χρήσης της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων στην περιοχή έρευνας (περιοχές 1 και 2).....	389
Σχήμα 7.3: Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 10-20 m της ανατολικής περιοχής (βλ. Σχήμα 7.5).....	391
Σχήμα 7.4: Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 10-20 m της δυτικής περιοχής (βλ. Σχήμα 7.5)	392

Σχήμα 7.5: Κοκκομετρικές καμπύλες των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας της «περιοχής 1» (α) και Νεογενούς ηλικίας της «περιοχής 2» (β), μαζί με τα όρια καταλληλότητας των μηχανημάτων EPB και slurry TBM από το Langmaack (2002). Οι θέσεις των περιοχών απεικονίζονται στο σχήμα 7.2	394
Σχήμα 7.6: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους για τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας στην ανατολική (α) και δυτική (β) περιοχή (βλ. Σχήμα 7.5), μαζί με ένα ενδεικτικό εύρος του βάθους σήραγγας (10-20 m)	397
Σχήμα 7.7: Διαγράμματα στατιστικής κατανομής των τιμών της υδροπερατότητας για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας στην ανατολική (α) και δυτική (β) περιοχή (βλ. Σχήμα 7.5) για το βάθος της σήραγγας	398
Σχήμα 7.8: Κολλώδης συμπεριφορά των συνεκτικών εδαφικών σχηματισμών για βάθος 10-20 m, στην ανατολική (α) και δυτική (β) περιοχή (βλ. Σχήμα 7.5), βασισμένο στο διάγραμμα από Geodata-Torino (1995)	400
Σχήμα 7.9: Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων για βάθος 10-20 m, στην ανατολική (α) και δυτική (β) περιοχή (βλ. Σχήμα 7.5) βασισμένο στην αξιολόγηση των Thewes και Burger (2004).....	402
Σχήμα 7.10: Θεματικός χάρτης κατανομής τιμών SPT σε βάθος 0-15 m για τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.....	404
Σχήμα 7.11: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, όπου απεικονίζονται συγκεκριμένα παραδείγματα χρήσης της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων στην περιοχή έρευνας (πλαίσια 1, 2 και 3).....	406
Σχήμα 7.12: Χάρτες κατανομής τιμών SPT, PI και q_u των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας για βάθος 0-5 m, όπου απεικονίζεται η «περιοχή 2» (βλ. Σχήμα 7.11)	407
Σχήμα 7.13: Χάρτες κατανομής τιμών LL των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας για βάθος 10-15 m (αριστερά) και 15-20 m (δεξιά), όπου απεικονίζεται η περιοχή «3» (βλ. Σχήμα 7.2).....	409
Σχήμα 7.14: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, όπου απεικονίζονται συγκεκριμένα παραδείγματα ως προς την εκδήλωση ρευστοποίησης στην περιοχή έρευνας (πλαίσια 1 και 2)	413
Σχήμα 7.15: Χάρτες κατανομής τιμών SPT, PI και S των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για βάθος 0-5 m, όπου απεικονίζονται οι περιοχές «1» και «2» (βλ. Σχήμα 7.13)	414
Σχήμα 7.16: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, όπου απεικονίζονται συγκεκριμένα παραδείγματα ως προς την εκδήλωση ρευστοποίησης για τις εξής περιοχές: Απολλώνια Πολιτεία (περιοχή 1) και Οργανισμός Λιμένα Θεσσαλονίκης (περιοχή 2)	416
Σχήμα 7.17: Παράδειγμα «περιοχής 1» (βλ. Σχήμα 7.16), όπου διακρίνονται οι υποπεριοχές Α και Β.....	417
Σχήμα 7.18: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) όπου προβάλλονται τα αποτελέσματα των στατικών πενετρομετρήσεων σχετικά με την κατάταξη του εδάφους ανά 0.2 m	420
Σχήμα 7.19: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) όπου προβάλλονται οι διάφορες τιμές I_c ανά 0.2 m υπό τη μορφή γραφικών παραστάσεων.....	422
Σχήμα 7.20: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται η κατανομή των εδαφικών υλικών σύμφωνα με τις τιμές I_c	424
Σχήμα 7.21: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται η επιδεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε ρευστοποίηση.....	425
Σχήμα 7.22: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) στην οποία προβάλλεται ανά βάθος, η πληροφορία που προκύπτει από τη γεωλογική περιγραφή των εδαφικών σχηματισμών στα μητρώα των γεωτρήσεων.....	427
Σχήμα 7.23: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) στην οποία προβάλλεται ανά βάθος, η επιδεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε ρευστοποίηση	428
Σχήμα 7.24: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται αναλυτικά η στρωματογραφία σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα των γεωτρήσεων και των στατικών πενετρομετρήσεων	430
Σχήμα 7.25: Τομή περιοχής 1Β (βλ. Σχήμα 7.16) όπου προβάλλονται τα αποτελέσματα των στατικών πενετρομετρήσεων σχετικά με την κατάταξη του εδάφους ανά 0.2 m	433
Σχήμα 7.26: Τομή περιοχής 1Β (βλ. Σχήμα 7.17) όπου προβάλλονται οι διάφορες τιμές I_c ανά 0.2 m υπό τη μορφή γραφικών παραστάσεων.....	435

Σχήμα 7.27: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται η κατανομή των εδαφικών υλικών σύμφωνα με τις τιμές I_c	437
Σχήμα 7.28: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται η επιδεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε ρευστοποίηση.....	438
Σχήμα 7.29: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) στην οποία προβάλλεται ανά βάθος, η πληροφορία που προκύπτει από τη γεωλογική περιγραφή των εδαφικών σχηματισμών στα μητρώα των γεωτρήσεων.....	440
Σχήμα 7.30: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) στην οποία προβάλλεται ανά βάθος, η επιδεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε ρευστοποίηση.....	441
Σχήμα 7.31: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται αναλυτικά η στρωματογραφία σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα των γεωτρήσεων και των στατικών πενετρομετρήσεων.....	443
Σχήμα 7.32: Παράδειγμα εφαρμογής τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων «περιοχής 2» (βλ. Σχήμα 7.16) ...	445
Σχήμα 7.33: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1A σύμφωνα με το 1 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9).....	454
Σχήμα 7.34: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1A σύμφωνα με το 2 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10).....	454
Σχήμα 7.35: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 1 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9).....	455
Σχήμα 7.36: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 2 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10).....	456
Σχήμα 7.37: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 1 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9).....	457
Σχήμα 7.38: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 2 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10).....	457
Σχήμα 7.39: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1A σύμφωνα με το 1 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9).....	458
Σχήμα 7.40: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1A σύμφωνα με το 2 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10).....	459
Σχήμα 7.41: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 1 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9).....	460
Σχήμα 7.42: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 2 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10).....	460
Σχήμα 7.43: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 1 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9).....	462
Σχήμα 7.44: Κατανομή καθιζήσεων κατά Robertson (NCEER, 2001) για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 1 ^ο σεισμικό σενάριο.....	462
Σχήμα 7.45: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 2 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10).....	463
Σχήμα 7.46: Κατανομή καθιζήσεων κατά Robertson (NCEER, 2001) για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 2 ^ο σεισμικό σενάριο.....	463
Σχήμα 7.47: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1A σύμφωνα με το 1 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9).....	466
Σχήμα 7.48: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1A σύμφωνα με το 2 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10).....	466
Σχήμα 7.49: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 1 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9).....	467
Σχήμα 7.50: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 2 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10).....	468
Σχήμα 7.51: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 1 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9).....	469
Σχήμα 7.52: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 2 ^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10).....	469

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων εισαγωγής στη βάση δεδομένων, ανά παράμετρο και κατηγορία δοκιμών.....	28
Πίνακας 1.2: Συγκεντρωτικός πίνακας εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για τη δημιουργία στατιστικών κατανομών	31
Πίνακας 1.3: Συγκεντρωτικός πίνακας εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών τεχνικογεωλογικής πληροφορίας.....	33
Πίνακας 2.1: Δομή τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων.....	42
Πίνακας 2.2: Αριθμός δεδομένων εισόδου ανά κατηγορία δοκιμών	52
Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα στατιστικών δεικτών για τις μεθόδους χωρικής παρεμβολής που αξιολογήθηκαν	76
Πίνακας 4.1: Χαρακτηρισμός του αναγλύφου της περιοχής έρευνας, Dikau (1989).....	83
Πίνακας 4.2: Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής έρευνας.....	92
Πίνακας 4.3: Η κατανομή των χρήσεων γης της περιοχής έρευνας.....	107
Πίνακας 4.4: Συγκεντρωτικός πίνακας με εύρη τιμών παραμέτρων σύμφωνα με τον τεχνικογεωλογικό χάρτη (τροποποιημένος από Ρόζος et al., 1998; Rozos et al., 2004).....	121
Πίνακας 4.5: Χαρακτηρισμός συνεκτικών εδαφών κατά BS: 5930 και Terzaghi and Peck (1967).....	125
Πίνακας 4.6: Χαρακτηρισμός κοκκωδών εδαφών κατά BS: 5930 και Terzaghi and Peck (1967).....	126
Πίνακας 4.7: Τυπικές τιμές συντελεστών υδροπερατότητας (Terzaghi and Peck, 1967).....	129
Πίνακας 4.8: Βαθμός κορεσμού σε διάφορες καταστάσεις εδάφους (Terzaghi and Peck, 1967)	133
Πίνακας 4.9: Ταξινόμηση εδαφών με βάση το όριο υδαρότητας (Whitlow, 2001)	137
Πίνακας 4.10: Ταξινόμηση εδαφών με βάση τον δείκτη πλαστικότητας (Anonymous, 1979).....	139
Πίνακας 4.11: Ταξινόμηση εδαφών με βάση τον δείκτη πλαστικότητας (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002)... ..	139
Πίνακας 5.1: Ομαδοποίηση σχηματισμών με βάση την κοκκομετρία και το επικρατέστερο υλικό.....	155
Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων	214
Πίνακας 6.2: Συγκεντρωτικός πίνακας παραγόμενων χαρτών, διαγραμμάτων, τομών και μοντέλων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της διατριβής.....	215
Πίνακας 6.3: Οι νέες εξεταζόμενες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες (βλ. Πίνακα 6.3)	347
Πίνακας 6.4: Συγκεντρωτικός πίνακας με συνοπτικά στατιστικά στοιχεία των εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας της περιοχής έρευνας.....	350
Πίνακας 6.5: Φυσικές και μηχανικές παράμετροι για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών τεχνικογεωλογικής πληροφορίας	353
Πίνακας 7.1: Πληροφορίες σχετικά τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και πενетроμετρήσεις της περιοχής «1Α»	418
Πίνακας 7.2: Πληροφορίες σχετικά με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και πενетроμετρήσεις της περιοχής «1Β».....	431
Πίνακας 7.3: Πληροφορίες σχετικά τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και πενетроμετρήσεις της περιοχής «2».....	445
Πίνακας 7.4: Συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με το δυναμικό ρευστοποίησης σύμφωνα με τη βαθμονόμηση των Iwasaki et al. (1978)	448
Πίνακας 7.5: Συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με το δυναμικό ρευστοποίησης σύμφωνα με τη βαθμονόμηση του Sonmez (2003)	448
Πίνακας 7.6: Συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με το δυναμικό ρευστοποίησης σύμφωνα με τη βαθμονόμηση του Lee et al. (2004).....	449
Πίνακας 7.7: Συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με τη δριμύτητα ρευστοποίησης σύμφωνα με τη βαθμονόμηση του Papathanassiou (2008).....	449
Πίνακας 7.8: Συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με το δυναμικό ρευστοποίησης σύμφωνα με τη βαθμονόμηση των Kang et al. (2014)	450
Πίνακας 7.9: 1 ^ο σεισμικό σενάριο, ενεργοποίηση ρήγματος Ανθεμούντα (Σουρωτή κι Αγγελοχώρι) με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9	451



Πίνακας 7.10: 2 ^ο σεισμικό σενάριο, ενεργοποίηση ρήγματος Γερακαρού (Βόλβη) και Λαγκαδάς με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0.....	452
Πίνακας 7.11: Πληροφορίες σχετικά με την απόσταση των πενετρομετρήσεων από το ρέμα και το ύψος του ελεύθερου μετώπου	464

Τις τελευταίες δεκαετίες, το αντικείμενο της ασφαλούς αστικής ανάπτυξης βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος της ερευνητικής κοινότητας. Ο κλάδος της τεχνικής γεωλογίας διαδραματίζει βασικό ρόλο προς αυτήν την κατεύθυνση, καθώς είναι αυτός που σχετίζεται με τη μείωση της αβεβαιότητας σε επίπεδο σχεδιασμού του γεωλογικού-τεχνικογεωλογικού προσομοιώματος και παραμετροποίησης των γεωυλικών. Τέτοιες προκλήσεις καθορίζονται από την εγγενή πολυπλοκότητα των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών που οφείλονται:

- στην ετερογένεια που παρουσιάζουν τα γεωυλικά ως προς την κοκκομετρία και τη σύστασή τους, τόσο σε βάθος, όσο και σε οριζόντια διεύθυνση
- στην παρουσία πρόσφατων αποθέσεων και τις διαφοροποιήσεις που εμφανίζουν στο χώρο οι φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητές τους
- στην ύπαρξη ζωνών που συναντώνται γεωυλικά με πτωχές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες
- στη δυναμική των υπόγειων υδάτων και τις μεταβολές των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών
- στην εκδήλωση γεωκινδύνων και την αυξημένη πιθανότητα εκτεταμένων επιπτώσεων σ' ένα αστικό περιβάλλον
- στην αλληλεπίδραση μεταξύ των διάφορων έργων υποδομής και γεωυλικών στα οποία εδράζονται

Η διαχείριση μεγάλου πλήθους δεδομένων βρίσκεται στο προσκήνιο της έρευνας, ιδίως στο πλαίσιο της ανάπτυξης των σύγχρονων πόλεων, καθώς η ανάγκη για ασφαλή ανάπτυξη βιώσιμων αστικών κέντρων είναι απαραίτητη. Η διαδικασία αυτή εστιάζει αφενός στην αποθήκευση κι επεξεργασία σημαντικού αριθμού δεδομένων με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων κι αφετέρου στον μετασχηματισμό αυτών σε χρήσιμες πληροφορίες που μπορούν να συνδράμουν στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για την αστική ανάπτυξη. Ειδικότερα, στο πεδίο της τεχνικής γεωλογίας, η συνεχής αυξανόμενη διαθεσιμότητα των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών δεδομένων καθιστά επιτακτική την ανάγκη διαχείρισής τους με τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων προσανατολισμένη στον ασφαλή αστικό σχεδιασμό και τη διαχείριση γεωκινδύνων.

Η διδακτορική διατριβή έχει ως αντικείμενο την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση και ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών του αστικού περιβάλλοντος της Θεσσαλονίκης με τη δημιουργία και χρήση τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων για το σχεδιασμό τεχνικών έργων, τη διαχείριση έναντι γεωκινδύνων και την προστασία του γεωπεριβάλλοντος της περιοχής έρευνας. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα επικεντρώνεται στη λεπτομερή διερεύνηση της γεωλογικής σύστασης, των τεχνικογεωλογικών

ιδιοτήτων και της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των τεχνητών επιχώσεων και των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, με σκοπό την απομείωση της γεωλογικής αβεβαιότητας και την αντιμετώπιση προκλήσεων που σχετίζονται μ' αυτή.

Στην παρούσα έρευνα, δημιουργήθηκε μία τεχνικογεωλογική βάση δεδομένων, στην οποία εισήχθη ένα σημαντικό πλήθος πρωτογενών δεδομένων από περισσότερες από 600 γεωτρήσεις γεωτεχνικής έρευνας που διεξήχθησαν στο πλαίσιο μελετών για την κατασκευή διάφορων τεχνικών έργων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Η απουσία ενός τέτοιου εγχειρήματος, σε συνδυασμό με το μεγάλο πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων που προέρχονται από διάφορους φορείς και τεχνικές εταιρίες, αποτελούν κινητήρια δύναμη για την κατασκευή της συγκεκριμένης βάσης δεδομένων. Μέσω της βάσης, είναι ικανή η αποτελεσματική διαχείριση, ανάλυση και συσχέτιση μεγάλου πλήθους γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών δεδομένων με σκοπό τη λεπτομερή διερεύνηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των εξεταζόμενων γεωλογικών σχηματισμών τόσο σε επίπεδο μικρής όσο και σε επίπεδο μεγάλης χαρτογραφικής κλίμακας.

Στην πρώτη περίπτωση, πραγματοποιείται αναλυτική χωρική κατανομή των εξεταζόμενων γεωυλικών με τη δημιουργία πλήθους θεματικών χαρτών γεωλογικής και τεχνικογεωλογικής πληροφορίας και διαγραμμάτων κατανομής ποσοστιαίας συμμετοχής των εξεταζόμενων ιδιοτήτων με λεπτομέρεια σε βάθος κι ανά κατηγορία γεωυλικού. Συγκεκριμένα, μέσω της βάσης δεδομένων δημιουργείται ο νέος επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης και προσδιορίζονται ακριβή εύρη τιμών για τις εξεταζόμενες φυσικές και μηχανικές παραμέτρους με λεπτομέρεια ανά σχηματισμό και σε βάθος. Επιπλέον, κατασκευάζονται χάρτες διακύμανσης πάχους, βάθους και σύστασης των γεωλογικών σχηματισμών καθώς και πληθώρα θεματικών χαρτών κατανομής τεχνικογεωλογικών φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων για διάφορα βάθη.

Η δεύτερη προσέγγιση αποσκοπεί στην επιτόπου διερεύνηση των επιφανειακών και υπόγειων τεχνικογεωλογικών συνθηκών μέσω της κατασκευής δισδιάστατων μηκοτομών και τρισδιάστατων γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών μοντέλων που συνοδεύονται από διαγράμματα κατανομής τεχνικογεωλογικών παραμέτρων. Παράλληλα, παρουσιάζεται ένα σύνολο εφαρμογών προσανατολισμένες στον ασφαλή σχεδιασμό τεχνικών έργων και στην προστασία των αστικών περιοχών από γεωκινδύνους, δίνοντας έμφαση στην ανάδειξη των πολλαπλών χρήσεων της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων.

Ειδικότερα, η παρούσα έρευνα αποσκοπεί:

- στην πλήρη κατανόηση του γεωλογικού-τεχνικογεωλογικού προτύπου μέσω:
 - i. της αναπαράστασης των εγγενών γεωλογικών διακυμάνσεων που σχετίζονται με το πάχος και βάθος των εδαφικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας

- ii. της λεπτομερούς διερεύνησης της ετερογένειας που παρουσιάζουν οι αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας ως προς τη σύσταση και λιθολογία τους
- iii. του καθορισμού των διαφοροποιήσεων που εμφανίζουν τα γεωυλικά ως προς την επικράτηση της κοκκομετρίας
- iv. της διερεύνησης της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των εξεταζόμενων γεωυλικών με το βάθος
- στην αναλυτική έρευνα των τεχνικογεωλογικών συνθηκών των εξεταζόμενων σχηματισμών τόσο επιφανειακά, όσο και με λεπτομέρεια σε βάθος με:
 - i. την παράθεση εύρους τιμών πλήθους φυσικών και μηχανικών παραμέτρων
 - ii. τον προσδιορισμό και την παρουσίαση της χωρικής κατανομής τους
- στην απομείωση της γεωλογικής αβεβαιότητας στο αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης μέσω:
 - i. της ανάδειξης περιοχών που χρήζουν περαιτέρω διενέργειας στοχευμένου γεωερευνητικού προγράμματος με σκοπό τον λεπτομερή σχεδιασμό τεχνικών έργων
 - ii. της πραγματοποίησης βέλτιστου σχεδιασμού και προγραμματισμού έργων σε περιοχές για τις οποίες δεν υπήρχαν, μέχρι πρότινος, διαθέσιμα δεδομένα
 - iii. του εντοπισμού ζωνών αυξημένης γεωλογικής επικινδυνότητας με σκοπό την αποφυγή τέτοιων περιοχών κατά τον αρχικό σχεδιασμό και τη διερεύνησή τους ως προς τη δυνατότητα εκδήλωσης γεωκινδύνων
 - iv. της ανάλυσης και διαχείρισης αστικών γεωκινδύνων όπως η ρευστοποίηση και οι καθιζήσεις

Μέσω αυτής της διαδικασίας αξιοποιούνται στον μέγιστο βαθμό τα διαθέσιμα δεδομένα, ενισχύοντας την υπάρχουσα γνώση γύρω από τις γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές συνθήκες της Θεσσαλονίκης. Ιδιαίτερο πλεονέκτημα της διδακτορικής διατριβής αποτελεί το γεγονός ότι γεφυρώνει σημαντικά το κενό που υπήρχε στην περιοχή έρευνας από προηγούμενη ερευνητική δραστηριότητα. Αυτό σχετίζεται με την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης πληθώρας γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών δεδομένων, συμβάλλοντας αποτελεσματικά στην ενίσχυση της ακρίβειας και ασφάλειας των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την τεχνική γεωλογία και γεωτεχνική μηχανική στο πλαίσιο της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης.

1.2. Μεθοδολογία

Στο πλαίσιο της διατριβής ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογική προσέγγιση:

Κατά το πρώτο στάδιο, συγκεντρώθηκαν κι αναλύθηκαν οι βιβλιογραφικές αναφορές για την περιοχή έρευνας, αντλώντας στοιχεία από χάρτες, τεχνικές εκθέσεις, μελέτες και σχετικές εργασίες.

Τα στοιχεία αυτά αφορούν σε πληροφορίες σχετικά με τα γεωλογικά, τεχνικογεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των γεωυλικών της Θεσσαλονίκης.

Η διαδικασία που ακολουθείται ξεκινά με τη δημιουργία μίας τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων για την εισαγωγή, επεξεργασία και διαχείριση ενός μεγάλου όγκου γεω-δεδομένων. Αυτή βασίστηκε, με κατάλληλες προσαρμογές ως προς τη δομή και τη σύνδεση των πινάκων, στο «Σύστημα Πληροφοριών και Ανάλυσης Σηράγγων» - TIAS (Tunnel Information Analysis System) (AGS, 1999; Marinos et al., 2013). Συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από περισσότερες από 600 γεωτρήσεις, προερχόμενα από την Αττικό Μετρό Α.Ε., τη Γεώγνωση Α.Ε., την Εγνατία Οδό Α.Ε. και το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ). Η δομή της βάσης δεδομένων διακλαδίζεται σε πέντε κύριες διακριτές κατηγορίες που αφορούν στα στοιχεία των γεωτρήσεων, στην περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών, στα αποτελέσματα επιτόπου κι εργαστηριακών δοκιμών (Πίνακας 1.1) και σε λοιπά συνοδευτικά στοιχεία που σχετίζονται με τη γενικότερη δομή και σύνδεση των πολυάριθμων πεδίων εντός των πινάκων της βάσης δεδομένων. Έπειτα από την εισαγωγή των διάφορων στοιχείων στα αντίστοιχα πεδία πινάκων, δημιουργήθηκε ένα σύνολο από αλγόριθμους και μακροεντολές εντός της βάσης δεδομένων με σκοπό την αυτοματοποίηση διαδικασιών που σχετίζονται με την επεξεργασία και διαχείριση των δεδομένων κατά το στάδιο της ανάλυσης και συσχέτισής τους.

Πίνακας 1.1: Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων εισαγωγής στη βάση δεδομένων, ανά παράμετρο και κατηγορία δοκιμών

Κατηγορία δοκιμών	Παράμετροι
Εργαστηριακές δοκιμές	<u>Παράμετροι Φυσικών ιδιοτήτων</u>
	Όριο υδαρότητας - LL
	Όριο πλαστικότητας - PL
	Δείκτης πλαστικότητας - PI
	Δείκτης συνεκτικότητας - I _c
	Περιεχόμενη φυσική υγρασία - w
	Βαθμός κορεσμού - S
	Δείκτης πόρων - e
	Πορώδες - n
	Υγρό φαινόμενο βάρος - γ _b
	Ξηρό φαινόμενο βάρος - γ _d
	Κοκκομετρική διαβάθμιση

Εργαστηριακές δοκιμές	<u>Παράμετροι Μηχανικών ιδιοτήτων</u>
	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη - q_u
	Δοκιμή άμεσης διάτμησης: • Συνοχή - c • Γωνία εσωτερικής τριβής - ϕ
	Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης: • Συνοχή - c • Γωνία εσωτερικής τριβής - ϕ
Επιτόπου δοκιμές	Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης - N_{SPT}
	Συντελεστής υδροπερατότητας - k
	Δοκιμή στατικής πενετρομέτρησης: • Αντίσταση αιχμής - q_c • Τοπική πλευρική τριβή - f_s

Έπειτα, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε με σκοπό την επιλογή της βέλτιστης μεθόδου χωρικής παρεμβολής για την περαιτέρω ανάλυση κι αναπαράσταση των χωρικών δεδομένων που πραγματοποιήθηκε σε επόμενα στάδια. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε προγραμματιστικός κώδικας για τη διαμόρφωση κι επιλογή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό την αξιολόγηση της ακρίβειας των εξεταζόμενων μεθόδων χωρικής παρεμβολής. Η σύγκριση μεταξύ των διάφορων μεθόδων παρεμβολής και η τελική επιλογή της βέλτιστης εξ αυτών πραγματοποιήθηκε μέσω γεωστατιστικής ανάλυσης.

Ακολούθως, με σκοπό την καλύτερη παρουσίαση των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών της περιοχής έρευνας σύμφωνα με την προϋπάρχουσα γνώση, συντάχθηκε ένα σύνολο από χάρτες που αφορούν:

- στο γεωλογικό και τεχνικογεωλογικό χάρτη της περιοχής έρευνας
- στο μορφολογικό ανάγλυφο και στη σύνθεση του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου
- στις μορφολογικές κλίσεις
- στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου
- στη χωρική κατανομή των χρήσεων γης
- στην κατανομή του οδικού δικτύου

Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε μια γενική επισκόπηση ως προς τις γεωτεχνικές ταξινομήσεις και τα συστήματα κατάταξης που χρησιμοποιούνται στις εξεταζόμενες φυσικές και μηχανικές

παραμέτρους που διερευνώνται στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Οι κατατάξεις αυτές προέρχονται τόσο από τη διεθνή, όσο κι από την εγχώρια βιβλιογραφία κι αναφέρονται σε μια ομάδα προτύπων και κανονισμών για τον γεωτεχνικό σχεδιασμό έργων πολιτικού μηχανικού.

Στο επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών δεδομένων. Με σκοπό τη διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών, αναπτύχθηκε ένα σύνολο από θεματικούς χάρτες συνολικά για την περιοχή έρευνας, καθώς και τρισδιάστατα γεωλογικά μοντέλα για επιλεγμένες περιοχές βάσει του δικτύου των γεωτρήσεων. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν οι εξής θεματικοί χάρτες:

- Χάρτες κατανομής πάχους των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας
- Χάρτες κατανομής βάθους των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας και απεικόνιση ισοβαθών καμπύλων
- Χάρτες κατανομής υλικών των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για τα εξής βάθη: 0-5, 5-10, 10-15 και 15-20 m οι οποίοι συνοδεύονται από θηκογράμματα που δημιουργήθηκαν με λεπτομέρεια ανά 0.5 m

Η τελευταία κατηγορία χαρτών ενισχύθηκε περαιτέρω με τη δημιουργία των κοκκομετρικών καμπύλων με λεπτομέρεια ανά 5 m μέχρι το βάθος των 25 m για το σύνολο των εξεταζόμενων εδαφικών σχηματισμών σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τις κοκκομετρικές αναλύσεις με κόσκινα.

Τα τρισδιάστατα γεωλογικά μοντέλα, οι μηκοτομές και τα διαγράμματα «φράχτη» (fence diagrams) δημιουργήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Leapfrog Works με σκοπό:

- την αναπαράσταση της γεωλογίας και τη χωρική κατανομή των εξεταζόμενων σχηματισμών
- την επικράτηση της λιθολογίας και τη διακύμανση ανά σχηματισμό και βάθος
- την κατανόηση της στρωματογραφίας
- την αποτύπωση της γεωμορφολογίας και
- τον προσδιορισμό γεωλογικά επικίνδυνων περιοχών ως προς:
 - i. την καταλληλότητα ανάπτυξης τεχνικών έργων
 - ii. τη δυνατότητα εκδήλωσης γεωκινδύνων

Αναφορικά με τις υδρογεωλογικές συνθήκες, διακρίθηκαν δύο κατηγορίες ως προς τα διαθέσιμα δεδομένα. Η πρώτη κατηγορία δεδομένων περιλαμβάνει τις τιμές των συντελεστών υδροπερατότητας όπως προέκυψαν από τις δοκιμές εισπίεσης νερού που διενεργήθηκαν στις γεωτρήσεις με σκοπό τη δημιουργία διαγραμμάτων διακύμανσης της υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους των διάφορων γεωυλικών που εξετάζονται στην παρούσα. Η δεύτερη κατηγορία αφορά στις διαθέσιμες στάθμες γεωτρήσεων, οι οποίες αξιοποιήθηκαν με σκοπό τη δημιουργία διαγραμμάτων διακύμανσης της

στάθμης του υπόγειου νερού και πιεζομετρικών χαρτών σε συγκεκριμένες θέσεις εντός της περιοχής έρευνας.

Στη συνέχεια, από την αξιολόγηση των δεδομένων, προέκυψε η δημιουργία ενός επικαιροποιημένου τεχνικογεωλογικού χάρτη του λεκανοπεδίου της Θεσσαλονίκης αναθεωρώντας στοιχεία του υπάρχοντος χάρτη κι επαναπροσδιορίζοντας τις γεωλογικές επαφές με βάση τα νέα διαθέσιμα σύνολα δεδομένων, δημιουργώντας έναν πολύτιμο οδηγό τόσο για τον αστικό σχεδιασμό, όσο και για τη γεωτεχνική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής.

Έπειτα πραγματοποιήθηκε λεπτομερής ανάλυση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών ανά τεχνικογεωλογική ενότητα δίνοντας έμφαση στις διαφοροποιήσεις που εντοπίζονται εντός των εξεταζόμενων σχηματισμών. Συγκεκριμένα, συνολικά για την περιοχή έρευνας δημιουργήθηκαν στατιστικές κατανομές και διαγράμματα κατανομής στα οποία παρουσιάζεται η διακύμανση κι επικράτηση των τιμών των παραμέτρων που εξετάστηκαν, συναρτήσει του βάθους των τεχνητών επιχώσεων και των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας. Για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις γίνεται περαιτέρω διάκριση ως προς την επικράτηση των λεπτόκοκκων κι αδρόκοκκων υλικών. Οι φυσικές και μηχανικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των συγκεκριμένων διαγραμμάτων παρουσιάζονται στον πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2: Συγκεντρωτικός πίνακας εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για τη δημιουργία στατιστικών κατανομών

Κατηγορία δοκιμών	Παράμετροι
Εργαστηριακές δοκιμές	<i>Παράμετροι Φυσικών ιδιοτήτων</i>
	Όριο υδαρότητας - LL
	Όριο πλαστικότητας - PL
	Δείκτης πλαστικότητας - PI
	Δείκτης συνεκτικότητας - I _c
	Περιεχόμενη υγρασία - w
	Βαθμός κορεσμού - S
	Δείκτης πόρων - e
	Πορώδες - n
	Υγρό φαινόμενο βάρος - γ _b
	Ξηρό φαινόμενο βάρος - γ _d
	Κοκκομετρική διαβάθμιση

Εργαστηριακές δοκιμές	<u>Παράμετροι Μηχανικών ιδιοτήτων</u>
	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη - q_u
	Δοκιμή άμεσης διάτμησης: • Συνοχή - c • Γωνία εσωτερικής τριβής - ϕ
	Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης: • Συνοχή - c • Γωνία εσωτερικής τριβής - ϕ
Επιτόπου δοκιμές	Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης - N_{SPT}

Στο επόμενο στάδιο δημιουργήθηκε ο νέος επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης που συνοδεύεται από την αναθεώρηση του εύρους παραμέτρων των γεωυλικών. Συγκεκριμένα, από την αξιολόγηση των δεδομένων, προέκυψε η δημιουργία νέων φασμάτων τιμών, συνοδευόμενες από στατιστικούς δείκτες για τις εξεταζόμενες παραμέτρους των γεωλογικών σχηματισμών. Η νέα πληροφορία σχετικά με τα εύρη τιμών παρουσιάζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις προγενέστερες διαθέσιμες τιμές, καθώς η διαδικασία που ακολουθήθηκε πραγματοποιήθηκε για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα και με λεπτομέρεια ως προς τα ακόλουθα βάθη: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 και 20-25 m.

Για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών τεχνικογεωλογικής πληροφορίας, χρησιμοποιήθηκαν οι φυσικές και μηχανικές παράμετροι που παρουσιάζονται στον πίνακα 1.3. Ειδικότερα, για καθεμία παράμετρο δημιουργήθηκαν:

- χάρτες κατανομής ανά 5 m, μέχρι το βάθος των 20 m, οι οποίοι συνοδεύονται από συγκεκριμένα εύρη τιμών τα οποία επιλέγονται κυρίως με βάση τις γεωτεχνικές ταξινομήσεις και κατατάξεις, καθώς και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων για κάθε περίπτωση
- ισοβαθείς χάρτες κατανομής τεχνικογεωλογικών παραμέτρων, για συγκεκριμένα εύρη τιμών. Σ' αυτούς προβάλλονται οι ισοβαθείς καμπύλες από τις οποίες εξάγεται η πληροφορία σχετικά με το πώς κατανέμονται τα αντίστοιχα εύρη τιμών στο βάθος με λεπτομέρεια ανά 2 m.

Πίνακας 1.3: Συγκεντρωτικός πίνακας εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών τεχνικογεωλογικής πληροφορίας

Κατηγορία δοκιμών	Παράμετροι
Εργαστηριακές δοκιμές	<u>Παράμετροι Φυσικών ιδιοτήτων</u>
	Όριο υδαρότητας - LL
	Όριο πλαστικότητας - PL
	Δείκτης πλαστικότητας - PI
	Δείκτης συνεκτικότητας - I_c
	Περιεχόμενη υγρασία - w
	Βαθμός κορεσμού - S
	Υγρό φαινόμενο βάρος - γ_b
	Ξηρό φαινόμενο βάρος - γ_d
	<u>Παράμετροι Μηχανικών ιδιοτήτων</u>
	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη - q_u
Επιτόπου δοκιμές	Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης - N_{SPT}

Ακολούθως, κατασκευάστηκαν τρισδιάστατα τεχνικογεωλογικά μοντέλα σε επιλεγμένες περιοχές. Σ' αυτά παρουσιάζονται εκτός από την κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών και η χωρική μεταβλητότητα των εκάστοτε παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, εντός των διαφορετικών σχηματισμών. Τα μοντέλα αυτά συνοδεύονται από διαγράμματα στατιστικών κατανομών όπου προβάλλεται η σχετική συχνότητα εμφάνισης για τα διάφορα εύρη τιμών των εξεταζόμενων παραμέτρων.

Τέλος, προτάθηκαν επιλεκτικά παραδείγματα χρήσης της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων με τη μορφή συγκεκριμένων εφαρμογών αναδεικνύοντας περαιτέρω τις δυνατότητες της παρούσας έρευνας. Τα παραδείγματα εφαρμογών που παρουσιάζονται είναι προσανατολισμένα στον ασφαλή σχεδιασμό τεχνικών έργων όπως αστικές σήραγγες ή σημαντικές θεμελιώσεις αλλά και στην ανάλυση εκδήλωσης γεωκινδύνων όπως ρευστοποίηση ή καθιζήσεις.

Σ' αυτό το σημείο, κι αφού έχει αναπτυχθεί εκτενώς η μεθοδολογία της έρευνας, κρίνεται απαραίτητη η αναφορά στις παραδοχές στις οποίες βασίζεται η παρούσα διατριβή:

- Οι θεματικοί χάρτες των εξεταζόμενων εδαφικών σχηματισμών παρέχουν κατά θέσεις μια εκτίμηση των τιμών των δεδομένων που εξετάζονται κατά περίπτωση. Τυχόν αβεβαιότητες σχετικά με:
 - το πάχος και βάθος εμφάνισης των εξεταζόμενων σχηματισμών
 - τα όρια των εξεταζόμενων σχηματισμών ως προς την επικράτηση των υλικών
 - και τη χωρική κατανομή των διάφορων τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικώνμειώνονται ανάλογα με το κατά τόπους διαθέσιμο δίκτυο των γεωτρήσεων. Επομένως, όπου είναι πιο πυκνό το διαθέσιμο δίκτυο των γεωτρήσεων, οι επιφάνειες που δημιουργούνται από παρεμβολή προσομοιάζουν καλύτερα την εικόνα των πραγματικών επιφανειών. Συνεπώς, οποιαδήποτε διαφορά σε σχέση με τις κατά θέσεις εκτιμώμενες τιμές και τις πραγματικές τιμές στα αντίστοιχα σημεία, καλείται ως εγγενής αβεβαιότητα της χωρικής παρεμβολής.
- Η παρούσα έρευνα αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την αποτελεσματική διαχείριση των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών δεδομένων στον πολεοδομικό σχεδιασμό και την προστασία της υπό έρευνα περιοχής από γεωκινδύνους. Ωστόσο, δεν προτείνεται η χρήση του ως ένα εγχειρίδιο που μπορεί να εφαρμοστεί καθολικά με λεπτομέρεια σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελεί μια σημαντική πρώτη κατεύθυνση στη συνολική κατανόηση των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών της Θεσσαλονίκης και δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται χωρίς τη δέουσα συνεκτίμηση των κατά περίπτωση ειδικών συνθηκών. Επομένως, πρόκειται για έναν πολύτιμο οδηγό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επίπεδο προμελέτης, η εφαρμογή του οποίου συνιστάται να γίνεται σε συνδυασμό με τη διενέργεια επιτόπου γεωτεχνικών ερευνών με σκοπό την περαιτέρω αξιοποίηση των διαθέσιμων στοιχείων σε μια οριστική μελέτη.

1.3. Διάρθρωση Διατριβής

Η δομή που ακολουθείται στην παρούσα διατριβή παρουσιάζεται στις ακόλουθες παραγράφους.

Στο πρώτο κεφάλαιο (1^ο) διαρθρώνεται η εισαγωγή όπου παρουσιάζεται το αντικείμενο, ο σκοπός και η μεθοδολογία της διατριβής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο (2^ο) περιγράφεται η δομή και η λειτουργία της γεωτεχνικής βάσης δεδομένων που δημιουργήθηκε για τους σκοπούς της διατριβής. Πραγματοποιείται μια σύντομη αναφορά στις βάσεις δεδομένων και ειδικότερα στη βάση TIAS που στηρίχθηκε η παρούσα έρευνα ενώ αναλύονται εκτενώς οι στόχοι και τα στάδια που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων αστικού περιβάλλοντος Θεσσαλονίκης. Επίσης παρατίθενται λεπτομερώς τα διαθέσιμα δεδομένα εισόδου ανά κατηγορία δοκιμών κι ανά φυσικές και μηχανικές παραμέτρους που εισάγονται στη βάση δεδομένων κι αναλύονται περαιτέρω σε επόμενα κεφάλαια.

Στο τρίτο κεφάλαιο (3^ο) πραγματοποιείται γεωστατιστική ανάλυση και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε με σκοπό την επιλογή της βέλτιστης μεθόδου χωρικής παρεμβολής για την περαιτέρω ανάλυση κι αναπαράσταση των χωρικών δεδομένων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο (4^ο) παρουσιάζονται λεπτομερώς τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας, καθώς και το υπόβαθρο των τεχνικογεωλογικών συνθηκών. Επιπλέον πραγματοποιείται μια γενική επισκόπηση ως προς τις γεωτεχνικές ταξινομήσεις και τα συστήματα κατάταξης που χρησιμοποιούνται στην παρούσα κατά την ανάλυση και παρουσίαση των διαθέσιμων δεδομένων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο (5^ο) παρουσιάζεται η ανάλυση των διαθέσιμων γεωλογικών δεδομένων. Αρχικά, αναπτύσσεται ένα σύνολο από θεματικούς χάρτες για ολόκληρη την περιοχή έρευνας, που παρουσιάζουν τη διακύμανση του πάχους και βάθους των εξεταζόμενων σχηματισμών. Ακόμη δημιουργούνται χάρτες επικράτησης υλικών με λεπτομέρεια ανά συγκεκριμένο βάθος, συνοδευόμενοι από θηκογράμματα και κοκκομετρικές καμπύλες που ενισχύουν περαιτέρω την πληροφορία που προκύπτει απ' αυτούς. Επίσης, δημιουργούνται τρισδιάστατα γεωλογικά μοντέλα για επιλεγμένες περιοχές εντός της περιοχής έρευνας με σκοπό τόσο την παρουσίαση, όσο και την ανάδειξη γεωλογικών χαρακτηριστικών όπως η στρωματογραφία, η διακύμανση της λιθολογίας, η διάταξη των δομικών στοιχείων και η αποτύπωση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον διερευνώνται λεπτομερώς οι υδρογεωλογικές συνθήκες, με τη δημιουργία διαγραμμάτων διακύμανσης της υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους των διάφορων γεωυλικών. Ακόμη, κατασκευάζονται διαγράμματα στάθμης του υπόγειου νερού και πιεζομετρικοί χάρτες σε συγκεκριμένες περιοχές με σκοπό την ενδελεχή διερεύνηση των επιτόπου υδρογεωλογικών συνθηκών.

Στο έκτο κεφάλαιο (6^ο) πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών για τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας δίνοντας έμφαση στις διαφοροποιήσεις που εντοπίζονται εντός των εξεταζόμενων σχηματισμών. Στο πλαίσιο αυτό, δημιουργούνται στατιστικές κατανομές και διαγράμματα κατανομής των παραμέτρων με το βάθος, ανά τεχνικογεωλογική ενότητα. Στην περίπτωση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας η διαδικασία πραγματοποιείται με λεπτομέρεια ανά υλικό, ενισχύοντας περαιτέρω την ανάλυση της συμπεριφοράς των γεωυλικών. Από την ανάλυση των δεδομένων, δημιουργήθηκε ο νέος επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης της Θεσσαλονίκης όπου επαναπροσδιορίζονται τα όρια των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα. Παράλληλα, προτείνονται λεπτομερή εύρη τιμών των εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων, για το σύνολο των τεχνικογεωλογικών ενότητων που διαφοροποιούνται με λεπτομέρεια σε βάθος.

Ακολούθως πραγματοποιείται η ανάλυση κι ερμηνεία των τεχνικογεωλογικών δεδομένων σε περιβάλλον GIS με σκοπό τη δημιουργία θεματικών χαρτών ανά συγκεκριμένο βάθος, στους οποίους απεικονίζεται χωρικά η κατανομή της τεχνικογεωλογικής πληροφορίας. Οι χάρτες αυτοί συμβάλλουν ιδιαίτερα στην ασφαλή αστική ανάπτυξη, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διερεύνηση της τεχνικογεωλογικής καταλληλότητας και στην προστασία από πιθανούς γεωκινδύνους. Έπειτα, συνδυάζοντας την τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση με τεχνικογεωλογικά δεδομένα, δημιουργούνται τρισδιάστατα μοντέλα σε επιλεγμένες περιοχές, στα οποία προβάλλεται εκτός από την κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών και η χωρική διακύμανση των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων τους.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο (7^ο) παρουσιάζονται, επιλεκτικά παραδείγματα χρήσης της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων, προσανατολισμένα στον ασφαλή σχεδιασμό τεχνικών έργων (βαθείς θεμελιώσεις και διάνοιξη αστικών σηράγγων) και στην προστασία της περιοχής έρευνας από γεωκινδύνους (καθιζήσεις και ρευστοποίηση).

Τα βασικά αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής, παρουσιάζονται στο όγδοο κεφάλαιο (8^ο). Επίσης, στο ίδιο κεφάλαιο αναφέρονται επιγραμματικά οι προοπτικές για περαιτέρω έρευνα και πραγματοποιείται μια σύντομη συζήτηση γύρω από το αντικείμενο της παρούσας διατριβής.

2. Τεχνικογεωλογική βάση δεδομένων για τον σχεδιασμό τεχνικών έργων και την προστασία αστικών περιοχών από γεωκινδύνους

2.1. Γενικά

Ο βασικός στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι να αναδείξει τον τρόπο με τον οποίο η γεωλογική και τεχνικογεωλογική γνώση μπορεί να διαχειριστεί σε μια καλά οργανωμένη γεωτεχνική βάση δεδομένων, η οποία είναι σε θέση να αναπτύξει διάφορους συσχετισμούς και να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες στα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής τεχνικών έργων με γνώμονα τη διαχείριση, τον σχεδιασμό και την προστασία αστικών περιοχών από γεωκινδύνους. Η διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, «big data management» όπως έχει επικρατήσει παγκοσμίως στη βιβλιογραφία, επιτρέπει την αποτελεσματική αποθήκευση και επεξεργασία τους με σκοπό την ενίσχυση των διαδικασιών που σχετίζονται με την ασφαλή ανάπτυξη των περιοχών σε επίπεδο γεωτεχνικής μηχανικής. Οι αστικές περιοχές δεν αποτελούν εξαίρεση σ' αυτό, καθώς η «ευφυία» των πόλεων, ειδικά στα θέματα διαχείρισης πολιτικής προστασίας, εξαρτάται άμεσα από τα διάφορα συστήματα πληροφοριών που παρέχουν πληθώρα δεδομένων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για τη λήψη αποφάσεων.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αυξηθεί ιδιαίτερα το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη «ευφών πόλεων» μέσα από την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων, ενισχύοντας ιδιαίτερα την αλληλεξάρτηση μεταξύ τους (Shahat Osman και Elragal, 2021). Ο συνδυασμός της αποτελεσματικής αποθήκευσης και διαχείρισης των «big data» εντός μιας τράπεζας δεδομένων, κατέστησε τις εφαρμογές βάσεων δεδομένων αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας λήψης αποφάσεων στον αστικό σχεδιασμό. Πολυάριθμες έρευνες έχουν εστιάσει στην εκτίμηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών με σκοπό να ενισχύσουν την ασφαλή αστική ανάπτυξη (Fuchu et al., 1994; Dai et al., 2001; El May et al., 2010; Donghee et al., 2012; Kolat et al., 2012). Πρόσφατες βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις επικεντρώθηκαν στη διερεύνηση «απρόβλεπτων» γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών κατά την κατασκευή διάφορων τεχνικών έργων, καθώς και στα οφέλη της διαχείρισης γεωτεχνικών στοιχείων σε μια βάση δεδομένων (Babendererde et al., 2004; Marinos et al., 2009; Mohammadi et al., 2016).

Οι βάσεις δεδομένων επιτρέπουν έναν αυξανόμενο αριθμό εφαρμογών, όπου η χρήση τους είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, κυρίως λόγω της εύκολης και γρήγορης ανάκλησης δεδομένων (Koçkar και Akgün, 2008; Foster et al., 2012; Todo et al., 2013). Σημαντικός είναι ο αριθμός των γεωτεχνικών βάσεων δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως (Veeger et al., 2004; Chung and Rogers, 2010; Chmelina et al., 2013; Marinos et al., 2013), ενισχύοντας τη σημασία της ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων σε επίπεδο σχεδιασμού και κατασκευής τεχνικών

έργων. Ενδεικτικά αναφέρεται η εργασία των Grafinger και Zischinsky (2005) που εστίασαν στη διαχείριση, προϋπάρχοντων δεδομένων γεωμηχανικής παρακολούθησης, δίνοντας έμφαση στη γρήγορη ανάκτησή τους και την οπτικοποίησή τους με την παραγωγή κατάλληλων διαγραμμάτων. Ακόμη, οι Kimmance et al. (1999) ασχολήθηκαν με την αρχιτεκτονική και τις επιδόσεις ενός συστήματος διαχείρισης και ανάλυσης πληροφοριών σχετικών με μεγάλα κατασκευαστικά έργα, εστιάζοντας στη διαδικτυακή χρήση μέσω περιβάλλοντος GIS (Geographic Information System) που αλληλεπιδρά με τη γεωτεχνική βάση δεδομένων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι διάφορες βάσεις γεωτεχνικών δεδομένων δημιουργούνται όχι μόνο για συγκεκριμένους σκοπούς, όπως περιγράφησαν παραπάνω, αλλά προσαρμόζονται και στο μέγεθος των έργων για τα οποία κατασκευάζονται. Χαρακτηριστικά παραδείγματα παγκοσμίως αναγνωρισμένων βάσεων δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν σε σημαντικής κλίμακας γεωλογικές και γεωτεχνικές έρευνες είναι:

- η βάση δεδομένων «GEOSIS» του «Jubilee Line Extension Project» στο Λονδίνο (Black et al., 2001),
- η «Engineering Geological Database» που χρησιμοποιήθηκε στο Polish Geological Survey Project, BDGI (Watson et al., 2017),
- η «National Geotechnical Properties Database» της British Geological Survey (BGS) (Self et al., 2012), καθώς και
- η «Tunnel Information Analysis System» της Εγνατίας Οδού Α.Ε. (Marinos et al., 2013)

όλες συμβατές με το μοντέλο δεδομένων AGS[®], «The Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists» (AGS, 1999).

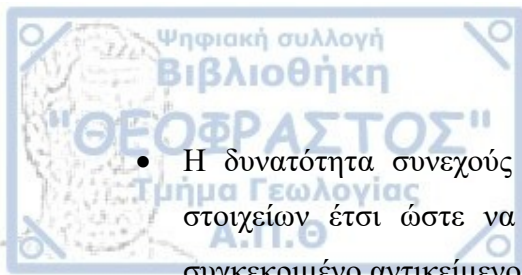
2.2. Σκοπός της βάσης δεδομένων

Το κίνητρο για τη διεξαγωγή αυτής της έρευνας ήταν η απουσία μιας τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων για τον σχεδιασμό τεχνικών έργων, τη διαχείριση έναντι γεωκινδύνων και την προστασία του γεωπεριβάλλοντος στη λεκάνη της Θεσσαλονίκης. Η προσέγγιση αυτή έχει μεγάλη σημασία, καθώς, με τη δημιουργία της συγκεκριμένης τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων είναι ικανή η συγκέντρωση, κατόπιν επεξεργασίας και αξιολόγησης, ενός μεγάλου όγκου διαθέσιμων δεδομένων με σκοπό την ανάδειξη των γεωλογικών συνθηκών και των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της δεύτερης μεγαλύτερης πόλης στην Ελλάδα. Η αποτελεσματική ανάλυση και αξιοποίηση ενός μεγάλου όγκου δεδομένων αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην εύρυθμη λειτουργία πολλών υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων αυτών που σχετίζονται με την ασφαλή ανάπτυξη κι επέκταση αστικών περιοχών, όπως αυτή της Θεσσαλονίκης.

Η άμεση διαχείριση των γεωτεχνικών δεδομένων είναι ένα από τα κύρια ανοικτά ζητήματα που πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω, ώστε να επιτευχθεί μια πιο ολοκληρωμένη άποψη γύρω από την ανάπτυξη βιώσιμων και λειτουργικών πόλεων. Για το λόγο αυτό, η συγκέντρωση κι επεξεργασία γεωτεχνικών δεδομένων με τη χρήση μιας τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων θα συμβάλλει ιδιαίτερα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων στα διάφορα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής επιφανειακών και υπόγειων αστικών έργων. Μάλιστα, ειδικά στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης που αποτελείται κυρίως από εδαφικά γεωυλικά, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για απομοίωση της γεωλογικής αβεβαιότητας με τη συμβολή μιας τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι για τη δημιουργία της γεωτεχνικής βάσης δεδομένων που παρουσιάζεται στην παρούσα έρευνα παρουσιάζονται εφεξής:

- Η συγκέντρωση, ενός τεράστιου όγκου πληροφοριών που είναι διαθέσιμες από διάφορες τεχνικές έρευνες και μελέτες.
- Η ταξινόμηση κι ομαδοποίηση των στοιχείων που προέρχονται από πολλαπλούς φορείς, με σκοπό την αποθήκευση και διαχείρισή τους σ' ένα ενιαίο σύστημα.
- Η ανάλυση κι ο συσχετισμός αυτών των δεδομένων με στόχο να ενισχυθεί η γνώση γύρω από θέματα που σχετίζονται με τις γεωλογικές-γεωτεχνικές συνθήκες, τη συμπεριφορά των γεωυλικών και τις μεθόδους σχεδιασμού και κατασκευής τεχνικών έργων στην περιοχή έρευνας.
- Η άμεση άντληση συγκεκριμένων πληροφοριών, έπειτα από αιτήματα χρηστών, οι οποίες είναι χρήσιμες τόσο στην έρευνα, όσο και στη μελέτη και κατασκευή νέων τεχνικών έργων.
- Η αμφίδρομη σύνδεση και συμβατότητα της βάσης δεδομένων με άλλα συστήματα και λογισμικά με σκοπό τη δυνατότητα περαιτέρω αξιοποίησης αυτών των δεδομένων.
- Ο μετασχηματισμός των δεδομένων σε χρήσιμες κι άμεσα προσβάσιμες πληροφορίες με τη μορφή θεματικών χαρτών, διαγραμμάτων, στατιστικών κατανομών και τρισδιάστατων μοντέλων.
- Η ανάπτυξη συγκεκριμένων εφαρμογών στην περιοχή έρευνας, οι οποίες εξετάζονται τόσο υπό το πρίσμα του σχεδιασμού και της κατασκευής τεχνικών έργων, όσο και για τη διερεύνηση των γεωκινδύνων.
- Η παροχή χρήσιμων πληροφοριών που μπορούν να ενισχύσουν τις διάφορες διαδικασίες λήψης αποφάσεων σε ζητήματα πολιτικής προστασίας, στον ασφαλή σχεδιασμό υποδομών, στη διαχείριση των κρίσεων και στο μετριασμό των επιπτώσεων των γεωκινδύνων.



- Η δυνατότητα συνεχούς ανανέωσης της βάσης δεδομένων με την αποθήκευση νέων στοιχείων έτσι ώστε να εμπλουτιστεί περαιτέρω η υπάρχουσα γνώση γύρω από το συγκεκριμένο αντικείμενο.

2.3. Η βάση δεδομένων TIAS

Η παρούσα έρευνα προέκυψε από την εμπειρία του «Συστήματος Πληροφοριών και Ανάλυσης Σηράγγων» - TIAS (Tunnel Information Analysis System), μιας γεωτεχνικής βάσης δεδομένων σηράγγων που αναπτύχθηκε για τον σχεδιασμό και την κατασκευή της Εγνατίας Οδού στη βόρεια Ελλάδα (AGS, 1999; Marinos et al., 2013). Η δημιουργία της ομάδας λογισμικών εργαλείων του TIAS ήταν απαραίτητη ώστε να γίνει δυνατή η διαχείριση, επεξεργασία και ανάλυση του μεγάλου όγκου και της πολυμορφίας των δεδομένων που σχετίζονται με τα στάδια σχεδιασμού και τις τεχνικές κατασκευής των σηράγγων. Το TIAS είναι ένα ολοκληρωμένο πληροφοριακό σύστημα που αποτελείται από βάση δεδομένων και το λογισμικό διαχείρισης με το οποίο ο χρήστης μπορεί να αναλύσει και να επεξεργαστεί τα διάφορα δεδομένα. Η βάση δεδομένων αποτελεί τον κεντρικό πυρήνα ολόκληρου του συστήματος, καθώς σ' αυτήν εισάγονται, αναλύονται και συσχετίζονται όλα τα γεωτεχνικά δεδομένα που αφορούν στις σήραγγες. Η λειτουργία της βασίζεται στη δομή των αρχείων της AGS, γνωστή ως AGS Format (AGS, 1999, 2017). Ωστόσο, η δομή της TIAS δεν περιορίζεται μόνο στα όρια της AGS, αλλά επεκτείνεται περαιτέρω με την εισαγωγή και διαχείριση πληθώρας πινάκων. Αυτοί αναφέρονται τόσο σε αναλυτικά στοιχεία σηράγγων (γεωμετρία, γεωλογία, μέθοδοι εκσκαφής, παράμετροι σχεδιασμού, υποστήριξη κ.λπ.), όσο και σε λοιπά γεωτεχνικά δεδομένα, χρήσιμα σε διάφορα τεχνικά έργα.

Στην περίπτωση της TIAS, η αποθηκευμένη πληροφορία μπορεί να μετασχηματισθεί με την χρήση της γλώσσας προγραμματισμού SQL (Structured Query Language). Λόγω του όγκου των δεδομένων, χρησιμοποιείται ο Microsoft SQL Server 2000, που αποτελεί μέχρι και σήμερα ένα από τα κορυφαία προϊόντα παγκοσμίως στον τομέα των συστημάτων αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων (relational database management system). Επιπλέον, το σύστημα TIAS έχει κατασκευασθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η αναλυτική και πλήρης περιγραφή όλων των πινάκων και των πεδίων τους, ώστε να επιτρέπεται στο χρήστη να έχει σαφή και ακριβή πληροφόρηση σχετικά με την περιγραφή των στοιχείων που συναντά μέσα στη βάση δεδομένων.

Το συγκεκριμένο πληροφοριακό σύστημα δημιουργήθηκε με σκοπό τη διαχείριση γεωτεχνικών δεδομένων που σχετίζονται αποκλειστικά με τα διάφορα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής σηράγγων. Παρόλα αυτά, είναι εφικτή η διατήρηση του βασικού άξονα διαχείρισής του, ούτως ώστε, με κατάλληλες προσαρμογές, η χρήση του να επεκταθεί σε διάφορα γεωτεχνικά έργα. Στη συγκεκριμένα έρευνα, οι προσαρμογές αυτές εστιάζουν αφενός στη διαθεσιμότητα και το είδος των

δεδομένων, κι αφετέρου στις εφαρμογές της βάσης δεδομένων για τις οποίες είναι προσανατολισμένη. Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζεται εκτενώς η δομή της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιείται στη διδακτορική διατριβή, οι πηγές και το είδος των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν, η διαδικασία εισαγωγής των πρωτογενών στοιχείων και τέλος οι δυνατότητες για μελλοντική εξέλιξή της.

2.4. Δομή της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων

Η παρούσα βάση δεδομένων βασίστηκε στη δομή του συστήματος TIAS, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.3, και αναφέρεται στο σχεδιασμό και την κατασκευή γεωτεχνικών σηράγγων. Ωστόσο, η βάση που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη έρευνα είναι γενικευμένη καθώς αναφέρεται τόσο στη διαχείριση κι επεξεργασία γεωλογικών και γεωτεχνικών δεδομένων για τον σχεδιασμό και την κατασκευή γεωτεχνικών έργων, όσο και στην προστασία της περιοχής έρευνας από διάφορους γεωκινδύνους με γνώμονα την ασφαλή πολεοδομική ανάπτυξή της.

Στις επόμενες παραγράφους, περιγράφεται αναλυτικά το γενικό πλαίσιο της δομής της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων, όπως διαμορφώθηκε στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής. Η βάση δεδομένων είναι σε θέση να διαμορφώνεται αντίστοιχα, ακόμη και μετά την ολοκλήρωση της παρούσας έρευνας, ώστε να μπορεί να ανταποκρίνεται σε νέα διαθέσιμα δεδομένα και στην εισαγωγή νέων πεδίων.

Τα στάδια που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων περιγράφονται ως εξής:

- i. Προσαρμογή της βάσης δεδομένων TIAS ως προς τη δομή και τη σύνδεση των πινάκων της
- ii. Συγκέντρωση των απαραίτητων πληροφοριών
- iii. Αξιολόγηση πληροφοριών ως προς την αξιοπιστία τους
- iv. Επιλογή των δεδομένων ως προς τη χρησιμότητά τους
- v. Εισαγωγή των διάφορων στοιχείων στα αντίστοιχα πεδία πινάκων
- vi. Δημιουργία αλγόριθμων και μακροεντολών εντός τη βάσης με σκοπό την αυτοματοποίηση διαδικασιών που σχετίζονται με την επεξεργασία και διαχείριση των δεδομένων
- vii. Ανάλυση και συσχέτιση των δεδομένων

Γενικά, μια βάση δεδομένων είναι μια συλλογή διακριτών συνόλων δεδομένων που αποθηκεύονται σε πίνακες και βασίζονται σε ιεραρχική λειτουργία. Σε κάθε βάση δεδομένων χρησιμοποιείται μια συγκεκριμένη περιγραφή για να εκφράσει την κύρια δομή, καθώς και τη σχέση μεταξύ των πινάκων. Όλες οι εγγραφές έχουν τη δική τους ταυτότητα εντός της βάσης και ανά πάσα στιγμή, τα δεδομένα μπορούν να ανακτηθούν σύμφωνα με το πεδίο στο οποίο είναι καταχωρημένα.

Πιο συγκεκριμένα, η δομή της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων διακλαδίζεται σε πέντε κύριες κατηγορίες και 14 πίνακες τεχνικογεωλογικού περιεχομένου.. Απ' αυτούς, οι 8 περιέχουν τα αποτελέσματα των εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών και οι υπόλοιποι 6 αναφέρονται στα στοιχεία των γεωτρήσεων, καθώς και γενικές πληροφορίες για την καλύτερη οργάνωση και διαχείριση της βάσης δεδομένων. Σε κάθε περίπτωση, οι πίνακες αυτοί επικοινωνούν μεταξύ τους ανά κατηγορία, με τη χρήση σύνθεσης κλειδιών «ID» που λειτουργούν ως αναφορά στη σύνδεση με άλλους πίνακες. Η περιγραφόμενη δομή της βάσης παρουσιάζεται συνοπτικά στον πίνακα 2.1, όπου φαίνεται η σύνδεση μεταξύ των πινάκων εισαγωγής δεδομένων ανά κατηγορία, καθώς και τα περιεχόμενα αυτών.

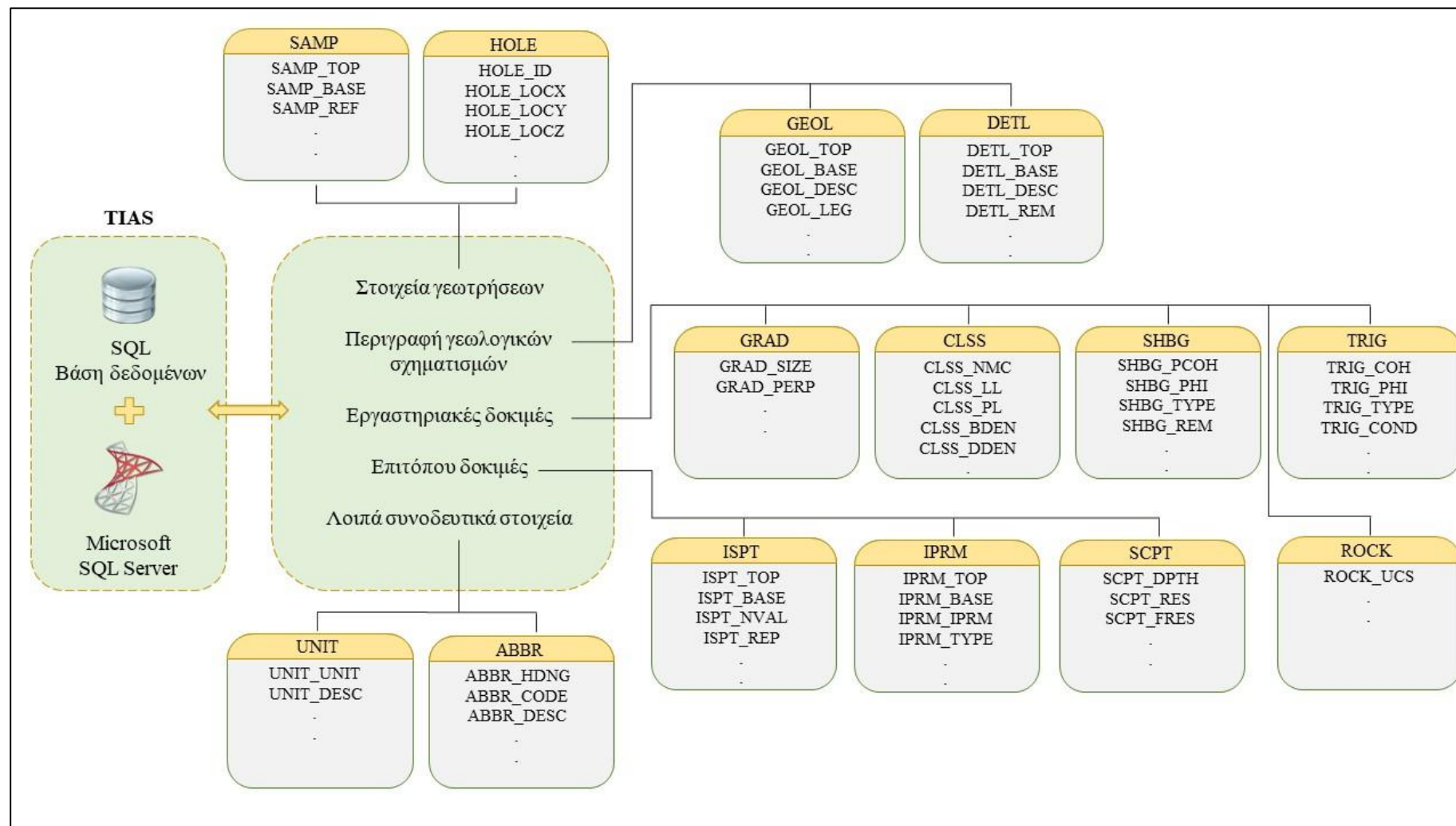
Πίνακας 2.1: Δομή τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων

Κατηγορία	Ονομασία πίνακα	Περιεχόμενα
<u>Στοιχεία γεωτρήσεων</u>	SAMP	Στοιχεία εργαστηριακού δείγματος
	HOLE	Στοιχεία θέσης γεωτρήσεων
<u>Περιγραφή γεωλογικών σχηματισμών</u>	GEOL	Γενική γεωλογική περιγραφή
	DETL	Λεπτομερής περιγραφή στρωμάτωσης
<u>Εργαστηριακές δοκιμές</u>	GRAD	Κοκκομετρική διαβάθμιση
	CLSS	Δοκιμές κατάταξης
	SHBG	Δοκιμές άμεσης διάτμησης
	TRIG	Δοκιμές τριαξονικής φόρτισης
	ROCK	Δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης
<u>Επιτόπου δοκιμές</u>	ISPT	Δοκιμές πρότυπης διείδυσης
	IPRM	Δοκιμές εισπίεσης νερού
	SCPT	Δοκιμές στατικής πενетроμέτρησης
<u>Λοιπά συνοδευτικά στοιχεία</u>	ABBR	Συντομογραφίες
	UNIT	Κωδικές ονομασίες μονάδων μέτρησης

Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι παρότι κάποιοι πίνακες που συμπεριλαμβάνονται στην αρχική δομή της βάσης δεδομένων TIAS, δεν χρησιμοποιούνται αλλά εντάσσονται κανονικά στη συνολική δομή της βάσης χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Αυτοί εμπεριέχονται ως κενοί πίνακες, διασφαλίζοντας τη σαφή και συνεχή σύνδεση με πίνακες που έχουν κοινή προέλευση και επηρεάζουν άμεσα τη βάση, σύμφωνα με τον μορφότυπο των πινάκων της AGS. Ακόμη ένα σημαντικό πλεονέκτημα, είναι ότι κάθε πληροφορία μπορεί να φιλτραριστεί, έτσι ώστε ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες σύμφωνα με κάποιο συγκεκριμένο ερώτημα (query). Οι

αναλύσεις αυτές μπορούν να παρέχουν στον χρήστη τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από το συνδυασμό και τη συσχέτιση ενός τεράστιου όγκου δεδομένων.

Η βάση δεδομένων αποτελείται από ένα σύνολο πινάκων που έχουν τη μορφή υπολογιστικών φύλλων. Αυτοί οι πίνακες έχουν ονομαστεί με τον ίδιο τρόπο που ορίζεται στο μορφότυπο δεδομένων AGS για τα αρχεία γεωτρήσεων. Η συγκεκριμένη δομή επιτρέπει τη διάσπαση των εγγραφών γεωτρήσεων σε επικεφαλίδες πεδίων, που έχουν οριστεί ως ονόματα ομάδων τεσσάρων γραμμάτων (Σχήμα 2.1). Για παράδειγμα, στο αρχείο "GEOD" εισάγονται με μορφή κωδικοποίησης όλοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εντοπίζονται στις περιγραφές που υπάρχουν στα μητρώα των γεωτρήσεων. Ακόμη, οι γενικές πληροφορίες κάθε γεώτρησης συμπεριλαμβανομένων των συντεταγμένων καθορίζονται από το "HOLE". Το "GEOL" χρησιμοποιείται για γενικές γεωλογικές περιγραφές και το "DETL" για λεπτομερή περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που συναντήθηκαν σ' όλο το βάθος της γεώτρησης. Αυτές οι επικεφαλίδες είναι δομημένες έτσι ώστε το όνομα του πίνακα π.χ. "GEOL" να ακολουθείται από μια περαιτέρω περιγραφή του εν λόγω πεδίου της βάσης, με όνομα μήκους έως και τεσσάρων γραμμάτων. Για παράδειγμα, το "GEOL_TOP" περιγράφει το πεδίο της βάσης δεδομένων που είναι το «βάθος μέχρι την οροφή του στρώματος» κι αντίστοιχα το "GEOL_BASE" περιγράφει το πεδίο που αντιστοιχεί στο «βάθος μέχρι τη βάση του στρώματος» (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.1: Σχηματικό διάγραμμα αναπαράστασης της σύνδεσης των διάφορων πινάκων εντός της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2	GEOL_ID	GEOL_TOP	GEOL_BASE	GEOL_LEG	GEOL_GEO1	GEOL_GEO2								GEOL_DESC
3	KEY	m	m											
4	KEY	KEY	KEY											
5	Κωδικός αριθμός αναφοράς της γεώτρησης ή της γραμμικής διαδρομής εντός του συστήματος TIAS.	Βάθος οροφής περιγραφής	Βάθος δαπέδου περιγραφής	Κωδικός περιγραφής	Κωδικοποιημένη περιγραφή υλικού	Αναλυτική περιγραφή υλικού	E+F	Κατηγοριοποίηση υλικού	Λεπτόκοκκα-Αδρόκοκκα	E+I	Περιοχή αναφοράς γεώτρησης	D+K	Βάθος ανά 5m	Γεωλογική Περιγραφή από μητρώα γεώτρησης
1688	am_82	0	3.3	FILL	MAN-MADE GROUND	TE	MAN-MADE GROUND	TE	MAN-MADE GROUND	WEST	FILL_WEST	0-5		(ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ)
1689	am_82	3.3	4.15	QUATERNARY	QUAT	AP	QUAT_AP	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	QUAT_LEP	WEST	QUATERNARY_WEST	0-5	Στιφρή, καστανή, σκούρα ισχνή άργιλος (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ)
1690	am_82	4.15	5	QUATERNARY	QUAT	APAM_XΛ	QUAT_APAM_XΛ	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	QUAT_LEP	WEST	QUATERNARY_WEST	0-5	Μαλακή έως σταθερή καστανή, αμμόωδης ισχνή άργιλος με χάλικες νευσιακής και χαλαζακής προέλευσης (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ)
1691	am_82	5	5.6	QUATERNARY	QUAT	APAM_XΛ	QUAT_APAM_XΛ	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	QUAT_LEP	WEST	QUATERNARY_WEST	5-10	Στιφρή, καστανέρυθη, αμμόωδης ισχνή άργιλος με διάσπαρτους χάλικες (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ)
1692	am_82	5.6	6.2	QUATERNARY	QUAT	AP	QUAT_AP	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	QUAT_LEP	WEST	QUATERNARY_WEST	5-10	Μαλακή, καστανή, ισχνή άργιλος (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ)
1693	am_82	6.2	6.7	QUATERNARY	QUAT	AMAP_XΛ	QUAT_AMAP_XΛ	AMMΩΔΕΣ	XON	QUAT_XON	WEST	QUATERNARY_WEST	5-10	Μετρίως πυκνή, καστανή αργιλώδης άμμος με χάλικες (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ)
1694	am_82	6.7	8	QUATERNARY	QUAT	APAM_XΛ	QUAT_APAM_XΛ	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	QUAT_LEP	WEST	QUATERNARY_WEST	5-10	Σταθερή καστανή, ανοικτή, αμμόωδης ισχνή άργιλος με χάλικες έως χαλαρή αργιλώδης άμμος με χάλικες (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ)
1695	am_82	8	10.5	QUATERNARY	QUAT	APAM_XΛ	QUAT_APAM_XΛ	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	QUAT_LEP	WEST	QUATERNARY_WEST	10-15	Σταθερή έως σφιγρή καστανέρυθη, αμμόωδης ισχνή άργιλος με διάσπαρτους χάλικες (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1696	am_82	10.5	11.4	QUATERNARY	QUAT	AM	QUAT_AM	AMMΩΔΕΣ	XON	QUAT_XON	WEST	QUATERNARY_WEST	10-15	Χαλαρή καστανέρυθη, άμμος καλής διαβάθμισης με μικρό ποσοστό ιλυώδους άργιλου (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1697	am_82	11.4	18	QUATERNARY	QUAT	AP_AM	QUAT_AP_AM	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	QUAT_LEP	WEST	QUATERNARY_WEST	15-20	Στιφρή (14,40-16,00m), έως πολύ σφιγρή, ερυθρή ισχνή άργιλος με άμμο έως αμμόωδης ισχνή άργιλος με διάσπαρτους χάλικες και αβεσσιτικά συγκρίματα (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1698	am_82	18	20.1	NEOGENE	REDCL	XΛ/ΛP	REDCL_XΛ/ΛP	XΛ/ΛΚΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	20-25	Πολύ πυκνοί, ερυθροί αργιλώδεις χάλικες (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1699	am_82	20.1	21	NEOGENE	REDCL	AMAP	REDCL_AMAP	AMMΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	20-25	Ερυθρή, αργιλώδης άμμος έως πολύ σφιγρή αμμόωδης ισχνή άργιλος με αβεσσιτικά συγκρίματα και οξείδια Mn (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1700	am_82	21	21.1	NEOGENE	REDCL	XΛ/ΛP	REDCL_XΛ/ΛP	XΛ/ΛΚΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	20-25	Μετρίως πυκνοί, ερυθροί αργιλώδεις χάλικες (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1701	am_82	21.1	21.7	NEOGENE	REDCL	APAM	REDCL_APAM	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	REDCL_LEP	WEST	NEOGENE_WEST	20-25	Πολύ σφιγρή, ερυθρή αμμόωδης ισχνή άργιλος με αβεσσιτικά συγκρίματα και οξείδια Mn (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1702	am_82	21.7	22.5	NEOGENE	REDCL	AMAP	REDCL_AMAP	AMMΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	20-25	Χαλαρή έως μέτρια πυκνή ερυθρή, αργιλώδης άμμος (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1703	am_82	22.5	23.15	NEOGENE	REDCL	APAM	REDCL_APAM	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	REDCL_LEP	WEST	NEOGENE_WEST	20-25	Στιφρή έως πολύ σφιγρή, ερυθρή αμμόωδης ισχνή άργιλος (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1704	am_82	23.15	24.3	NEOGENE	REDCL	AMIA_XΛ	REDCL_AMIA_XΛ	AMMΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	20-25	Μετρίως πυκνή, ερυθρή, ιλυώδης άμμος με ελάχιστους χάλικες (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1705	am_82	24.3	25.3	NEOGENE	REDCL	Λ/AM	REDCL_Λ/AM	Λ/ΩΔΕΣ	LEP	REDCL_LEP	WEST	NEOGENE_WEST	25-30	Σταθερή έως σφιγρή καστανέρυθη, αμμόωδης ιλύς έως σταθερή-σφιγρή, καστανέρυθη ισχνή άργιλος (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1706	am_82	25.3	25.8	NEOGENE	REDCL	APAM	REDCL_APAM	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	REDCL_LEP	WEST	NEOGENE_WEST	25-30	Πολύ σφιγρή, καστανέρυθη αμμόωδης ισχνή άργιλος με οξείδια Mn (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1707	am_82	25.8	26.9	NEOGENE	REDCL	AMAP	REDCL_AMAP	AMMΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	25-30	Πολύ πυκνή καστανέρυθη, αργιλώδης άμμος έως πολύ σφιγρή, καστανέρυθη αμμόωδης ισχνή άργιλος (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1708	am_82	26.9	27.5	NEOGENE	REDCL	AP_AM	REDCL_AP_AM	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	REDCL_LEP	WEST	NEOGENE_WEST	25-30	Πολύ σφιγρή, καστανέρυθη ισχνή άργιλος με άμμο (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1709	am_82	27.5	28.9	NEOGENE	REDCL	AM	REDCL_AM	AMMΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	25-30	Μετρίως πυκνή, καστανέρυθη, άμμος κακής διαβάθμισης (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1710	am_82	28.9	29.9	NEOGENE	REDCL	APAM	REDCL_APAM	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	REDCL_LEP	WEST	NEOGENE_WEST	25-30	Πολύ σφιγρή, καστανέρυθη αμμόωδης ισχνή άργιλος (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1711	am_82	29.9	30	NEOGENE	REDCL	AMAP	REDCL_AMAP	AMMΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	25-30	Μετρίως πυκνή, καστανέρυθη, αργιλώδης άμμος (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1712	am_82	30	31.3	NEOGENE	REDCL	AM	REDCL_AM	AMMΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	30-35	Μετρίως πυκνή, καστανέρυθη, άμμος κακής διαβάθμισης με ιλυώδη άργιλο (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1713	am_82	31.3	33.6	NEOGENE	REDCL	AMAP	REDCL_AMAP	AMMΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	30-35	Πολύ πυκνή καστανή, ανοικτή ιλυοαργιλώδης άμμος έως πολύ σφιγρή, αμμόωδης ιλύς (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1714	am_82	33.6	34.9	NEOGENE	REDCL	AMIA	REDCL_AMIA	AMMΩΔΕΣ	XON	REDCL_XON	WEST	NEOGENE_WEST	30-35	Πυκνή έως πολύ πυκνή καστανή, ανοικτή ιλυώδης άμμος (ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ)
1715	am_83	0	1.5	FILL	MAN-MADE GROUND	TE	MAN-MADE GROUND	TE	MAN-MADE GROUND	WEST	FILL_WEST	0-5		(ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ)
1716	am_83	1.5	3.1	QUATERNARY	QUAT	APAM	QUAT_APAM	APΓΙΑΩΔΕΣ	LEP	QUAT_LEP	WEST	QUATERNARY_WEST	0-5	Στιφρή έως πολύ σφιγρή καστανή αμμόωδης παχιά άργιλος (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ)

Σχήμα 2.2: Πίνακας “GEOL”, όπου διακρίνεται η σύνδεση με το πεδίο “HOLE_ID”, η γενική γεωλογική περιγραφή από τα μητρώα γεωτρήσεων και οι κωδικοποιημένες καταχωρήσεις που διακριτοποιούν τη γεωλογική πληροφορία

Οι εργαστηριακές κι επιτόπου δοκιμές αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστή κατηγορία, επειδή αφορούν ποσοτικές και όχι ποιοτικές πληροφορίες των γεωυλικών. Αυτός είναι ο λόγος που εξετάζονται περαιτέρω στο κεφάλαιο 2.6. Παρόλα αυτά, γίνεται αναφορά σ' αυτές, καθώς στις εργαστηριακές δοκιμές, τα δείγματα από τις γεωτρήσεις λαμβάνουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό δείγματος στον πίνακα "SAMP", έτσι ώστε να μπορούν να συγκριθούν διαφορετικές δοκιμές που πραγματοποιούνται στα ίδια εδάφη. Το αναγνωριστικό αυτό καταγράφεται στην στήλη όπου υπάρχει το πεδίο "SAMP_REF".

Τέλος στους πίνακες "UNIT" (Σχήμα 2.3) και "ABBR" (Σχήμα 2.4) εισάγονται οι συντομογραφίες, που χρησιμοποιούνται στα διάφορα πεδία των υπόλοιπων πινάκων. Εκεί, γίνεται η περιγραφή όλων αυτών τόσο στην ελληνική, όσο και στην αγγλική γλώσσα. Μ' αυτόν τον τρόπο, κάθε δείγμα συνδέεται με τα αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σ' αυτό. Συνεπώς, διαπιστώνεται εύκολα ότι επικρατεί μια διαρκής λογική σύνδεσης των πληροφοριών της βάσης δεδομένων. Αυτή η δομή επιτρέπει σ' όλα τα δεδομένα εντός κάθε κατηγορίας να είναι σαφώς καθορισμένα και συμβατά με τις απαιτήσεις μορφοποίησης δεδομένων (Gilder et al., 2020).

	A	B
1	UNIT	Unit Codes
2	UNIT UNIT	UNIT DESC
3		
4	KEY	
5	Unit Used	Description
6	%	percentage
7	cm	centimetre
8	cm/s	centimetres per second
9	cm ²	square centimetre
10	dd/mm/yyyy	day month year
11	deg	degree (angle)
12	kN	kiloNewton
13	kN/m ³	kiloNewtons per cubic metre
14	kPa	kiloPascal
15	m	metre
16	m/s	metres per second
17	m ³	cubic metre
18	Mg/m ³	megagrams per cubic metre
19	MPa	megaPascal
20	No	No
21	NU	Number with no units
22	s	second

Σχήμα 2.3: Πίνακας "UNIT", όπου διακρίνεται η ανάγκη για ομαδοποιημένη καταχώρηση των μονάδων μέτρησης με τη μορφή συντμήσεων

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

ABBR_AK.xls [Κατάσταση λειτουργίας συμβατότητας] - Excel (Η ενεργοποίηση του προϊόντος απέτυχε)

Αρχείο Κεντρική Εισαγωγή Διάταξη σελίδας Τύποι Δεδομένα Αναθεώρηση Προβολή Πληροφορίες Αλίκι Κοκκα... Κοινή χρήση

Επικόλληση Εισαγωγή Διαγραφή Μορφοποίηση

Πρόχειρο Γραμματοσειρά Στοιχείωση Αριθμός Στυλ Κελιά Επεξεργασία

A1 ABBR

1	ABBR			
2	ABBR HDNG	ABBR CODE ENG	ABBR DESC ENG	ABBR DESC GR
3	KEY			
4	Field Heading in Group	Abbreviation used	Description of Abbreviation	Περιγραφή Σύντμησης
62	GEOL_GEO1	FILL	MAN-MADE GROUND	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ
63	GEOL_GEO1	QUAT	QUATERNARY DEPOSITS	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ
64	GEOL_GEO1	REDCL	RED CLAY SERIES	ΣΕΙΡΑ ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ
65	GEOL_GEO1	SANDSER	SANDSTONE-MARL SERIES	ΨΑΜΜΙΤΟΜΑΡΓΑΪΚΗ ΣΕΙΡΑ
66	GEOL_GEO1	CHOR	CHORTIATIS UNIT	ΕΝΟΤΗΤΑ ΧΟΡΤΙΑΤΗ
67	GEOL_GEO2	CL	CLAY	ΑΡΓΙΛΟΣ
68	GEOL_GEO2	CLWS	CLAY with sand	ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο
69	GEOL_GEO2	CLWG	CLAY with gravel	ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες
70	GEOL_GEO2	CLS	Sandy CLAY	Αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ
71	GEOL_GEO2	CLSWG	Sandy CLAY with gravel	Αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες
72	GEOL_GEO2	CLG	Gravely CLAY	Χαλικώδης ΑΡΓΙΛΟΣ
73	GEOL_GEO2	CLGWS	Gravely CLAY with sand	Χαλικώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο
74	GEOL_GEO2	CLSL	Silty CLAY	Ιλυώδης ΑΡΓΙΛΟΣ
75	GEOL_GEO2	CLSLWS	Silty CLAY with sand	Ιλυώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο
76	GEOL_GEO2	CLSLWG	Silty CLAY with gravel	Ιλυώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες
77	GEOL_GEO2	CLMAR	Marly CLAY	Μαργαϊκή άργιλος
78	GEOL_GEO2	CST	CLAYSTONE	ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ
79	GEOL_GEO2	MAR	MARL	ΜΑΡΓΑ
80	GEOL_GEO2	SL	SILT	ΙΛΥΣ
81	GEOL_GEO2	SLWS	SILT with sand	ΙΛΥΣ με άμμο
82	GEOL_GEO2	SLWCL	SILT with clay	ΙΛΥΣ με άργιλο
83	GEOL_GEO2	SLWG	SILT with gravel	ΙΛΥΣ με χάλικες
84	GEOL_GEO2	SLS	Sandy SILT	Αμμώδης ΙΛΥΣ
85	GEOL_GEO2	SLSWG	Sandy SILT with gravel	Αμμώδης ΙΛΥΣ με χάλικες
86	GEOL_GEO2	SLMAR	Marly SILT	Μαργαϊκή ΙΛΥΣ
87	GEOL_GEO2	MUDST	MUDSTONE	ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ
88	GEOL_GEO2	SAND	SAND	ΑΜΜΟΣ
89	GEOL_GEO2	SANDWCL	SAND with clay	ΑΜΜΟΣ με άργιλο
90	GEOL_GEO2	SANDWG	SAND with gravel	ΑΜΜΟΣ με χάλικες
91	GEOL_GEO2	SC	Clayey SAND	Αργιλώδης ΑΜΜΟΣ
92	GEOL_GEO2	SCWG	Clayey SAND with gravel	Αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες
93	GEOL_GEO2	SSL	Silty SAND	Ιλυώδης ΑΜΜΟΣ
94	GEOL_GEO2	SSLWG	Silty SAND with gravel	Ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες
95	GEOL_GEO2	SDST	SANDSTONE	ΨΑΜΜΙΤΗΣ
96	GEOL_GEO2	GRVL	GRAVEL	ΧΑΛΙΚΕΣ

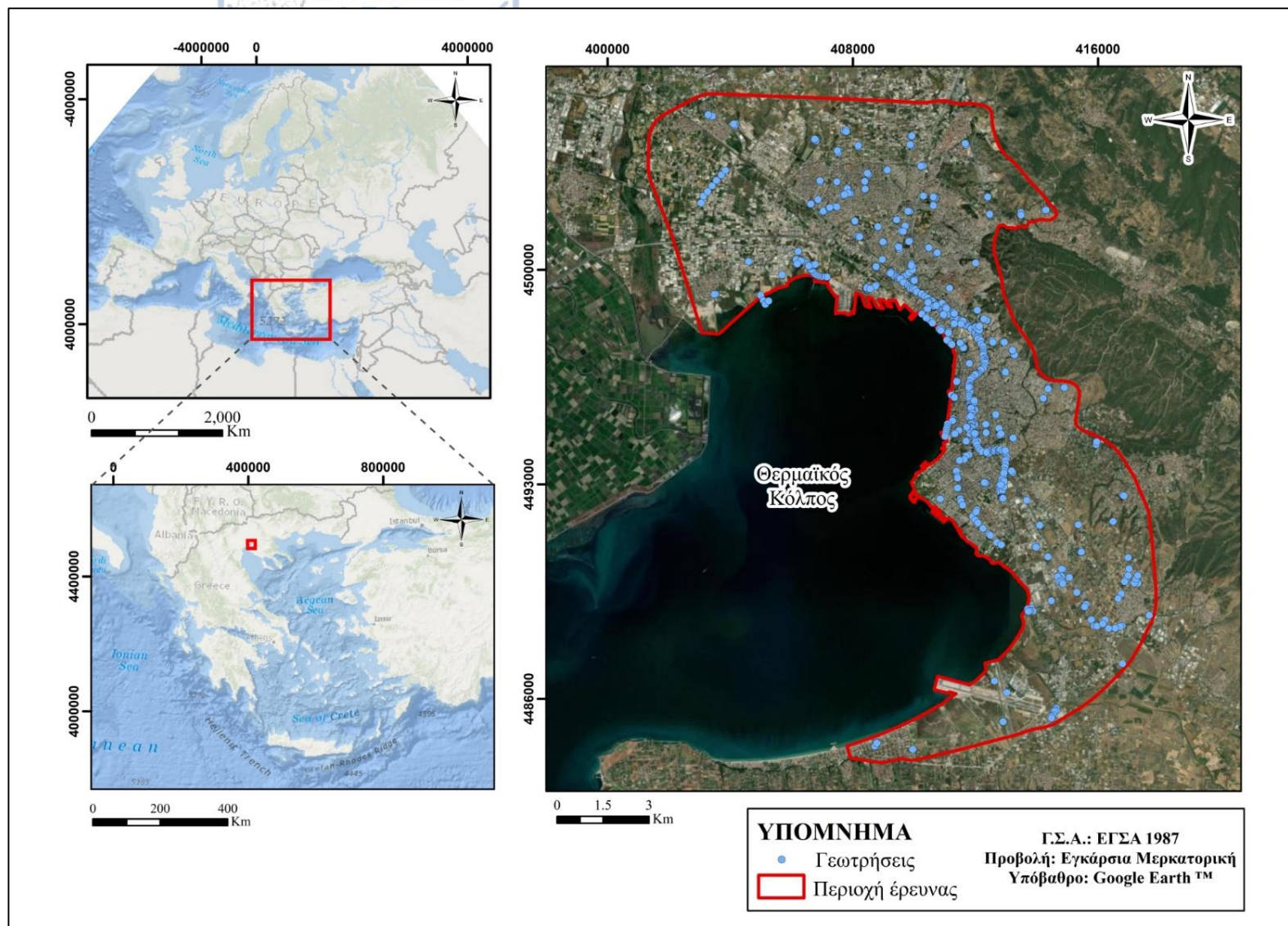
Σχήμα 2.4: Πίνακας "ABBR", όπου διακρίνεται η ανάγκη για ομαδοποιημένη καταχώρηση της πληροφορίας με συντμήσεις

2.5. Συγκέντρωση γεωλογικών και γεωτεχνικών δεδομένων

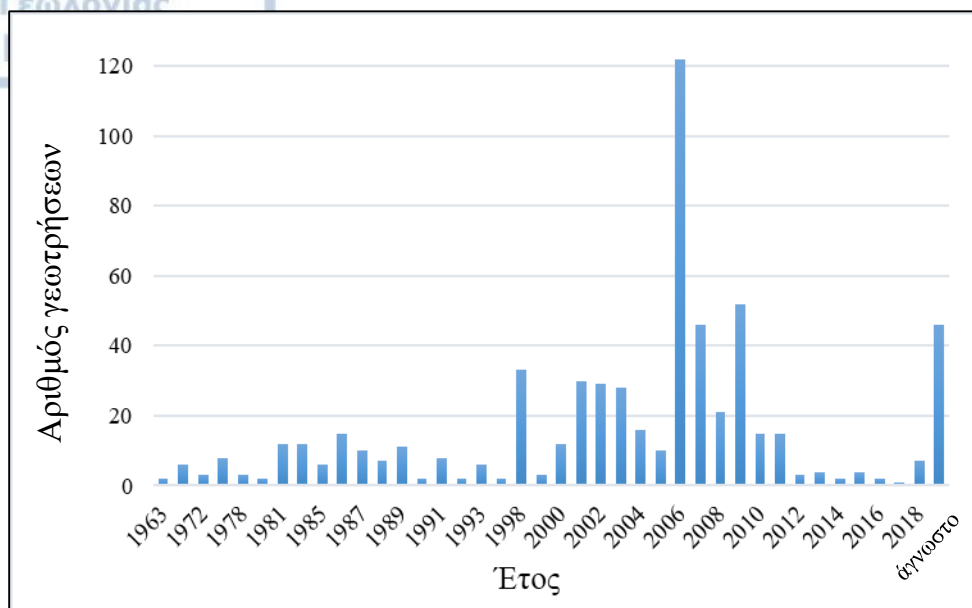
Η υλοποίηση της παρούσας έρευνας προϋποθέτει αρχικά τη συγκέντρωση κι έπειτα την εισαγωγή, επεξεργασία και συσχέτιση όλων των σχετικών πληροφοριών στη βάση δεδομένων. Ο πλέον βασικός παράγοντας που επηρεάζει τη συγκέντρωση των δεδομένων είναι η διαθεσιμότητά τους, λόγω δικαιωμάτων ιδιοκτησίας ή/και δεοντολογικών προβληματισμών. Στην περίπτωση αυτή, η πρόσβαση στα δεδομένα είναι δύσκολη έως και αδύνατη, καθώς αυτά είτε δεν προορίζονται για ερευνητικούς σκοπούς είτε θεωρούνται εμπιστευτικές πληροφορίες και συνεπώς διατηρούνται στους εκάστοτε φορείς χωρίς να υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω εκμετάλλευσης αυτών. Στην παρούσα έρευνα, τα διαθέσιμα δεδομένα προέρχονται κατά κύριο λόγο από εκθέσεις και μελέτες τεχνικών έργων ή ακόμη και μεμονωμένα μητρώα γεωτρήσεων τα οποία διατέθηκαν από δημόσιους φορείς και ιδιωτικές εταιρίες.

Συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα 618 γεωτρήσεων από την Αττικό Μετρό Α.Ε., τη Γεώγνωση Α.Ε., την Εγνατία Οδό Α.Ε., το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ) και τον γεωλόγο Στιμάρατζη Θεόδωρο. Η κατανομή τους φαίνεται στο Σχήμα 2.5 όπου οριοθετείται η περιοχή έρευνας της λεκάνης Θεσσαλονίκης και παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4. Η πλειονότητα των γεωτρήσεων εντοπίζεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας, ενώ μικρότερη διαθεσιμότητα παρατηρείται στο δυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα. Γενικά, το ιστορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης αποτελείται ως επί το πλείστον από παλαιά κτίρια των δεκαετιών 1950-1970, με ελάχιστες εξαιρέσεις σε εναπομείναντα οικοπέδα όπου ανεγέρθηκαν κατασκευαστικά έργα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 2000. Από το 2000 έως το 2008, οπότε και παρουσιάζεται σταδιακή ύφεση στον κατασκευαστικό κλάδο, παρατηρείται έντονη επέκταση του οικιστικού χώρου σε περιοχές όπως ο Εύοσμος και το Ελευθέριο Κορδελιό στα δυτικά και η Πυλαία με τον Αγ. Ιωάννη Καλαμαριάς στα ανατολικά.

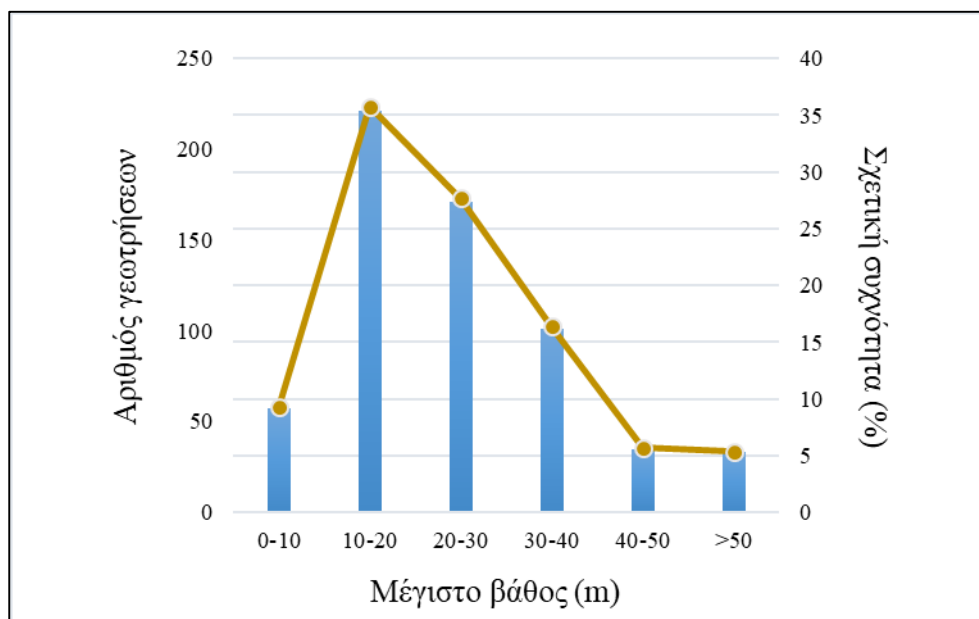
Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται ο αριθμός των διαθέσιμων γεωτρήσεων ανά έτος. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι από το 2006 έως το 2010 παρατηρείται αφθονία ως προς τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, λόγω των γεωτεχνικών εργασιών που διενεργήθηκαν στο πλαίσιο κατασκευής του μετρό της Θεσσαλονίκης. Σύμφωνα με το Σχήμα 2.7, το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων είναι περίπου 60 m, αλλά η πλειονότητα έχει βάθος μικρότερο από 40 m.



Σχήμα 2.5: Κατανομή διαθέσιμων γεωτρήσεων εντός περιοχής έρευνας



Σχήμα 2.6: Αριθμός διαθέσιμων γεωτρήσεων ανά έτος



Σχήμα 2.7: Μέγιστο βάθος γεωτρήσεων

Όλες οι γεωτρήσεις, δειγματοληψίες κι επιτόπου δοκιμές διεξήχθησαν κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε101-83, Ε106-86), από εξειδικευμένα συνεργεία και κατάλληλο γεωτρητικό εξοπλισμό. Αντίστοιχα, όλες οι εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής που αναγράφονται στις μελέτες εκτελέστηκαν σύμφωνα με τις «Προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής» (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε105-86, ΦΕΚ 955/31-12-1986, Τεύχος Β), καθώς και τις αντίστοιχες ASTM και AASHTO. Ως εκ τούτου, οι καταγραφές των μητρώων

γεωτρήσεων και τα διάφορα στοιχεία των διαθέσιμων εκθέσεων αναφέρονται σε ενιαία πρότυπα, ακόμη και κι αν προέρχονται από διαφορετικούς φορείς. Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία των διαθέσιμων δεδομένων, καθώς έτσι διασφαλίζεται η ομοιομορφία και η ακεραιότητά τους. Ακόμη ένα πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι τα δεδομένα καλύπτουν μια σημαντική έκταση ως προς την περιοχή έρευνας, κι έτσι είναι εφικτή η σύγκριση μεταξύ αυτών, με σκοπό την πληρέστερη κατανόηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών της περιοχής έρευνας.

Τα αρχεία γεωτρήσεων που ήταν διαθέσιμα είτε σε έντυπη μορφή, είτε ως σαρώσεις σε μορφή pdf, μετατράπηκαν σε ψηφιακά δεδομένα. Κάθε εγγραφή εισήχθη χειροκίνητα στη βάση δεδομένων και κάθε θέση γεώτρησης γεωαναφέρθηκε σε ενιαίο σύστημα συντεταγμένων. Σε ορισμένες μελέτες, ήταν διαθέσιμες οι συντεταγμένες των γεωτρήσεων από τις οποίες μπορούσε να εξαχθεί η ακριβής θέση τους. Ωστόσο, στην πλειονότητα αυτών δεν ήταν άμεσα διαθέσιμες οι συντεταγμένες. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η γεωαναφορά κάθε γεώτρησης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του Google Earth™ και μέσω έμμεσων πληροφοριών από τις μελέτες, όπως αναγραφόμενες διευθύνσεις, διαθέσιμοι τοπογραφικοί χάρτες και σκαριφήματα που συνόδευαν τα μητρώα των γεωτρήσεων ή/και κάποια πληροφορία όπως π.χ. το όνομα μιας κοντινής επιχείρησης ή ο αριθμός του οικοπέδου/αγροτεμαχίου. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία αναφοράς για να ληφθεί η πιθανότερη θέση κάθε γεώτρησης. Παρόλα αυτά, η κλίμακα των τοπογραφικών χαρτών και διαγραμμάτων είναι της τάξης του 1:1000 και μεγαλύτερη. Συνεπώς, η ακρίβεια, αναφορικά με τον προσδιορισμό των θέσεων των γεωτρήσεων, θεωρείται αρκετά καλή, δεδομένου ότι οποιαδήποτε απόκλιση περιορίζεται σε απόσταση το πολύ 10 m από την πραγματική θέση.

2.6. Φυσικές και μηχανικές παράμετροι

Γενικά, ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών είναι απαραίτητος, είτε στην περίπτωση κατασκευής τεχνικών έργων, είτε κατά την πρόληψη των γεωκινδύνων, ή ακόμη και στην περίπτωση που τα εδάφη χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά (π.χ. επιχώματα οδοποιίας, οπλισμένο έδαφος κ.α.). Συνεπώς, η περιγραφή της σύνθετης φύσης, της κατάστασης και της συμπεριφοράς των εδαφικών σχηματισμών θεωρούνται υψίστης σημασίας. Η διαδικασία αυτή απαιτεί τον ορισμό και τη χρήση ενός μεγάλου αριθμού φυσικών και μηχανικών παραμέτρων.

Οι φυσικές παράμετροι των εδαφικών σχηματισμών αναφέρονται σε μεγέθη που είναι απαραίτητα για την αναγνώριση και την κατάταξή τους. Ο προσδιορισμός τους γίνεται μέσω εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών. Εργαστηριακά, υπολογίζονται ορισμένα φυσικά μεγέθη, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι προκύπτουν από μαθηματικές σχέσεις που συνδέουν τα διάφορα φυσικά μεγέθη μεταξύ τους. Οι μηχανικές παράμετροι των εδαφών δεν συνδέονται άμεσα με τις φυσικές.

Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες εμπειρικές σχέσεις και νομογραφήματα (κεφάλαιο 4.3.3) που επιτρέπουν τον προσδιορισμό των μηχανικών παραμέτρων από τις φυσικές ιδιότητες.

Η δομή της βάσης δεδομένων περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.4, όπου γίνεται σύντομη αναφορά στις εργαστηριακές κι επιτόπου δοκιμές. Αυτές αποτελούν τις πλέον σημαντικές κατηγορίες του κεντρικού πυρήνα της βάσης δεδομένων, καθώς εκεί εισάγονται και στη συνέχεια αναλύονται και συσχετίζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που αναφέρονται στον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων. Με σκοπό την παρουσίαση αυτών, δημιουργείται ο Πίνακας 2.2, στον οποίο δίνεται συνοπτικά ο αριθμός των διαθέσιμων δεδομένων εισόδου για κάθε μια περίπτωση παραμέτρου, σε αντιστοιχία με τους πίνακες όπου αυτές εισάγονται (Σχήμα 2.1).

Πίνακας 2.2: Αριθμός δεδομένων εισόδου ανά κατηγορία δοκιμών

Κατηγορία δοκιμών	Παράμετροι	Αριθμός δεδομένων εισόδου
Εργαστηριακές δοκιμές	<u>Παράμετροι Φυσικών ιδιοτήτων</u>	
	Όριο υδαρότητας - LL	5595
	Όριο πλαστικότητας - PL	5094
	Δείκτης πλαστικότητας - PI	5748
	Δείκτης συνεκτικότητας - I_c	2496
	Περιεχόμενη φυσική υγρασία - w	5223
	Βαθμός κορεσμού - S	1718
	Δείκτης πόρων - e	2268
	Πορώδες - n	2272
	Υγρό φαινόμενο βάρος - γ_b	3259
	Ξηρό φαινόμενο βάρος - γ_d	2634
	Κοκκομετρική διαβάθμιση	5300
	<u>Παράμετροι Μηχανικών ιδιοτήτων</u>	
	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη - q_u	2315
	Δοκιμή άμεσης διάτμησης:	
	• Συνοχή - c	749
	• Γωνία εσωτερικής τριβής - ϕ	682
	Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης:	
	• Συνοχή - c	350
	• Γωνία εσωτερικής τριβής - ϕ	359

Επιτόπου δοκιμές	Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης - N_{SPT}	5043
	Συντελεστής υδροπερατότητας - k	999
	Δοκιμή στατικής πενετρομέτρησης: - Αντίσταση αιχμής - q_c - Τοπική πλευρική τριβή - f_s	2760 2760

Οι δυο κατηγορίες δοκιμών (εργαστηριακές κι επιτόπου) αντιμετωπίζονται κατά την εισαγωγή τους στη βάση δεδομένων ως δύο χωριστές ενότητες. Ωστόσο αυτό δεν έχει κάποια επίπτωση στη σύνδεση των επιμέρους πληροφοριών κατά την ανάκτησή τους από τη βάση. Για τις εργαστηριακές δοκιμές συμπληρώνεται το αρχείο με κωδική ονομασία "SAMP" (Σχήμα 2.8). Σύμφωνα μ' αυτό, κάθε δείγμα συνδέεται μέσω κωδικού (SAMP_REF) με τη γεώτρηση από την οποία ελήφθη (HOLE_ID) και δίνονται ταυτόχρονα τα γενικά του χαρακτηριστικά που αφορούν τόσο στη γενική γεωλογική περιγραφή (πίνακας GEOL), όσο και στη λεπτομερή περιγραφή της λιθολογίας του γεωυλικού (πίνακας DETL), με τη μορφή ομαδοποιημένων κωδικών ονομασιών. Στη συνέχεια, κάθε δείγμα συνδέεται μ' όλα τα αποτελέσματα σε δοκίμια του δείγματος που πραγματοποιήθηκαν σ' αυτό (SPEC_REF) και εισάγονται σε διακριτά μεταξύ τους αρχεία. Μ' άλλα λόγια, το πεδίο "SPEC_REF" αντιστοιχεί στην αρίθμηση των δοκιμών των δειγμάτων της κάθε γεώτρησης και υπάρχει σ' όλους τους πίνακες των εργαστηριακών δοκιμών έτσι ώστε να προκύπτει η σύνδεση που περιγράφεται (Σχήμα 2.9). Αντίστοιχα, για τις επιτόπου δοκιμές, αυτές συνδέονται με τη γεώτρηση στην οποία εκτελέστηκαν (HOLE_ID), ενώ με αναφορά στο βάθος οροφής (TOP) και βάσης (BASE) της δοκιμής, επιτυγχάνεται η απαραίτητη σύνδεση με τη λιθολογία.

	A	B	C	D	F
1	SAMP	Στοιχεία εργαστηριακού δείγματος.			
2	HOLE_ID	SAMP_TOP	SAMP_REF	SAMP_TYPE	SAMP_BASE
3		m			m
4	KEY	KEY	KEY	KEY	
5	Κωδικός αριθμός αναφοράς της γεώτρησης ή της γραμμικής διαδρομής εντός του συστήματος ΤΙΑΣ.	Βάθος οροφής δείγματος	Κωδικός αναφοράς δείγματος	Είδος δείγματος	Βάθος δαπέδου δείγματος
19	kd_6	4.2	6	C	4.8
20	kd_6	4.8	7	C	5.25
21	kd_6	5.25	8	C	5.8
22	kd_6	5.8	9	C	6.25
23	kd_6	6.8	10	C	7.3
24	kd_6	7.3	11	C	7.75
25	kd_6	7.75	12	C	8.35
26	kd_6	8.8	13	C	9.4
27	kd_6	9.4	14	C	9.85
28	kd_6	9.9	15	C	10.5
29	kd_6	10.95	16	C	11.5
30	kd_6	11.5	17	C	11.95
31	kd_6	12.6	18	C	13.2
32	kd_6	13.2	19	C	13.65
33	kd_6	13.8	20	C	14.4
34	kd_6	14.4	21	C	14.85
35	kd_7	3.6	1	C	4.2
36	kd_7	4.2	2	C	4.65
37	kd_7	5.3	3	C	5.9
38	kd_7	6.35	4	C	6.55
39	kd_7	6.55	5	C	7
40	kd_7	7	6	C	8.1
41	kd_7	8.6	7	C	8.9
42	kd_7	9.6	8	C	10.05
43	kd_7	10.7	9	C	11.15
44	kd_7	11.3	10	C	11.9
45	kd_7	12.35	11	C	12.6
46	kd_7	13.7	12	C	14.2
47	kd_7	14.2	13	C	14.65
48	kd_8	4.4	1	C	5.4
49	kd_8	5.4	2	C	6
50	kd_8	6	3	C	6.45
51	kd_8	6.95	4	C	7.8
52	kd_8	7.8	5	C	8.2
53	kd_8	8.2	6	C	8.65

Σχήμα 2.8: Πίνακας “SAMP”, όπου διακρίνονται ανά βάθη οι σχετικές πληροφορίες των δειγμάτων γεωτρήσεων

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	CLSS	Δοκιμές Κατάταξης												
2	HOLE_ID	SAMP_TOP	SAMP_REF	SPEC_REF	SPEC_DPTH	CLSS_NMC	CLSS_LL	CLSS_PL	CLSS_BDEN	CLSS_DDEN	CLSS_PI	CLSS_Ic	CLSS_Sr	CLSS_e
3		m			m	%	%	%	kN/m3	kN/m3	%	NU	%	NU
4	KEY	KEY	KEY	KEY	KEY									
	Exploratory hole or traverse name/number	Depth to TOP of test sample	Sample reference number	Specimen reference number	Specimen Depth	Natural moisture content	Liquid limit	Plastic limit	Bulk density	Dry density	Plasticity index	Consistency index	Degree of Saturation	Void ratio
5														
6	am_31	5.7	1	S1	5.9	12.5	42.7	21.2			21.5	1.4		
7	am_31	7.15	2	S2	8.15	17	41.3	22.6	18	21	18.7	1.3	93	0.49
8	am_31	8.7	3	S3	8.8	20								
9	am_31	9.75	4	S4	11	19.7	37.8	19.6	17.6	21.1	18.2	1.0	100	0.53
10	am_31	12.15	5	S5	12.65	13.7	29.9	16.2	18.6	21.1	13.7	1.2	84	0.44
11	am_31	14.45	6	S6	15.15	13.4	35	19.3	18.7	21.2	15.7	1.4	84	0.43
12	am_31	17.5	7	S7	17.9	14.7	35.7	18.4	18.1	20.7	17.3	1.2	83	0.48
13	am_31	18.3	8	S8	18.9	14.7	34.4	19	18.8	21.6	15.4	1.3	94	0.41
14	am_31	19.2	9	S9	20.2	17	39.5	20.5	17.1	20	19	1.2	79	0.59
15	am_31	20.95	10	S10	21.75	15.9	44.1	24.9	17.3	20	19.2	1.5	78	0.54
16	am_31	22.25	11	S11	22.85	3.1	34.6	22.8			11.8	2.7		
17	am_31	26	12	S12	27	9.6	31.5	15.2	21.1	23.1	16.3	1.3		
18	am_31	27.6	13	S13	27.9	14.2	34	16.8	18.7	21.4	17.2	1.2	87	0.44
19	am_31	28.1	14	S14	28.75	13.5	36.2	18.3	18.9	21.4	17.9	1.3	87	0.41
20	am_31	29.5	15	S15	30	6	34.5	20.1			14.4	2.0		
21	am_31	32	16	S16	33	13.2	26.2	14.8	19.9	22.6	11.4	1.1	99	0.36
22	am_31	33.5	17	S17	33.65	19.3								
23	am_31	35.45	18	S18	36.25	14.8	35.2	17.6	18.7	21.5	17.6	1.2	92	0.43
24	am_31	37.8	19	S19	38.8	13.1	34.9	20.3	18.7	21.2	14.6	1.5	82	0.42
25	am_32	5.5	1	S1	5.8	14.9	34.4	19.3	18.6	21.4	15.1	1.3	91	0.44
26	am_32	7.1	2	S2	7.3	15.5								
27	am_32	8.35	3	S3	9.35	17.3	38.4	21	17.6	20.6	17.4	1.2	89	0.52
28	am_32	12.85	4	S4	13.1	14.5	32.6	17.6	18.3	21	15	1.2	84	0.46
29	am_32	13.1	5	S5	14.4	15.1	37.6	20.8	18.4	21.2	16.8	1.3	89	0.45
30	am_32	15.2	6	S6	15.9	16.4	39.8	21.5	18.9	22	18.3	1.3	100	0.45
31	am_32	16.7	7	S7	17	14.1	34.8	19.4	19	21.7	15.4	1.3	93	0.4
32	am_32	18	8	S8	18.2	16.1	33.2	17.5			15.7	1.1		
33	am_32	21	9	S9	21.5	12.3	35.5	15.9	20	22.5	19.6	1.2	100	0.33
34	am_32	21.5	10	S10	21.6	17.8								
35	am_32	21.8	11	S11	22.8	15.7	34.7	15.9	17.5	20.3	18.8	1.0	80	0.52
36	am_32	23.5	12	S12	24	9	34	16.9	19.7	21.5	17.1	1.5	70	0.34
37	am_32	25.2	13	S13	25.5	14.6	36.9	19.9	19	21.8	17	1.3	99	0.39
38	am_32	26.7	14	S14	27	11.1	34.5	18.5			16	1.5		
39	am_32	27.6	15	S15	28.5	19.7	40.6	26	16.7	20	14.6	1.4	86	0.62
40	am_32	29	16	S16	30	21.2	40.8	25.9	16.2	19.6	14.9	1.3	87	0.65
41	am_32	30.65	17	S17	30.75	15.7								

Σχήμα 2.9: Πίνακας “CLSS”, όπου διακρίνεται η σύνδεση με τα δείγματα και δοκίμια των γεωτρήσεων μέσω των πεδίων “SAMP_REF” και “SPEC_REF”

Ακολουθώντας, δίνεται η αναλυτική περιγραφή αυτών, με κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα εξαγωγής δεδομένων, που αναφέρονται στις εξεταζόμενες παραμέτρους:

i. Εργαστηριακές δοκιμές

Δοκιμές κατάταξης για τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών

Όρια Atterberg

Στον πίνακα με κωδικό όνομα "CLSS" (Σχήμα 2.9) και συγκεκριμένα στα πεδία "CLSS_LL", "CLSS_PL", "CLSS_PI" και "CLSS_Ic" εισάγονται οι τιμές του ορίου υδαρότητας (%), ορίου πλαστικότητας (%), του δείκτη πλαστικότητας (%) και του δείκτη συνεκτικότητας αντίστοιχα.

Φυσική υγρασία

Στον πίνακα με κωδικό όνομα "CLSS" και συγκεκριμένα στα πεδίο "CLSS_NMC" εισάγονται οι τιμές της φυσικής υγρασίας (%), όπως αυτές προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές.

Βαθμός κορεσμού

Στον πίνακα με κωδικό όνομα "CLSS" και συγκεκριμένα στα πεδίο "CLSS_Sr" εισάγονται οι τιμές του βαθμού κορεσμού (%).

Δείκτης κενών

Στον πίνακα με κωδικό όνομα "CLSS" και συγκεκριμένα στα πεδίο "CLSS_e" εισάγονται οι τιμές του δείκτη κενών.

Πορώδες

Στον πίνακα με κωδικό όνομα "CLSS" και συγκεκριμένα στα πεδίο "CLSS_n" εισάγονται οι τιμές του πορώδους (%).

Υγρό φαινόμενο βάρος

Στον πίνακα με κωδικό όνομα "CLSS" και συγκεκριμένα στα πεδίο "CLSS_BDEN" εισάγονται οι τιμές του υγρού φαινόμενου βάρους (kN/m^3).

Ξηρό φαινόμενο βάρος

Στον πίνακα με κωδικό όνομα "CLSS" και συγκεκριμένα στα πεδίο "CLSS_DDEN" εισάγονται οι τιμές του ξηρού φαινόμενου βάρους (kN/m^3).

Κοκκομετρική ανάλυση

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα εισάγονται στον πίνακα με κωδικό όνομα "GRAD" (Σχήμα 2.10). Τα πεδίο "GRAD_SIZE" που συμπληρώνεται, αναφέρεται στη διάμετρο των κόκκων σε mm, ενώ το "GRAD_PERP" στο ποσοστό των διερχόμενων (%).

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών χαρακτηριστικών

Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης

Τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής καταχωρούνται στον πίνακα με κωδικό όνομα "ROCK". Συμπληρώνεται το πεδίο "ROCK_UCS", όπου δίνεται η τιμή της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.

Δοκιμή άμεσης διάτμησης

Για την εισαγωγή των τιμών της συνοχής (kPa) και της γωνίας εσωτερικής τριβής (°) χρησιμοποιούνται τα πεδία "SHBG_PCOH" και "SHBG_PHI" του πίνακα "SHBG" (Σχήμα 2.11).

Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης

Στο πεδίο "TRIG_TYPE" του πίνακα "TRIG" εισάγεται το είδος της τριαξονικής δοκιμής, ενώ στα πεδία "TRIG_COH" και "TRIG_PHI" εισάγονται οι τιμές της συνοχής (kPa) και της γωνίας εσωτερικής τριβής (°)

ii. Επί τόπου δοκιμές

Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης

Ο πίνακας "ISPT" χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των αποτελεσμάτων, όπως αυτά προκύπτουν από την εκτέλεση της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (Σχήμα 2.12). Οι πληροφορίες που εισάγονται είναι το βάθος της οροφής της εκτελεσθείσας δοκιμής στο πεδίο "ISPT_TOP" και ο αριθμός των κρούσεων (N_{SPT}) που μετρήθηκαν κατά την διείσδυση του πρότυπου δειγματολήπτη στο πεδίο "ISPT_NVAL".

Δοκιμή εισπίεσης νερού

Οι δοκιμές υδροπερατότητας κατατάσσονται στον πίνακα με κωδικό όνομα "IPRM". Εισάγεται το βάθος αρχής "IPRM_TOP" και τέλους "IPRM_BASE" της ζώνης στην οποία πραγματοποιήθηκε η δοκιμή, η τιμή της υδροπερατότητας (m/sec) του σχηματισμού στο "IPRM_IPRM", καθώς και ο τύπος της δοκιμής (Maag, Lefranc) στο πεδίο "IPRM_TYPE".

Δοκιμή στατικής πενετρομέτρησης

Στον πίνακα "SCPT" εισάγεται το βάθος της δοκιμής στο πεδίο "SCPT_DPTH", καθώς και οι τιμές της αντίστασης αιχμής (MPa) και της τοπικής πλευρικής τριβής (kPa) στα πεδία "SCPT_RES" και "SCPT_FRES" αντίστοιχα.

	A	B	C	D	E	F	G
1	GRAD	Κοκκομετρική διαβάθμιση.					
2	HOLE_ID	SAMP_TOP	SAMP_REF	SPEC_REF	SPEC_DPTH	GRAD_SIZE	GRAD_PERP
3		m			m	mm	%
4	KEY Exploratory hole or traverse name/number	KEY Depth to TOP of test sample	KEY Sample reference number	KEY Specimen reference number	KEY Specimen Depth	KEY Sieve or particle size	Percentage passing/finer
5							
6	kd_23	4.5	4	S2	5	4.7500	100.0000
7	kd_23	4.5	4	S2	5	2.0000	96.0000
8	kd_23	4.5	4	S2	5	0.4250	89.0000
9	kd_23	4.5	4	S2	5	0.0750	79.0000
10	kd_23	6	5	S3	6.5	4.7500	100.0000
11	kd_23	6	5	S3	6.5	2.0000	98.0000
12	kd_23	6	5	S3	6.5	0.4250	83.0000
13	kd_23	6	5	S3	6.5	0.0750	81.0000
14	kd_23	8	7	S4	8.5	2.0000	100.0000
15	kd_23	8	7	S4	8.5	0.4250	96.0000
16	kd_23	8	7	S4	8.5	0.0750	85.0000
17	kd_23	10	10	S6	10.5	19.0000	100.0000
18	kd_23	10	10	S6	10.5	4.7500	95.0000
19	kd_23	10	10	S6	10.5	2.0000	84.0000
20	kd_23	10	10	S6	10.5	0.4250	70.0000
21	kd_23	10	10	S6	10.5	0.0750	53.0000
22	kd_23	11.5	11	S7	12	4.7500	100.0000
23	kd_23	11.5	11	S7	12	2.0000	96.0000
24	kd_23	11.5	11	S7	12	0.4250	89.0000
25	kd_23	11.5	11	S7	12	0.0750	72.0000
26	kd_23	13.5	13	S8	14	4.7500	100.0000
27	kd_23	13.5	13	S8	14	2.0000	99.0000
28	kd_23	13.5	13	S8	14	0.4250	93.0000
29	kd_23	13.5	13	S8	14	0.0750	76.0000
30	kd_23	15	14	S9	15.5	19.0000	100.0000
31	kd_23	15	14	S9	15.5	4.7500	96.0000
32	kd_23	15	14	S9	15.5	2.0000	90.0000
33	kd_23	15	14	S9	15.5	0.4250	79.0000
34	kd_23	15	14	S9	15.5	0.0750	63.0000
35	kd_23	17	16	S10	17.5	4.7500	100.0000
36	kd_23	17	16	S10	17.5	2.0000	95.0000
37	kd_23	17	16	S10	17.5	0.4250	87.0000
38	kd_23	17	16	S10	17.5	0.0750	69.0000
39	kd_23	18.5	17	S11	19	4.7500	100.0000
40	kd_23	18.5	17	S11	19	2.0000	98.0000
41	kd_23	18.5	17	S11	19	0.4250	92.0000
42	kd_23	18.5	17	S11	19	0.0750	76.0000
43	kd_23	20	19	S13	20.5	4.7500	100.0000
44	kd_23	20	19	S13	20.5	2.0000	99.0000
45	kd_23	20	19	S13	20.5	0.4250	91.0000
46	kd_23	20	19	S13	20.5	0.0750	68.0000

Σχήμα 2.10: Πίνακας “GRAD”, όπου διακρίνονται τα στοιχεία που προέρχονται από τις κοκκομετρικές αναλύσεις κι εντάσσονται στα πεδία “GRAD_SIZE” και GRAD_PERP”

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	SHBG	Δοκιμή άμεσης διάτμησης, γενικά.						
2	HOLE_ID	SAMP_TOP	SAMP_REF	SPEC_REF	SPEC_DPTH	SHBG_TYPE	SHBG_PCOH	SHBG_PHI
3		m			m		kPa	deg
4	KEY Exploratory hole or traverse name/number	KEY Depth to TOP of test sample	KEY Sample reference number	KEY Specimen reference number	KEY Specimen Depth	Test type e.g. small shear box, large shear box, ring shear Small shear box	Peak cohesion intercept	Peak angle of friction
5								
6	am_72	3.2	3	S3	3.85	CD	2.7	27
7	am_72	10.5	12	S8	11.4	CD	4.4	18
8	am_72	21.05	23	S16	22.6	CD	4.2	18.5
9	am_72	24.2	27	S18	24.85	CD	5.7	20
10	am_73	9.5	11	S8	11.35	CD	1.3	18
11	am_73	17.1	16	S12	18.7	CD	37	30
12	am_73	19.4	19	S13	20.6	CD	7	14.5
13	am_73	24.1	24	S18	24.75	CD	22	17
14	am_74	8.45	8	S5	10	CD	0.9	29
15	am_74	15.7	16	S9	16.7	CD	1.7	28
16	am_74	24	23	S17	25.8	CD	35	19
17	am_75	12.1	13	S8	12.7	CD	11.1	27.5
18	am_75	14.9	16	S10	15.8	CD	8	23
19	am_75	20.1	22	S15	21	CD	0.5	22
20	am_75	29.35	27	S20	31.5	CD	25	20
21	am_76	3.8	5	S3	4.6	CD	8	27
22	am_76	16	15	S10	16.9	CD	25	20
23	am_76	27.7	26	S18	28.5	CD	39.8	27
24	am_76	34	32	S23	35	CD	34.6	27.5
25	am_77	10.85	10	S7	11.55	CD	3	44.3
26	am_77	13.8	14	S8	14.2	CD	11	39.1
27	am_78	14.8	15	S10	15.3	CD	32	39.3
28	am_79	8.6	8	S6	9.2	CD	10.7	19.5

Σχήμα 2.11: Πίνακας “SHBG”, όπου διακρίνονται τα πεδία εισαγωγής των τιμών συνοχής, γωνίας εσωτερικής τριβής και ο τύπος δοκιμής στα “SHBG_PCOH” “SHBG_PHI” και “SHBG_TYPE”

	A	B	C	D
1	ISPT	Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης, SPT.		
2	HOLE_ID	ISPT_TOP	ISPT_BASE	ISPT_NVAL
3		m	m	NU
4	KEY Exploratory hole or traverse name/number	KEY Depth to top of test	KEY Depth to base of test	SPT 'N' value
5				
6	gn_86	2	2.45	42
7	gn_86	4	4.45	19
8	gn_86	6	6.45	24
9	gn_86	8	8.45	26
10	gn_86	10	10.45	21
11	gn_86	12	12.45	25
12	gn_86	14	14.45	20
13	gn_86	16	16.45	48
14	gn_86	18	18.45	APN
15	gn_86	19.55	20	APN
16	gn_87	2	2.45	25
17	gn_87	4	4.45	20
18	gn_87	6	6.45	28
19	gn_87	8.4	8.85	44
20	gn_87	10	10.45	30
21	gn_87	12	12.45	APN
22	gn_87	15	15.45	APN
23	gn_88	2	2.45	21
24	gn_88	4	4.45	31
25	gn_88	6.5	6.95	48
26	gn_88	8	8.45	18
27	gn_88	10	10.45	23
28	gn_88	12	12.45	27
29	gn_88	14	14.45	29
30	gn_88	16.7	17.15	27
31	gn_88	20.5	20.95	APN
32	gn_89	2	2.45	27
33	gn_89	4	4.45	30
34	gn_89	6	6.45	30
35	gn_89	8	8.45	47
36	gn_89	10	10.45	28
37	gn_89	12	12.45	39

Σχήμα 2.12: Πίνακας “ISPT”, όπου διακρίνονται το πεδίο εισαγωγής των τιμών N_{SPT} που μετρήθηκαν κατά τη διείσδυση του πρότυπου δειγματολήπτη στο πεδίο “ISPT_NVAL”

3. Μέθοδοι χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστική ανάλυση

3.1. Γενικά

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Systems - GIS) θεωρούνται όλο και περισσότερο ως ένα από τα πλέον βασικά εργαλεία για τη συλλογή, συντήρηση κι ανάλυση χωρικά σχετιζόμενων πληροφοριών (Bowman, 1998; Parsons and Frost, 2000). Η ταχεία ανάπτυξη των GIS, τους έδωσε την ευκαιρία να χρησιμοποιηθούν ευρέως ανά τον κόσμο σε πολλούς επιστημονικούς τομείς. Μεταξύ αυτών, είναι και ο τομέας της τεχνικής γεωλογίας και γεωτεχνικής μηχανικής, όπου η χρήση των GIS τις τελευταίες δεκαετίες είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε αντικείμενα όπως η εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Tsangaratos et al., 2018; Matsakou et al., 2021; Tavoularis et al., 2021), η διερεύνηση των συνθηκών θεμελίωσης για διάφορα έργα υποδομής (Kunapo et al., 2005; Chander et al., 2018) και η ανάδειξη επικίνδυνων περιοχών με την ανάπτυξη τεχνικογεωλογικών χαρτών ζωνοποίησης (Arshid et al., 2013; Akhter et al., 2014; Kokkala and Marinos, 2022; Ullah et al., 2022).

Ακόμη ένα πλεονέκτημα των GIS είναι το γεγονός, ότι είναι σε θέση να λειτουργούν διαδραστικά με βάσεις δεδομένων. Η αποθήκευση πληροφοριών σε σχεσιακές βάσεις δεδομένων είναι η πιο συνηθισμένη κι επί του παρόντος η βέλτιστη επιλογή (Veeger et al., 2004). Μάλιστα, τις τελευταίες δεκαετίες το ενδιαφέρον εστιάζεται στη σημασία των ψηφιακών βάσεων δεδομένων (Culshaw et al., 2006), καθώς επιτρέπουν την εύκολη επεξεργασία, ενημέρωση ή κοινή χρήση δεδομένων από διάφορες πηγές μέσω των GIS. Έτσι, εκτός από την αποδοτική διαχείριση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Wu et al., 2002), περιορίζεται σημαντικά ο κίνδυνος απώλειας ή/και αλλοίωσής τους.

Επιπλέον, με τη χρήση των GIS είναι εφικτή η λεπτομερής οπτικοποίηση και παρουσίαση των γεωχωρικών δεδομένων μέσω της απεικόνισής τους. Η αναπαράσταση των δεδομένων, επιτυγχάνεται με τη δημιουργία μοντέλων, όπως για παράδειγμα τα μοντέλα συνεχών επιφανειών. Για τη παραγωγή τέτοιων μοντέλων, χρησιμοποιούνται διάφορα λογισμικά, όπως το ArcGIS™ της ESRI®, τα οποία διαθέτουν συγκεκριμένα εργαλεία χωρικής ανάλυσης, γνωστά ως μέθοδοι χωρικής παρεμβολής.

Οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, π.χ. με σκοπό την ανάπτυξη θεματικών χαρτών για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας (Deligiannakis et al., 2018; Sauti et al., 2021), τη διερεύνηση του δυναμικού ρευστοποίησης (Bourenane et al., 2018; Das et al., 2019; Boumpoulis et al., 2021), την εκτίμηση των κλιματικών επιπτώσεων (Yang et al., 2015) και τη διερεύνηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων (Nas and Berktaş, 2010; Elumalai et al., 2017). Ιδιαίτερα εκτεταμένη είναι η χρήση αυτών των μεθόδων και στην κατασκευή γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών χαρτών που βοηθούν στην εύκολη

και γρήγορη ανάλυση των δεδομένων που προβάλλονται σ' αυτούς. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, παρουσιάζονται αναλυτικά παραδείγματα της διεθνούς βιβλιογραφίας, για την ανάπτυξη θεματικών χαρτών γεωλογικής και τεχνικογεωλογικής πληροφορίας με τη χρήση διάφορων μεθόδων χωρικής παρεμβολής (κεφάλαια 5.3.1.1 και 6.6.1).

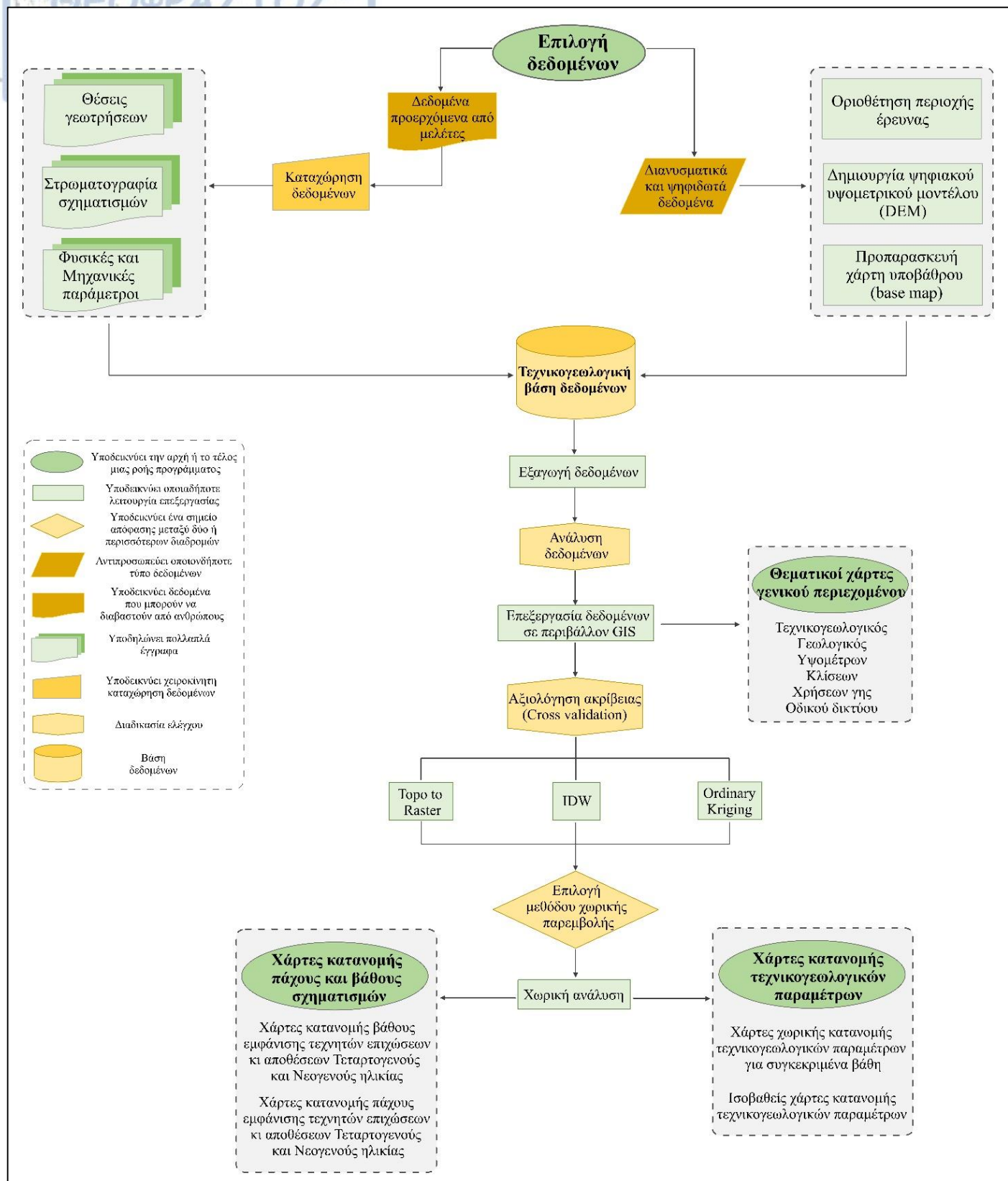
3.2. Μεθοδολογία

Σκοπός της προτεινόμενης μεθοδολογίας, εκτός από την ενσωμάτωση συνόλων δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές, είναι να παρέχει ένα εργαλείο με το οποίο γίνεται εύκολα και άμεσα η ανάλυση, συσχέτιση κι απεικόνιση δεδομένων σε χάρτες, πίνακες και διαγράμματα για όλες τις ενδιαφερόμενες ειδικότητες. Η διαδικασία που αναλύεται εκτενώς στις επόμενες παραγράφους, θεωρείται κρίσιμη καθώς μέσω αυτής πραγματοποιείται αποτελεσματικά η διαχείριση των γεωπληροφοριών με σκοπό την αξιολόγηση των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών της περιοχής έρευνας.

Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής (Σχήμα 3.1), η βάση δεδομένων αποτελεί την κεντρική λειτουργία της μεθοδολογίας, καθώς όλα τα δεδομένα εισάγονται, αναλύονται και συσχετίζονται στο περιβάλλον της. Τα δεδομένα που εισάγονται σ' αυτή, αφορούν τόσο σε διανυσματικά (vector) και ψηφιδωτά (raster) δεδομένα, όσο και σε δεδομένα προερχόμενα από τεχνικές μελέτες κι έρευνες που έχουν διεξαχθεί στην περιοχή έρευνας. Στην πρώτη περίπτωση, τα δεδομένα είναι διαθέσιμα σε μορφή raster και vector, έτσι ώστε να είναι άμεσα διαχειρίσιμα σε περιβάλλον GIS. Η δεύτερη περίπτωση δεδομένων, περιλαμβάνει μια χρονοβόρα διαδικασία καθώς η πλειονότητα των τεχνικών εκθέσεων διατίθεται κυρίως σε PDF ή σε έντυπη μορφή κι επομένως είναι προαπαιτούμενη η μηχανογράφησή τους. Τα στοιχεία που μετατρέπονται από αναλογική σε ψηφιακή μορφή, αναφέρονται στα διάφορα στοιχεία που προσδιορίζουν τη θέση των γεωτρήσεων (x, y, z), στη στρωματογραφία των γεωλογικών σχηματισμών και στις φυσικές και μηχανικές παραμέτρους που έχουν επιλεγεί προς επεξεργασία (βλ. πίνακα 2.2).

Στην επόμενη φάση, κι ενώ έχει ολοκληρωθεί η εισαγωγή των δεδομένων στην τεχνικογεωλογική βάση δεδομένων, τα δεδομένα αναλύονται με σκοπό τον εντοπισμό σφαλμάτων, διπλών εγγραφών ή/και αποκλίσεων ως προς τις αρχικές διαθέσιμες πληροφορίες. Παράλληλα διενεργείται διαδικασία επαλήθευσης σχετικά με την αποθήκευση των δεδομένων στη σωστή μορφή, την ομαδοποίηση θεματικά ομοιογενών συνόλων δεδομένων και τον έλεγχο σχετικά με το αν οι αλγόριθμοι που δημιουργήθηκαν επιστρέφουν τα σωστά δεδομένα μετά από την εκτέλεση της εκάστοτε εντολής. Έπειτα, τα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία σε περιβάλλον GIS, με σκοπό την ενοποίησή τους σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς και τη δημιουργία θεματικών χαρτών γενικής πληροφορίας, που βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης.

Στο επόμενο στάδιο, πραγματοποιείται η αξιολόγηση της ακρίβειας (cross validation) των δεδομένων. Πρόκειται για μια κρίσιμη διαδικασία, καθώς μέσω αυτής συγκρίνονται διάφορες μέθοδοι παρεμβολής (interpolation methods) με σκοπό την επιλογή της πλέον βέλτιστης για την αναπαράσταση των γεωλογικών και γεωτεχνικών ιδιοτήτων μέσω της χωρικής ανάλυσης. Η κατασκευή των θεματικών χαρτών γεωλογικής και τεχνικογεωλογικής πληροφορίας, η ανάλυση των οποίων παρουσιάζεται στα κεφάλαια 5 και 6 αντίστοιχα, αποτελεί την ολοκλήρωση της περιγραφόμενης διαδικασίας.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα ροής που παρουσιάζει τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα

3.3. Μέθοδοι χωρικής παρεμβολής

Στο πλαίσιο των GIS, χωρική παρεμβολή (spatial interpolation) είναι η διαδικασία εκτίμησης της τιμής μιας μεταβλητής σε θέσεις όπου αυτή δεν έχει μετρηθεί άμεσα, με βάση τις γνωστές τιμές στα γύρω σημεία δειγματοληψίας. Η χωρική παρεμβολή χρησιμοποιείται με σκοπό τη μετατροπή δεδομένων από σημειακές παρατηρήσεις σε συνεχείς επιφάνειες, έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη ιδιοτήτων στα σημεία όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις. Η διαδικασία της παρεμβολής βασίζεται στην υπόθεση, ότι χωρικά καταναμεμένα αντικείμενα συσχετίζονται περιοχικά, δηλαδή αντικείμενα τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση έχουν την τάση να έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

Οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: τις ντετερμινιστικές μεθόδους (deterministic methods) και τις γεωστατιστικές μεθόδους (geostatistical methods), ανάλογα με τα μοντέλα που χρησιμοποιεί καθεμία ως υπόβαθρο για την ενσωμάτωση πληροφοριών σχετικά με τη γεωγραφική θέση των σημείων δειγματοληψίας (Isaaks and Srivastava, 1990; Schloeder et al., 2001). Οι McCoy et al. (2001) και Childs (2004) περιγράφουν τις μεθόδους ντετερμινιστικής παρεμβολής ως εκείνες που δημιουργούν επιφάνειες με βάση μετρημένα σημεία ή μαθηματικούς τύπους, ενώ οι μέθοδοι γεωστατιστικής παρεμβολής βασίζονται στη θεωρία τυχαίων συναρτήσεων για τη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας που συνδέεται με τη χωρική εκτίμηση.

Πιο συγκεκριμένα, οι ντετερμινιστικές μέθοδοι χρησιμοποιούν μαθηματικά μοντέλα για την παραγωγή της χωρικής επιφάνειας, δε λαμβάνουν υπόψη τις σχέσεις μεταξύ των πραγματικών δεδομένων και δεν παρέχουν μέτρο της ακρίβειας των εκτιμήσεων. Οι επιφάνειες που παράγονται με τη χρήση αυτών των μεθόδων εξαρτώνται από την ομοιότητα ή το βαθμό ομοιογένειας των εξεταζόμενων σημείων.

Οι γεωστατιστικές μέθοδοι χρησιμοποιούν στατιστικά μοντέλα για την παραγωγή των χωρικών επιφανειών, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνουν υπόψη τη χωρική συσχέτιση που ελέγχει την απόσταση ή την κατεύθυνση μεταξύ των σημείων του δείγματος. Ένα από τα πλεονεκτήματα των γεωστατιστικών μεθόδων, είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν στοιχεία για την ακρίβεια της πρόβλεψης. Μειονέκτημά τους, σε αντίθεση με τις ντετερμινιστικές, είναι ότι είναι πολύπλοκες και απαιτείται η λήψη αρκετών αποφάσεων σχετικά με τις παραμέτρους του μοντέλου.

Οι μέθοδοι παρεμβολής που εφαρμόστηκαν στην παρούσα έρευνα είναι οι:

- Inverse Distance Weighted (Στάθμιση της Αντίστροφης Απόστασης)
- Ordinary Kriging (Κανονικό Kriging)
- Topo to Raster (Τοπογραφία σε ψηφιδωτά)

Αυτές περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

3.3.1 Inverse Distance Weighted - IDW (Στάθμιση της Αντίστροφης Απόστασης)

Η «Στάθμιση της Αντίστροφης Απόστασης» είναι η απλούστερη μέθοδος παρεμβολής και βασίζεται σε μια βασική αρχή της γεωγραφίας, ότι τα πράγματα που βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο «μοιάζουν» περισσότερο (McCoy et al., 2001). Η μέθοδος Inverse Distance Weighted, ή IDW όπως έχει επικρατήσει διεθνώς, χρησιμοποιείται όταν το σύνολο των σημείων είναι αρκετά πυκνό ώστε να αποτυπώνει την έκταση της τοπικής μεταβολής της επιφάνειας που απαιτείται για την ανάλυση. Κατά τη διαδικασία παρεμβολής αποδίδονται βάρη στα γειτονικά γνωστά σημεία του κάθε εκτιμώμενου άγνωστου σημείου για την πρόβλεψη της τιμής της παραμέτρου σ' αυτά. Τα γνωστά σημεία σταθμίζονται βάσει της αντίστροφης απόστασης από τα άγνωστα προς τα γνωστά σημεία. Το βάρος που αποδίδεται είναι συνάρτηση της απόστασης μεταξύ της εκτιμώμενης τιμής και των δεδομένων του δείγματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση, τόσο μικρότερη είναι η επιρροή στο σημείο όπου πρόκειται να γίνει πρόβλεψη τιμής (Childs, 2004; Robinson and Metternicht, 2006; Setianto and Triandini, 2013; Bhunia et al., 2018). Επομένως, για τον υπολογισμό της τιμής του συγκεκριμένου κελιού, χρησιμοποιούνται τα σημεία που βρίσκονται μέσα σε μία προκαθορισμένη ακτίνα. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη, όταν η χωρομεταβλητή που μελετάται, έχει εξασθενημένη επιρροή ανάλογα με την απόσταση από τα πρωτογενή δείγματα. Οι τιμές στα άγνωστα σημεία εκτιμώνται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$Z_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Z_i W_i}{W_i}}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad (3.1)$$

όπου:

$Z_{x,y}$: η τιμή του σημείου που βρίσκεται στη θέση με συντεταγμένες x, y που θα υπολογιστεί (τιμή παρεμβολής),

Z_i : η παρατηρούμενη τιμή στο δειγματοληπτικό σημείο i,

N: οι τιμές των συνολικών δεδομένων του δείγματος,

i: η i-οστή τιμή δεδομένων και

W_i : το βάρος που καθορίζει την σχετική σπουδαιότητα των μεμονωμένων σημείων ελέγχου (control points).

3.3.2 Ordinary Kriging (Κανονικό Kriging)

Οι γεωστατιστικές μέθοδοι είναι συνυφασμένες με τη μέθοδο Kriging και τις παραλλαγές της. Το Kriging προσαρμόζει μια συνάρτηση σε έναν καθορισμένο αριθμό σημείων ή σε όλα τα σημεία εντός μιας συγκεκριμένης ακτίνας για να καθορίσει την τιμή εξόδου για κάθε θέση. Το Ordinary Kriging, γνωστό ως «Κανονικό Kriging» στην ελληνική βιβλιογραφία, είναι η πλέον διαδεδομένη από

όλες τις μεθόδους Kriging. Η μέθοδος Ordinary Kriging χρησιμοποιεί κι αυτή βάρη στις μετρήσεις των σημείων δειγματοληψίας, από τις οποίες θα προβλεφθεί μία τιμή. Όμως, σε αντίθεση με τη ντετερμινιστική μέθοδο IDW, τα βάρη δεν βασίζονται μόνο στην απόσταση μεταξύ των μετρούμενων σημείων και της θέσης πρόβλεψης, αλλά και στη συνολική χωρική κατανομή μεταξύ των παρατηρούμενων σημείων. Συνεπώς για τις προβλέψεις των άγνωστων χωρικών τιμών χρησιμοποιεί μόνο τις τοπικές τιμές των δειγμάτων της άμεσης γειτονιάς. Αυτό προϋποθέτει, την ύπαρξη ενός μεγάλου σχετικά αριθμού δειγμάτων, τα οποία καλύπτουν ικανοποιητικά όλο το χώρο της υπό μελέτη περιοχής. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται σ' αυτή την περίπτωση είναι:

$$Z_{x,y} = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_i \quad (3.2)$$

όπου:

$Z_{x,y}$: η τιμή του σημείου που βρίσκεται στη θέση με συντεταγμένες x, y που θα υπολογιστεί (τιμή παρεμβολής),

Z_i : η παρατηρούμενη τιμή στο δειγματοληπτικό σημείο i,

N: οι τιμές των συνολικών δεδομένων του δείγματος,

i: η i-οστή τιμή δεδομένων και

λ_i : το βάρος για την τιμή Z_i .

3.3.3 Topo to Raster (Τοπογραφία σε ψηφιδωτά)

Η μέθοδος «Τοπογραφία σε ψηφιδωτά», ή αλλιώς Topo to Raster όπως είναι γνωστή στην παγκόσμια βιβλιογραφία, χρησιμοποιεί μια επαναληπτική τεχνική παρεμβολής πεπερασμένων διαφορών που βελτιστοποιεί την υπολογιστική αποδοτικότητα των μεθόδων τοπικής παρεμβολής, όπως η IDW, χωρίς να χάνει την επιφανειακή συνέχεια των μεθόδων γενικής παρεμβολής, όπως η spline (ντετερμινιστική μέθοδος) και η kriging (γεωστατιστική μέθοδος) (Childs, 2004). Βασίζεται στο πρόγραμμα ANUDEM που αναπτύχθηκε από τον Michael Hutchinson (Hutchinson, 1989, 2000; Hutchinson et al., 2011) και θεωρείται μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους για τη δημιουργία τοπογραφικών επιφανειών, καθώς λαμβάνει υπόψη της όλα τα γνωστά χαρακτηριστικά ενός ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου (Digital Elevation Model, DEM). Επί της ουσίας, η Topo to Raster είναι μια συνδυασμένη μέθοδος παρεμβολής, η οποία χρησιμοποιεί μια διακριτή τεχνική που βασίζεται σε πολυωνυμικές συναρτήσεις, επιτρέποντας τη δημιουργία επιφανειών, όπως τα DEM που παρουσιάζουν απότομες αλλαγές στο πεδίο, π.χ. υψομετρικές διαφορές (Arseni et al., 2019).

3.4. Διαμόρφωση κι επιλογή δεδομένων

Για την εφαρμογή των μεθόδων χωρικής παρεμβολής και την περαιτέρω αξιολόγησή τους, είναι προαπαιτούμενη η επιλογή ενός συνόλου δεδομένων, το οποίο χρησιμοποιείται με σκοπό την εκπαίδευση του εκάστοτε μοντέλου (training set). Το training set αποτελεί τμήμα του συνολικού αριθμού των δεδομένων για τα οποία υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις. Το υπόλοιπο μέρος των δεδομένων αντιστοιχεί στο λεγόμενο «test set» κι χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση του μοντέλου. Στην προκειμένη, μοντέλα θεωρούνται οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκαν μέσω του ArcGIS. Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

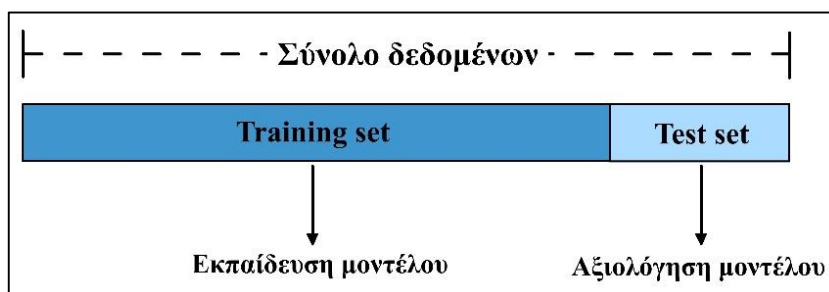
- i. Το σύνολο των δεδομένων, δηλαδή των γεωτρήσεων στην παρούσα, χωρίζεται σε δύο υποσύνολα, το training set και το test set.
- ii. Έπειτα, για κάθε ένα μοντέλο χρησιμοποιείται μόνο το training set με σκοπό τη δημιουργία επιφανειών παρεμβολής από όπου εκτιμώνται τιμές για τα σημεία όπου δεν υπάρχουν δεδομένα.
- iii. Στη συνέχεια οι εκτιμώμενες τιμές που προέκυψαν από την εκπαίδευση του training set στις θέσεις του test set, συγκρίνονται με τις παρατηρούμενες τιμές του test set.
- iv. Τέλος πραγματοποιείται αξιολόγηση για το κάθε ένα μοντέλο κι επιλέγεται αυτό με τη μεγαλύτερη ακρίβεια, δηλαδή αυτό, του οποίου οι προβλέψεις σχετικά με τις εκτιμώμενες τιμές, είναι πιο κοντά με τις παρατηρούμενες του test set.

Η υλοποίηση αυτής της διαδικασίας καλείται αξιολόγηση της ακρίβειας (cross-validation). Αυτή περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.5 όπου πραγματοποιούνται τα στάδια ii, iii και iv. Στο παρόν, δίνεται έμφαση στη διαδικασία διαχωρισμού των δεδομένων (στάδιο i) που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μετέπειτα στην αξιολόγηση των μεθόδων παρεμβολής. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που βασίζονται στη μηχανική μάθηση (machine learning) και χρησιμοποιούνται με σκοπό τη διαμόρφωση των δεδομένων, την εκπαίδευση κι αξιολόγηση της ακρίβειάς τους (King et al. 2021). Μερικές από τις πιο διαδεδομένες είναι οι εξής:

- Hold-out
- K-folds
- Leave-one-out
- Leave-p-out
- Stratified K-folds
- Repeated K-folds
- Nested K-folds
- Time series cross-validation

Στην παρούσα έρευνα, εφαρμόστηκε η μέθοδος «Hold-out». Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό αποκλίσεων μεταξύ της «ανατροφοδότησης» και των προβλέψεων των μοντέλων (Yadav and Shukla, 2016; Korper et al., 2020). Μεταξύ άλλων, θεωρείται μια από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους στον καθορισμό του training set και test set, καθώς και στην εκτίμηση της ακρίβειας ενός μοντέλου πρόβλεψης (Hastie et al., 2009; Refaeilzadeh et al., 2009; James et al., 2013). Πρόκειται για μια συνηθισμένη τεχνική αξιολόγησης της ακρίβειας που χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην περίπτωση που ο αριθμός των διαθέσιμων δεδομένων είναι μεγάλος και περιλαμβάνει το διαχωρισμό των δεδομένων σε δύο μέρη με σκοπό τη χρήση του ενός για την εκπαίδευση του μοντέλου και του άλλου για την αξιολόγηση της ακρίβειας και τον έλεγχο του.

Η διαδικασία που χρησιμοποιείται κατά την «Hold-out», με σκοπό το διαχωρισμό του συνόλου δεδομένων, παρουσιάζεται συνοπτικά στο Σχήμα 3.2. Σύμφωνα μ' αυτό, το αρχικό σύνολο δεδομένων χωρίζεται σε δύο υποσύνολα. Το πρώτο υποσύνολο αντιστοιχεί στο training set, ενώ το δεύτερο προορίζεται για το test set. Το ποσοστό διαχωρισμού αποφασίζεται με βάση τον όγκο των δεδομένων που είναι διαθέσιμα. Συνήθως, κατά το διαχωρισμό (split) του συνόλου δεδομένων, το 70-80% χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση και το 20-30% χρησιμοποιείται αντίστοιχα για τη δοκιμή του μοντέλου. Αυτή η τεχνική θεωρείται ως η πλέον κατάλληλη στην περίπτωση που ο στόχος είναι να συγκριθούν τα μοντέλα με βάση την ακρίβεια του εκάστοτε μοντέλου στο σύνολο δεδομένων δοκιμής και να επιλεγεί η πλέον βέλτιστη μέθοδος χωρικής παρεμβολής, ως προς την απόδοσή της.

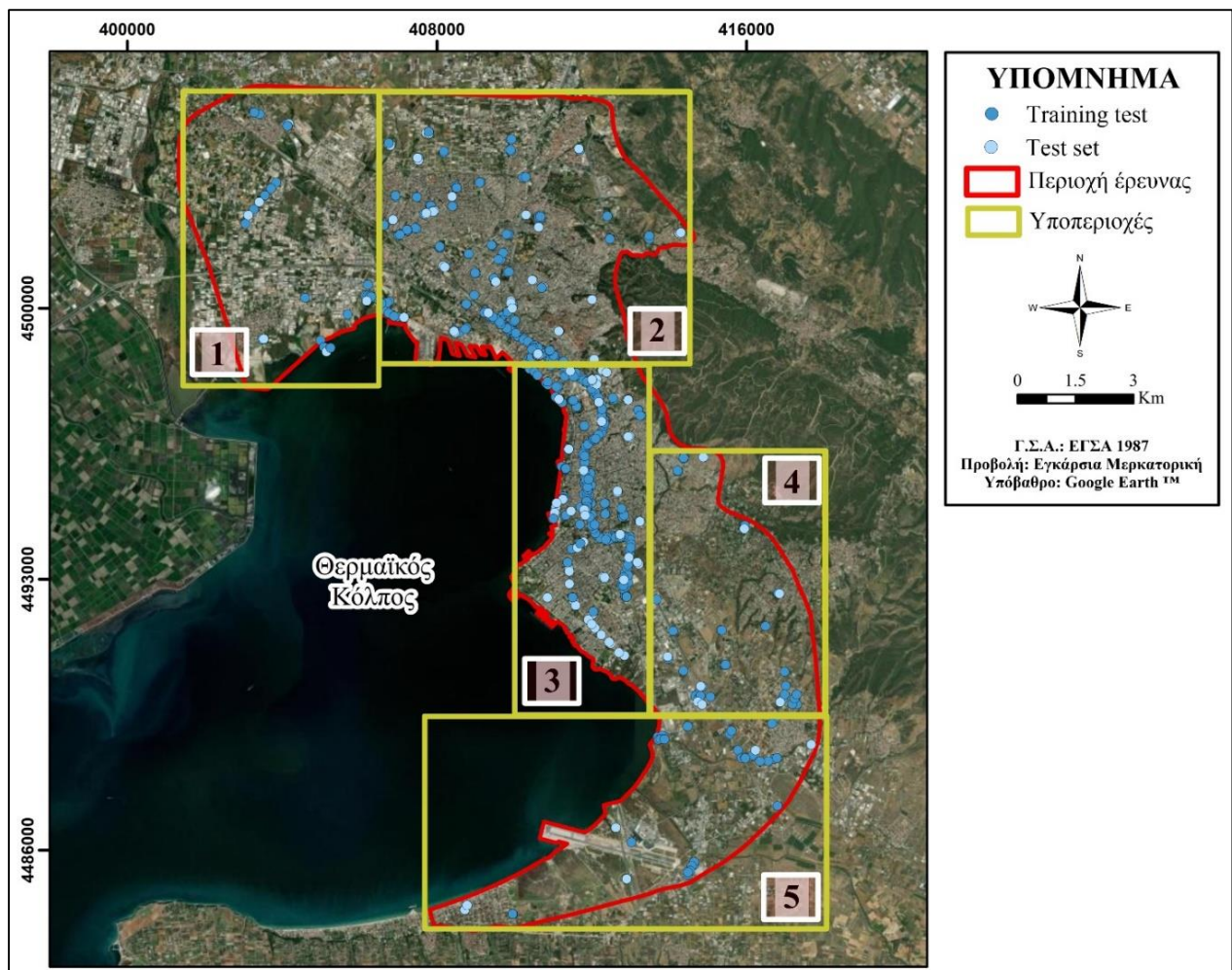


Σχήμα 3.2: Η διαδικασία διαχωρισμού των δεδομένων σύμφωνα με τη μέθοδο «Hold-out»

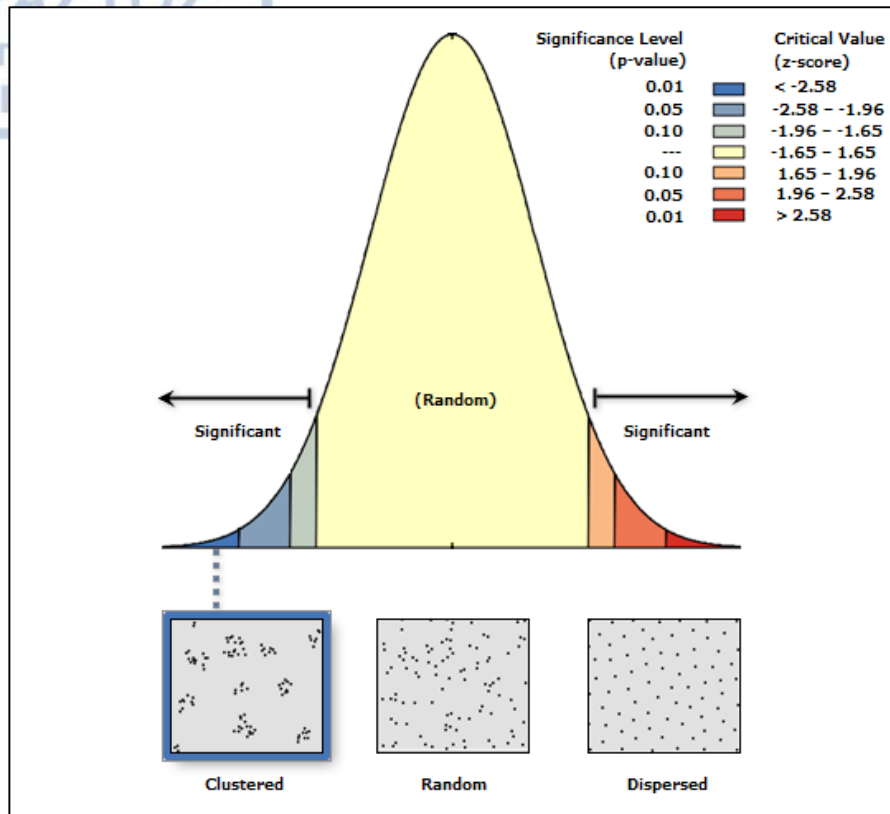
Παρότι η συγκεκριμένη προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα, ότι είναι απλή στην εφαρμογή, μπορεί να είναι ευαίσθητη στον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα χωρίζονται στα δύο υποσύνολα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που ο διαχωρισμός των δεδομένων δε γίνει τυχαία, τότε τα αποτελέσματα μπορεί να είναι μεροληπτικά. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την καλή προσαρμογή του εκάστοτε μοντέλου στο σύνολο δεδομένων δοκιμής (test set). Με άλλα λόγια, τα μοντέλα «εκπαιδεύονται» στο να προσαρμόζονται καλά και να βελτιώνουν την ακρίβεια του μοντέλου στο σύνολο δεδομένων δοκιμής (test set). Συνεπώς, κατά τη διαδικασία διαχωρισμού του αρχικού συνόλου δεδομένων σε training set και test set, θα πρέπει αυτά να αποτελούνται από ένα τυχαίο, αλλά

ισορροπημένο δείγμα δεδομένων, αντιπροσωπευτικό ως προς την επιθυμητή κλάση στην οποία θα γίνει η ταξινόμηση των δεδομένων (π.χ. 80-20%).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην παρούσα έρευνα, περιγράφεται αναλυτικά ακολούθως. Το αρχικό σύνολο των δεδομένων αντιστοιχεί σε 618 γεωτρήσεις. Από αυτές, χρησιμοποιήθηκαν οι 492 (80%) ως training set και οι υπόλοιπες 126 (20%) ως test set (Σχήμα 3.3). Δεδομένου ότι η κατανομή των γεωτρήσεων είναι ομαδοποιημένη (clustered) (Σχήμα 3.4), η περιοχή έρευνας χωρίστηκε σε 5 υποπεριοχές με σκοπό την κατά το δυνατόν καλύτερη χωρική κατανομή του training set, ακόμη και σε περιοχές όπου το συνολικό δίκτυο των γεωτρήσεων δεν είναι ιδιαίτερα πυκνό ή είναι διάσπαρτο. Για κάθε μία υποπεριοχή επιλέχθηκε το 80% των γεωτρήσεων ως training set και στο τέλος διαμορφώθηκε το αντίστοιχο ποσοστό για τη συνολική περιοχή. Μ' αυτόν τον τρόπο προσδιορίστηκαν και οι θέσεις των γεωτρήσεων του test set (υπόλοιπο 20%), οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα στην αξιολόγηση του μοντέλου, δηλαδή των μεθόδων χωρικής παρεμβολής.



Σχήμα 3.3: Υποδιαίρεση περιοχής έρευνας σε μικρότερες περιοχές και παρουσίαση των γεωτρήσεων που ανήκουν στα υποσύνολα της εκπαίδευσης του μοντέλου (training set) και της αξιολόγησης της ακρίβειάς του (test set)



Σχήμα 3.4: Αποτελέσματα σχετικά με την κατανομή των γεωτρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση Average Nearest Neighbor – ANN μέσω ArcGIS

Εκτός από το χωρικό κριτήριο που λήφθηκε υπόψη, για την επιλογή του training set επιλέχθηκαν κατά προτεραιότητα γεωτρήσεις, στις οποίες εμφανίζονται όλοι οι εξεταζόμενοι σχηματισμοί. Αυτό επιτεύχθηκε με την απόδοση βαρών, με σκοπό την ιεράρχηση των γεωτρήσεων κατά την επιλογή τους, ούτως ώστε να αποφευχθεί η εξαίρεση θέσεων με σημαντική γεωλογική και τεχνικογεωλογική πληροφορία σε βάθος. Η χρήση του συγκεκριμένου κριτηρίου παρότι εμπεριέχει ακόμη μία παράμετρο για τη διαμόρφωση του τελικού training set, θεωρείται απαραίτητη για τους σκοπούς της συγκεκριμένης έρευνας.

Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται τμήμα του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε στη διαδικασία επιλογής των training set και test set σύμφωνα με τη μέθοδο «Hold-out». Τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν προήλθαν από αρχεία της βάσης δεδομένων με πληροφορίες σχετικά με τις συντεταγμένες των γεωτρήσεων και τη γενική γεωλογική περιγραφή των σχηματισμών ανά βάθος. Αυτά υπέστησαν επεξεργασία σε περιβάλλον node.js, χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Javascript. Η διαδικασία ξεκινάει με τη χρήση της συνάρτησης splitAreas και την ταξινόμηση των γεωτρήσεων στις αντίστοιχες υποπεριοχές. Έπειτα, για κάθε μια περιοχή χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση addBorWeight με σκοπό να προστεθούν βάρη στις γεωτρήσεις. Στη συνέχεια, τα δεδομένα ταξινομήθηκαν σύμφωνα με το βάρος τους κατά φθίνουσα σειρά, αφού πρώτα αναδιατάχθηκαν με τυχαία σειρά με τη χρήση

της shuffleAndSort. Από τον πίνακα που προέκυψε, επιλέχθηκαν τα πρώτα στοιχεία που αντιστοιχούν στο 80% του συνόλου των δεδομένων με σκοπό τη δημιουργία του training set. Το υπόλοιπο 20% των δεδομένων που απέμεινε, χρησιμοποιήθηκε για το test set. Με τη χρήση της βιβλιοθήκης xlsx πραγματοποιήθηκε η εξαγωγή των δεδομένων σε αρχεία μορφής excel με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία τους στην αξιολόγηση των μεθόδων παρεμβολής.

```

1  function splitAreas(data, area) {
2      if (
3          data.coord_X > area.xMin &&
4          data.coord_X < area.xMax &&
5          data.coord_Y > area.yMin &&
6          data.coord_Y < area.yMax
7      ) {
8          area.boreHoles.push(data);
9      }
10 }
11
12 function addBorWeight(boreData, area) {
13     const geoLegCounts = boreData.reduce((acc, obj) => {
14         const { HOLE_ID, GEOL_LEG } = obj;
15         acc[HOLE_ID] = acc[HOLE_ID] || new Set();
16         acc[HOLE_ID].add(GEOL_LEG);
17         return acc;
18     }, {});
19
20     const boresCoordsWithGeolLeg = area.boreHoles.map((obj) => ({
21         ...obj,
22         GEOL_LEG: geoLegCounts[obj.HOLE_ID] ? geoLegCounts[obj.HOLE_ID].size : 0,
23     }));
24
25     return boresCoordsWithGeolLeg;
26 }
27
28 function shuffleAndSort(array) {
29     const numElementsToRemove = Math.floor(array.length * 0.8);
30     const trainingSet = [];
31     const testSet = [];
32
33     const shuffledArray = [...array];
34     shuffledArray.sort(() => Math.random() - 0.5);
35
36     const sortedArray = shuffledArray.sort((a, b) => b.GEOL_LEG - a.GEOL_LEG);
37
38     for (let i = 0; i < numElementsToRemove; i++) {
39         trainingSet.push(sortedArray.shift());
40     }
41
42     testSet.push(...sortedArray);
43
44     return [trainingSet, testSet];
45 }

```

Σχήμα 3.5: Τμήμα κώδικα που περιγράφει τη διαδικασία επιλογής των training set και test set σύμφωνα με τη μέθοδο «Hold-out»

3.5. Αξιολόγηση μεθόδων χωρικής παρεμβολής και γεωστατιστική ανάλυση

Ο στόχος της αξιολόγησης της ακρίβειας (cross validation) είναι η διερεύνηση σχετικά με ποιά από τις εξεταζόμενες μεθόδους, παρέχει τις πιο ακριβείς προβλέψεις (Schneider and Martinoni, 2001). Επομένως, μέσω αυτής της διαδικασίας γίνεται η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου χωρικής παρεμβολής από την οποία προκύπτει η μικρότερη διαφορά μεταξύ των παρατηρούμενων μετρήσεων και των εκτιμώμενων τιμών, που προέρχονται από την εφαρμογή των διάφορων μεθόδων χωρικής παρεμβολής. Η συγκριτική ανάλυση μεταξύ διάφορων μεθόδων παρεμβολής αποτελεί αντικείμενο διερεύνησης πολλών μελετητών, τόσο σε αμιγώς γεωτεχνικής φύσεως αντικείμενα (Al-Mamoori et al., 2021; Hassan et al., 2023; Ijaz et al., 2023) όσο και σε γεωλογικά, υδρογεωλογικά, μετεωρολογικά και λοιπά πεδία ενδιαφέροντος (Adhikary and Dash, 2017; Meng et al., 2018; Amini et al., 2019; Boumpoulis et al., 2023).

3.5.1 Στατιστικοί δείκτες

Στην παρούσα έρευνα, τα υπάρχοντα σύνολα παρατηρούμενων και εκτιμώμενων τιμών διασταυρώθηκαν για να αξιολογηθεί η καταλληλότητα των μεθόδων. Με τον τρόπο αυτό, η στατιστική αβεβαιότητα μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και να επιλεγεί η βέλτιστη μέθοδος παρεμβολής (Guarascio et al., 1976; Knudsen and Kim, 1978; Isaaks and Srivastava, 1990). Ο έλεγχος της καταλληλότερης μεθόδου χωρικής παρεμβολής πραγματοποιήθηκε μέσω διάφορων στατιστικών δεικτών που υπολογίστηκαν και χρησιμοποιούνται ευρέως στα ΓΠΣ (Salih και Mohammed, 2017; Ahmed et al., 2020). Ακολούθως, περιγράφονται αναλυτικά οι στατιστικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία διερεύνησης της καταλληλότερης μεθόδου χωρικής παρεμβολής.

Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (Mean Absolute Error - MAE)

Το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) είναι ο μέσος όρος στο δείγμα δοκιμής των απόλυτων διαφορών μεταξύ παρατηρούμενης και εκτιμώμενης τιμής. Και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - y_i|}{N} \quad (3.3)$$

όπου:

N: ο συνολικός αριθμός των σημείων δειγματοληψίας,

x_i : η παρατηρούμενη τιμή σε μια θέση (i) και

y_i : η εκτιμώμενη τιμή στην i-οστή θέση.

Σε γενικές γραμμές, όσο χαμηλότερη είναι η τιμή για το MAE τόσο καλύτερα ένα μοντέλο, στην προκειμένη μέθοδο παρεμβολής, είναι σε θέση να προσαρμόσει ένα σύνολο δεδομένων.

Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Squared Error - MSE)

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ποσοτικοποιήσει την απόκλιση μίας τιμής που εκτιμήθηκε σε σχέση με την πραγματική τιμή της ποσότητας που ερευνάται και ορίζεται από την εξίσωση:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{N} \quad (3.4)$$

όπου:

N: ο συνολικός αριθμός των σημείων δειγματοληψίας,

x_i : η παρατηρούμενη τιμή σε μια θέση (i) και

y_i : η εκτιμώμενη τιμή στην i-οστή θέση.

Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή για το MSE τόσο καλύτερα μία μέθοδος παρεμβολής είναι σε θέση να προσαρμόσει ένα σύνολο δεδομένων.

Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Root Mean Square Error - RMSE)

Το RMSE είναι ένας δείκτης που μετρά επίσης το μέσο μέγεθος του σφάλματος. Είναι η τετραγωνική ρίζα του μέσου όρου των τετραγωνικών διαφορών μεταξύ εκτιμώμενης και παρατηρούμενης τιμής και υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{N}} \quad (3.5)$$

όπου:

N: ο συνολικός αριθμός των σημείων δειγματοληψίας,

x_i : η παρατηρούμενη τιμή σε μια θέση (i) και

y_i : η εκτιμώμενη τιμή στην i-οστή θέση.

Όσο μεγαλύτερο είναι το RMSE, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των προβλεπόμενων και των παρατηρούμενων τιμών, πράγμα που σημαίνει ότι η μέθοδος παρεμβολής προσαρμόζεται χειρότερα στα δεδομένα. Καθώς το RMSE πλησιάζει το μηδέν, η εκτίμηση είναι πιο ακριβής.

Συντελεστής Συσχέτισης Pearson (Pearson's correlation coefficient - P. Correlation)

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson χρησιμοποιείται για να αποκαλύψει το βαθμό εξάρτησης της μιας μεταβλητής από την άλλη. Καθορίζεται από τιμές που βρίσκονται εντός του εύρους $[-1, +1]$ και η ισχυρότερη θετική σχέση μεταξύ παρατηρούμενων κι εκτιμώμενων τιμών εμφανίζεται όταν το P. Correlation προσεγγίζει την τιμή 1.

Συντελεστής Προσδιορισμού (Coefficient of determination - R^2)

Ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2), υπολογίζεται υψώνοντας στο τετράγωνο τον συντελεστή συσχέτισης. Ο συντελεστής προσδιορισμού εκφράζει σε ποιο βαθμό η μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής (εκτιμώμενη τιμή) εξηγείται από τη μεταβλητότητα της ανεξάρτητης (παρατηρούμενη τιμή). Παίρνει συνήθως τιμές στο εύρος $[0, +1]$ και η τιμή 1 υποδηλώνει, ότι οι εκτιμώμενες τιμές ταυτίζονται με τις παρατηρούμενες.

Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν εκτενώς τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μεθόδων παρεμβολής, που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των θεματικών χαρτών βάθους και πάχους εμφάνισης των εξεταζόμενων σχηματισμών που παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 5.3.1. Οι τρεις μέθοδοι παρεμβολής συγκρίθηκαν κι αξιολογήθηκαν σε σχέση με τις παρατηρούμενες και τις εκτιμώμενες τιμές για κάθε μία περίπτωση.

Τα αποτελέσματα των στατιστικών δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν (πίνακας 3.1) έδειξαν, ότι η εφαρμογή της μεθόδου Topo to Raster παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους χωρικής παρεμβολής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα στατιστικά σφάλματα (MAE, MSE, RMSE) που υπολογίστηκαν για την Topo to Raster είναι χαμηλότερα σε όλα τα βάθη και πάχη των εξεταζόμενων σχηματισμών. Ωστόσο, οι διαφορές μεταξύ αυτών των σφαλμάτων για τις μεθόδους Topo to Raster και IDW δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι το MSE που υπολογίστηκε για την Ordinary Kriging στην περίπτωση των τεχνητών επιχώσεων, είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με τον αντίστοιχο δείκτη για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι για τις τεχνητές επιχώσεις, η διαφορά μεταξύ εκτιμώμενης και παρατηρούμενης τιμής ($x_i - y_i$) δεν είναι μεγάλη. Αυτό σημαίνει, ότι ο βαθμός ομοιογένειας των εξεταζόμενων σημείων μεταξύ εκτιμώμενων και παρατηρούμενων τιμών είναι μεγάλος. Αντίστοιχα, στις περισσότερες περιπτώσεις γεωτρήσεων, η διαφορά ανάμεσα στις εκτιμώμενες και παρατηρούμενες τιμές για το βάθος και πάχος των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας είναι αρκετά μεγάλη. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία της συγκεκριμένης μεθόδου να παράγει βέλτιστες επιφάνειες παρεμβολής για τους συγκεκριμένους σχηματισμούς.

Επιπλέον, ο συντελεστής συσχέτισης Pearson και ο συντελεστής προσδιορισμού υποδεικνύουν χαμηλότερες τιμές στην περίπτωση της Ordinary Kriging, σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους παρεμβολής. Επίσης, οι Topo to Raster και IDW παρουσιάζουν πολύ κοντινές τιμές, ενώ στην περίπτωση του P.Correlation για το βάθος των τεχνητών επιχώσεων και τα πάχη των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, αυτές οι τιμές είναι ίδιες.

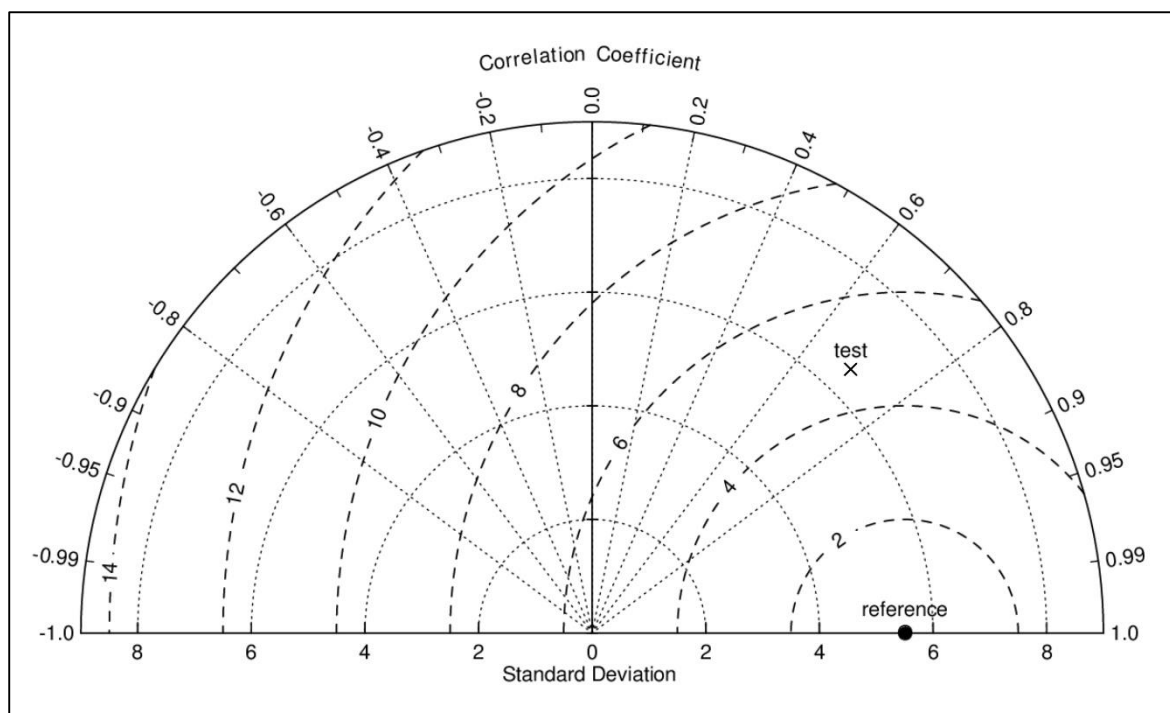
Συμπερασματικά, οι μεγαλύτερες αποκλίσεις εντοπίζονται μεταξύ των τιμών που προέκυψαν από τη χρήση της μεθόδου Ordinary Kriging σε σχέση με αυτές που εκτιμήθηκαν από τις μεθόδους IDW και Topo to Raster. Η μη ικανοποιητική δημιουργία επιφανειών με τη μέθοδο Ordinary Kriging αποδίδεται κατά κύριο λόγο στη συνολική χωρική κατανομή των γεωτρήσεων που λήφθηκαν υπόψη ως παρατηρούμενες τιμές. Τέλος, αντιπαραβάλλοντας τα αποτελέσματα των στατιστικών δεικτών των εναπομείναντων μεθόδων χωρικής παρεμβολής, παρατηρείται ότι η Topo to Raster θεωρείται η βέλτιστη, καθώς υπερτερεί της IDW.

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα στατιστικών δεικτών για τις μεθόδους χωρικής παρεμβολής που αξιολογήθηκαν

Μέθοδοι παρεμβολής	Βάθος τεχνητών επιχώσεων				
	MAE (m)	MSE (m)	RMSE (m)	P. Correlation (m)	R ² (m)
Ordinary Kriging	1.21	2.76	1.66	0.80	0.65
Topo to Raster	0.39	0.53	0.73	0.97	0.93
IDW	0.43	0.63	0.80	0.96	0.92
Μέθοδοι παρεμβολής	Πάχος τεχνητών επιχώσεων				
	MAE (m)	MSE (m)	RMSE (m)	P. Correlation (m)	R ² (m)
Ordinary Kriging	1.23	2.83	1.68	0.80	0.64
Topo to Raster	0.41	0.55	0.74	0.96	0.93
IDW	0.44	0.68	0.82	0.96	0.91
Μέθοδοι παρεμβολής	Βάθος αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας				
	MAE (m)	MSE (m)	RMSE (m)	P. Correlation (m)	R ² (m)
Ordinary Kriging	4.61	49.90	7.06	0.81	0.65
Topo to Raster	1.74	10.40	3.22	0.96	0.93
IDW	1.83	12.13	3.48	0.96	0.92
Μέθοδοι παρεμβολής	Πάχος αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας				
	MAE (m)	MSE (m)	RMSE (m)	P. Correlation (m)	R ² (m)
Ordinary Kriging	4.70	51.36	7.17	0.81	0.66
Topo to Raster	1.79	11.98	3.46	0.96	0.92
IDW	1.87	13.63	3.69	0.95	0.91
Μέθοδοι παρεμβολής	Βάθος αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας				
	MAE (m)	MSE (m)	RMSE (m)	P. Correlation (m)	R ² (m)
Ordinary Kriging	3.92	30.53	5.53	0.89	0.79
Topo to Raster	1.27	6.11	2.47	0.98	0.96
IDW	1.35	7.12	2.67	0.98	0.95
Μέθοδοι παρεμβολής	Πάχος αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας				
	MAE (m)	MSE (m)	RMSE (m)	P. Correlation (m)	R ² (m)
Ordinary Kriging	4.42	42.01	6.48	0.76	0.57
Topo to Raster	1.50	9.25	3.04	0.95	0.91
IDW	1.64	11.14	3.34	0.94	0.89

3.5.2 Διαγράμματα Taylor

Η σύγκριση των τριών μεθόδων παρεμβολής, επιτεύχθηκε πέρα από τη χρήση των στατιστικών δεικτών και μέσω των διαγραμμάτων Taylor. Τα διαγράμματα Taylor αποτελούν ένα σημαντικό κι αξιόπιστο εργαλείο για την αξιολόγηση πολύπλοκων μοντέλων και μεθόδων, καθώς αναπαριστούν, συνοπτικά, το βαθμό που ένα σύνολο δεδομένων προσεγγίζει τις παρατηρούμενες τιμές (τιμές αναφοράς). Η αξιολόγηση των δεδομένων επιτυγχάνεται μέσω τριών στατιστικών μεγεθών: του συντελεστή συσχέτισης (Coefficient Correlation), της τυπικής απόκλισης (Standard Deviation) και της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE). Οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης προκύπτουν από τις ακτίνες, ενώ η τυπική απόκλιση περιγράφεται από τους άξονες του διαγράμματος, όπου η σύνδεσή τους σχηματίζει νοητά ημικύκλια. Τέλος, η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) δίνεται μέσω των ημικυκλίων που εμφανίζονται (Σχήμα 3.6) (Taylor, 2001).



Σχήμα 3.6: Ενδεικτικό διάγραμμα Taylor

Επομένως, για την παρατηρούμενη τιμή (x) και την εκτιμώμενη τιμή (y), ο συντελεστής συσχέτισης (R) και η τυπική απόκλιση αυτών δίνονται από τους ακόλουθους μαθηματικούς τύπους (Taylor, 2001):

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.6)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.7)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.8)$$

όπου:

σ_x : η τυπική απόκλιση της παρατηρούμενης τιμής και

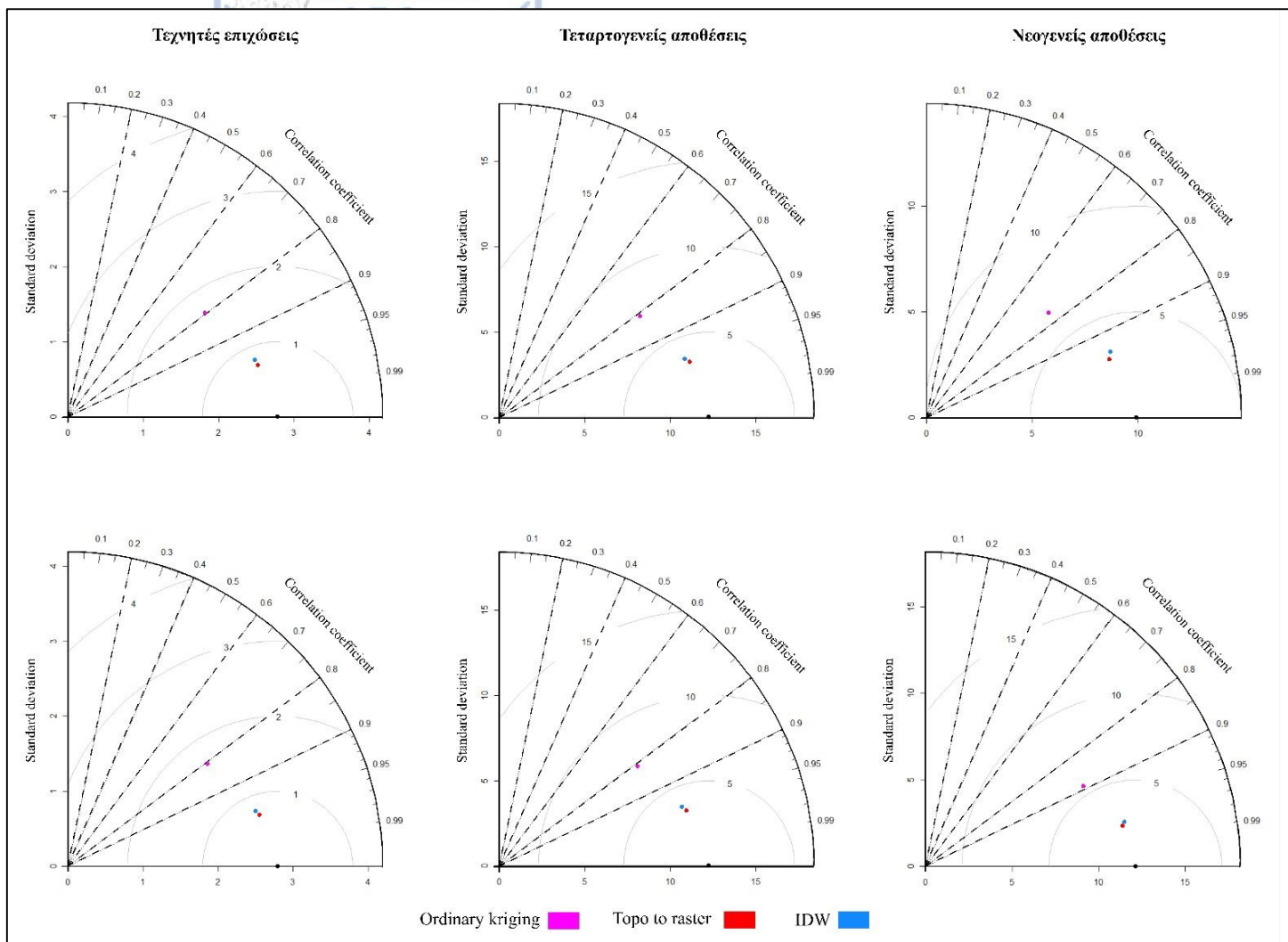
σ_y : η τυπική απόκλιση της εκτιμώμενης τιμής.

Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) δίνεται από τον τύπο 3.1

Στην παρούσα έρευνα, η δημιουργία των διαγραμμάτων Taylor πραγματοποιήθηκε μέσω της στατιστικής γλώσσας προγραμματισμού R (Hothorn and Everitt, 2014). Η συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού διατίθεται στο διαδίκτυο (<https://www.r-project.org/>), γεγονός που συνέβαλλε καθοριστικά στην ραγδαία ανάπτυξή της (R Core Team, 2016). Για την εφαρμογή και την επίλυση των στατιστικών μοντέλων εισάγονται πακέτα (packages), τα οποία επίσης διατίθενται ελεύθερα στους χρήστες. Με σκοπό τη δημιουργία των διαγραμμάτων Taylor χρησιμοποιήθηκαν τα πακέτα Metrics και plotrix.

Αναλύοντας κι αξιολογώντας τα διαγράμματα Taylor (Σχήμα 3.7) συμπεραίνεται ότι η μέθοδος χωρικής παρεμβολής Ordinary Kriging αναπαράγει ανεπαρκώς τα δεδομένα. Παρότι ο συντελεστής συσχέτισης υπερβαίνει το 0.75 σ' όλες τις περιπτώσεις, οι μεγάλες τιμές της τυπικής απόκλισης και του RMSE, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους, την καθιστούν μη αξιόπιστη. Αντιθέτως, η Topo to Raster και η IDW, προσεγγίζουν πολύ ικανοποιητικά τις εκτιμώμενες τιμές, εμφανίζοντας τους μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης. Παρόλα αυτά, η Topo to Raster υπερέχει των άλλων μεθόδων, καθώς παρουσιάζει τη μικρότερη τυπική απόκλιση, τη μικρότερη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) και το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης.

Από την παραπάνω αξιολόγηση και συνολική παρουσίαση των αποτελεσμάτων, είναι πρόδηλο το γεγονός ότι η πλέον μη αξιόπιστη μέθοδος είναι η Ordinary Kriging. Η αδυναμία της Ordinary Kriging να προσομοιώσει αποτελεσματικά τα βάθη και πάχη των εξεταζόμενων σχηματισμών της περιοχής έρευνας, καθιστά αναπόφευκτη την εφαρμογή μίας εκ των δύο άλλων μεθόδων με όσο το δυνατόν μικρότερες αβεβαιότητες. Συνεπώς, από τη στατιστική ανάλυση, καθώς και τη σύγκριση των διαγραμμάτων διασποράς των τριών μεθόδων χωρικής παρεμβολής συμπεραίνεται, ότι η Topo to Raster είναι η πλέον βέλτιστη μέθοδος, καθώς αναπαράγει πιο αποτελεσματικά, εν συγκρίσει των υπολοίπων μεθόδων, τις εκτιμώμενες τιμές σε σχέση με τις παρατηρούμενες.



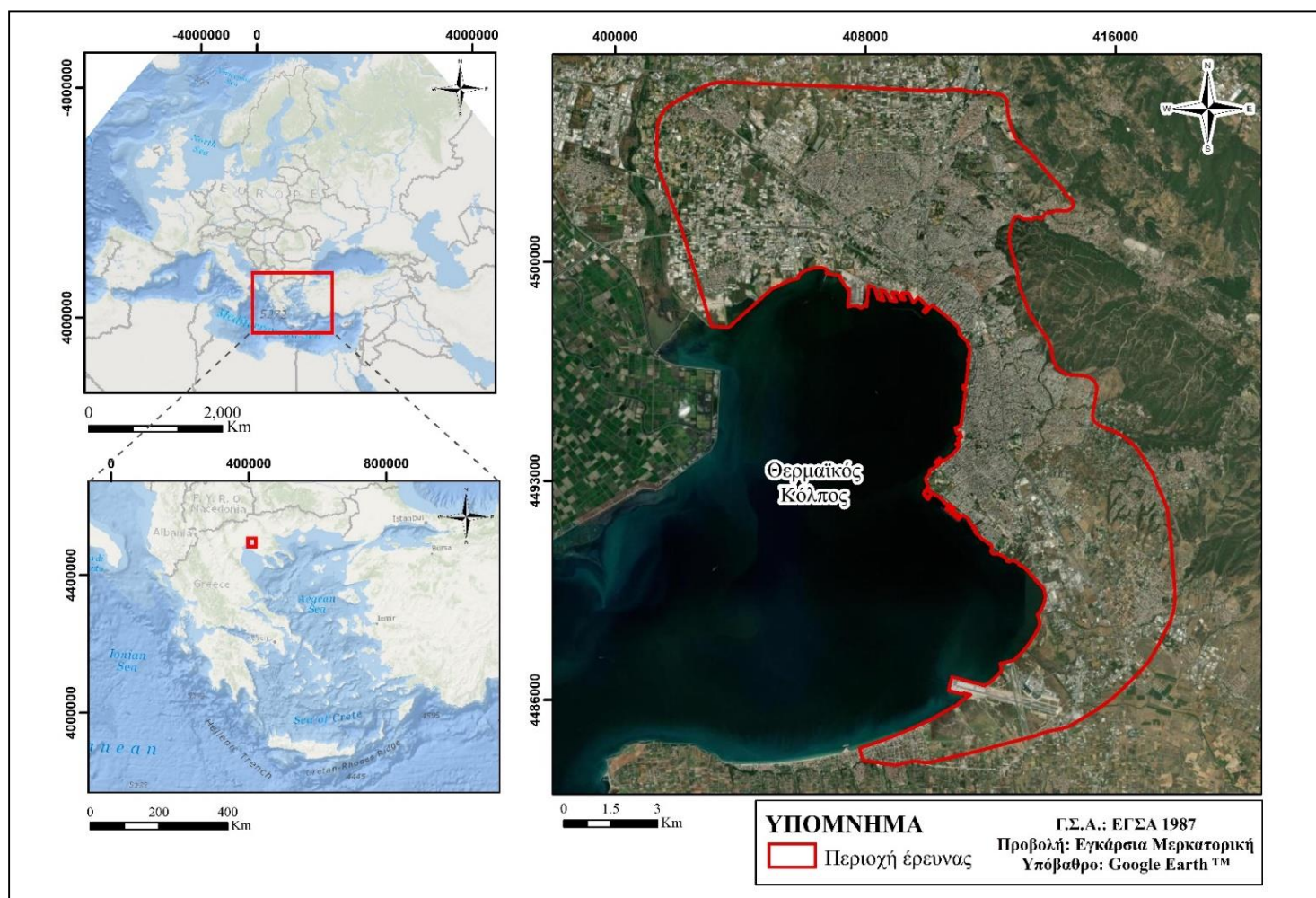
Σχήμα 3.7: Διαγράμματα Taylor στα οποία απεικονίζεται η στατιστική σύγκριση των μεθόδων παρεμβολής: Ordinary kriging (ροζ), IDW (μπλε) και Topo to raster (κόκκινο) για τα δεδομένα πάχους (1^η σειρά) και βάθους (2^η σειρά) των τεχνητών επιχώσεων και των σχηματισμών Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας

4. Γεωλογικές συνθήκες ευρύτερης περιοχής

4.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά

4.1.1 Γεωγραφική θέση

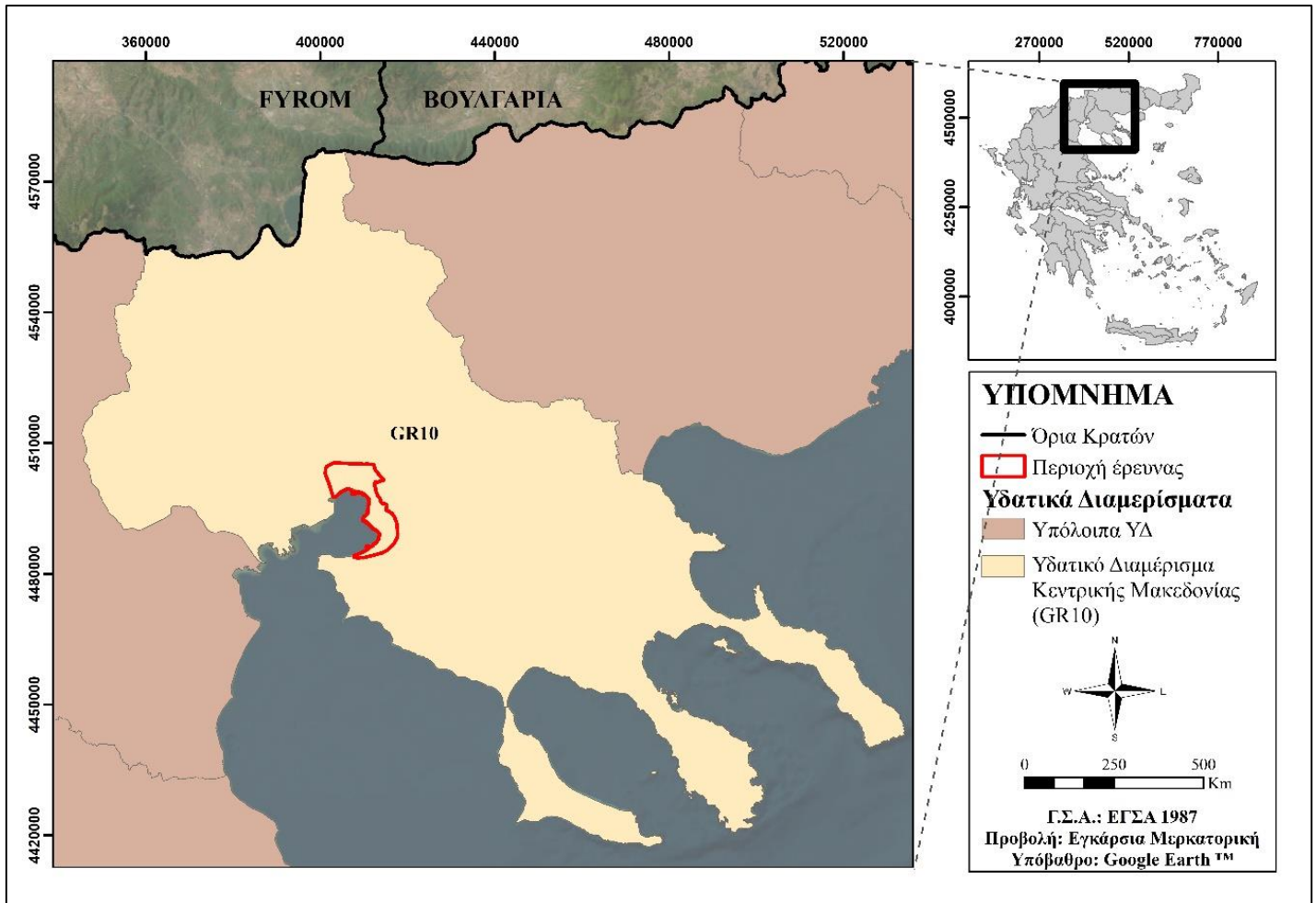
Η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης βρίσκεται στην κεντρική Μακεδονία, στη βόρεια Ελλάδα. Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει την αστική περιοχή μαζί με τα περίχωρα της Θεσσαλονίκης και καταλαμβάνει έκταση 144 km². Αυτή οριοθετείται βορειοανατολικά από την Πολίχνη, τις Συκιές, την Άνω Τούμπα και την Πυλαία, νότια και νοτιοανατολικά από την Περαιά και τη Θέρμη, δυτικά από την περιοχή Καλοχωρίου και την Ν. Μαγνησία, ενώ προς βόρεια από την Ευκαρπία (Σχήμα 4.1).



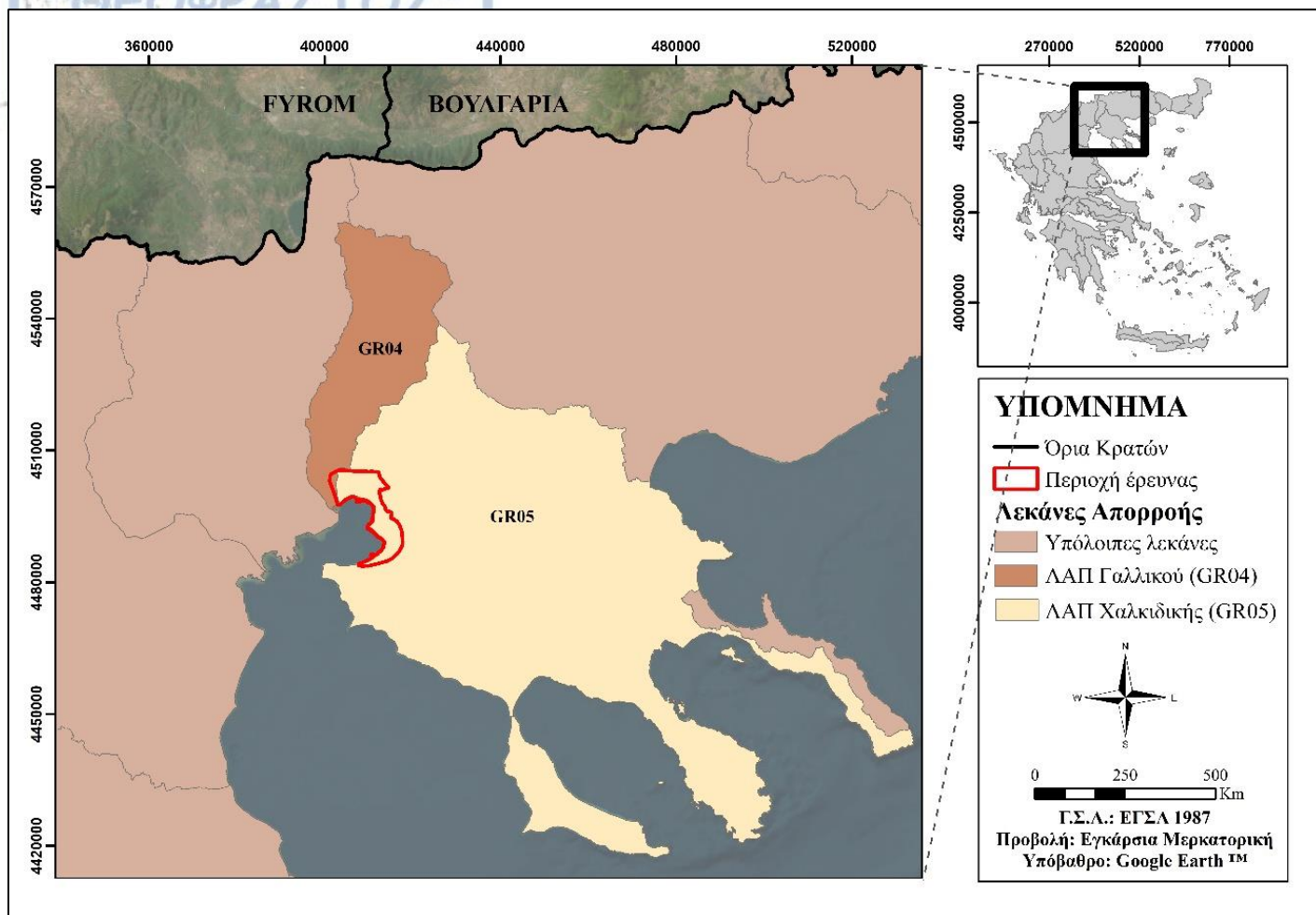
Σχήμα 4.1: Χάρτης απεικόνισης περιοχής έρευνας

Το Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) Κεντρικής Μακεδονίας (GR 10), στο οποίο εντάσσεται η περιοχή έρευνας (Σχήμα 4.2), έχει έκταση 10.163,38 km² και αποτελείται από τέσσερις (4) Λεκάνες Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ): Αξιού (GR03), Γαλλικού (GR04), Χαλκιδικής (GR05) και Άθω (GR43). Η περιοχή έρευνας ανήκει κατά κύριο λόγο στη ΛΑΠ Χαλκιδικής και οριακά στη ΛΑΠ Γαλλικού (Σχήμα 4.3).

Οριοθετείται από τα όρη Κερδύλια, Βερτίσκοι, Κρούσια και Μπέλες στα ανατολικά, το όρος Πάικο και την περιφερειακή τάφρο στα δυτικά και στα βόρεια από την οροσειρά Κερκίνη (Μπέλες) και τα σύνορα Ελλάδας – Δημοκρατία της Β. Μακεδονίας. Στα ανατολικά συνορεύει με το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας (GR 11) και στα δυτικά με το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας (GR 09), ενώ οι απορροές του καταλήγουν νότια-νοτιοανατολικά στο Θερμαϊκό και τους κόλπους μεταξύ των ακρωτηρίων της Χαλκιδικής (ΥΠΕΝ ΕΓΥ, 2017).



Σχήμα 4.2: Χάρτης απεικόνισης περιοχής έρευνας εντός του ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας



Σχήμα 4.3:Χάρτης απεικόνισης περιοχής έρευνας εντός των ΛΑΠ Γαλλικού και Χαλκιδικής

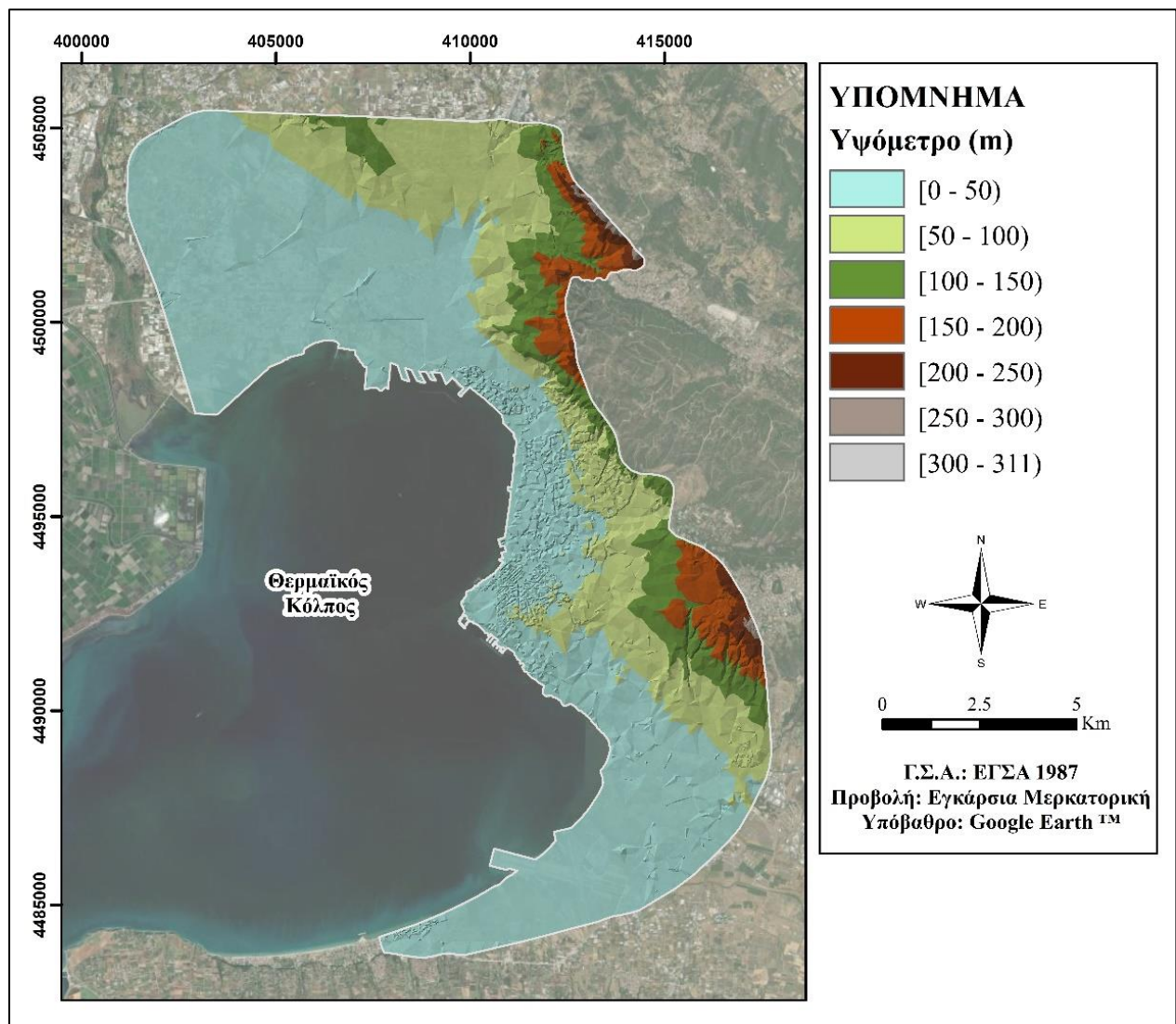
4.1.2 Μορφολογικές συνθήκες

Ο προσδιορισμός των μορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής έρευνας επιτεύχθηκε μέσω του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Digital Elevation Model/DEM), διαθέσιμο για τη χρονική περίοδο 2008 με χωρική ανάλυση 5 m, το οποίο παραχωρήθηκε από το Εθνικό Κτηματολόγιο, σε περιβάλλον GIS. Ως προβολικό σύστημα ορίστηκε το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ'87).

Η περιοχή έρευνας εκτείνεται γύρω από τον Θερμαϊκό κόλπο και παρουσιάζει τοπογραφικό ανάγλυφο που αρχίζει στην παραλιακή ζώνη από το επίπεδο της θάλασσας και καταλήγει στις βορειοανατολικές παρυφές της, όπου παρατηρούνται τα μεγαλύτερα υψόμετρα. Σύμφωνα με τον Dikau (1989), το ανάγλυφο ταξινομείται σε τέσσερις (4) κατηγορίες και χαρακτηρίζεται ανάλογα με τα υψόμετρα σε πεδινό, λοφώδες, ημιορεινό και ορεινό (Πίνακας 4.1). Επομένως, σύμφωνα με το Σχήμα 4.4 η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται ως πεδινή και λοφώδης καθώς το μέγιστο κι ελάχιστο υψόμετρο αυτής, είναι -0.35 m και 311 m, αντίστοιχα.

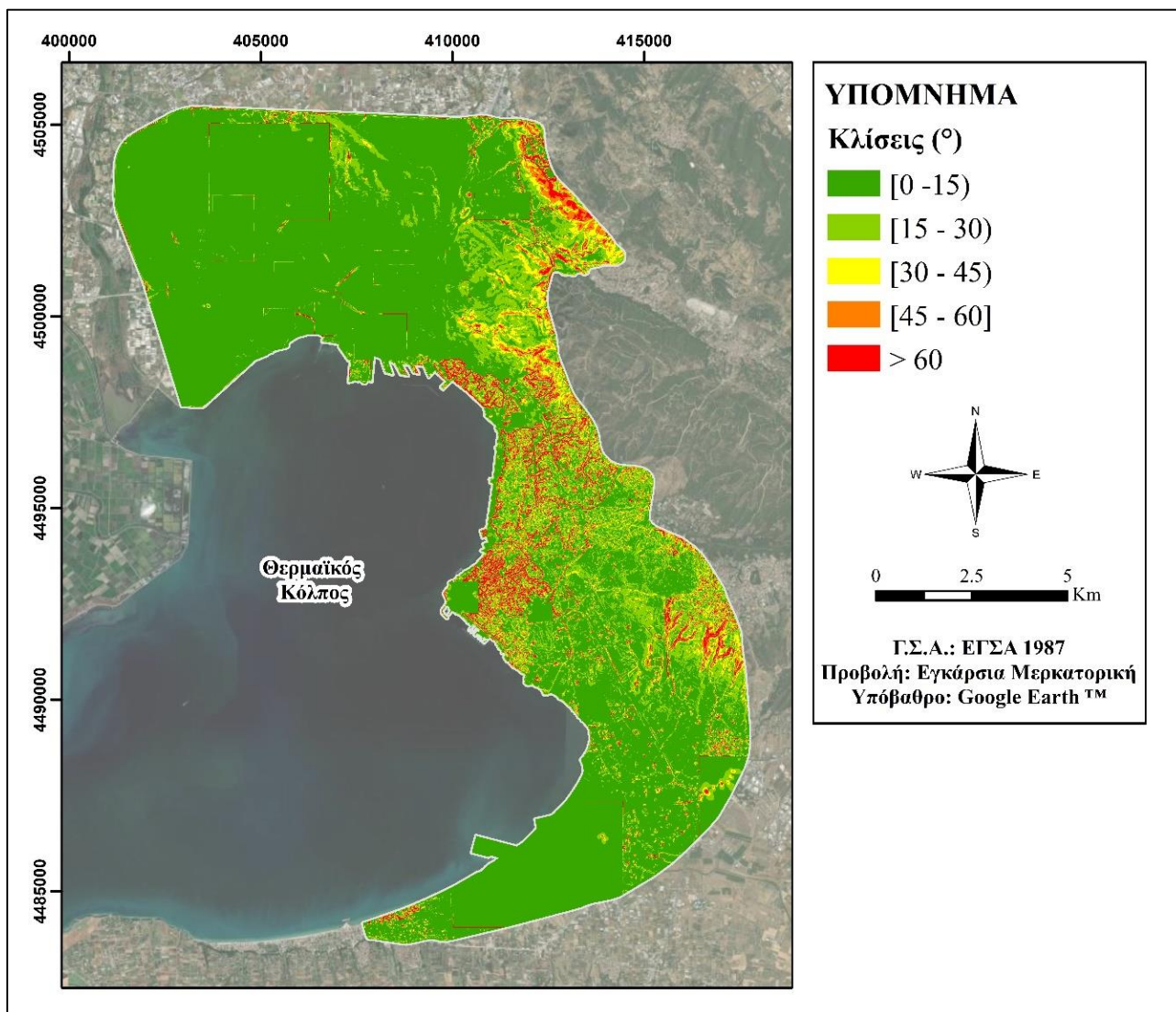
Πίνακας 4.1: Χαρακτηρισμός του αναγλύφου της περιοχής έρευνας, Dikau (1989)

Υψόμετρο (m)	Χαρακτηρισμός περιοχής
< 150	Πεδινή
150 – 600	Λοφώδης
600 – 900	Ημιορεινή
> 900	Ορεινή



Σχήμα 4.4: Μορφολογικός χάρτης υψομέτρων της περιοχής έρευνας

Σύμφωνα με τον χάρτη μορφολογικών κλίσεων (Σχήμα 4.5) που αποτυπώνει τις ποσοστιαίες κλίσεις, η κλίση αυξάνεται από το νότιο προς το βορειοανατολικό τμήμα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στο δυτικό και νότιο πεδινό τμήμα, η κλίση κυμαίνεται από 0° έως 15°. Τοπικά, γύρω από το ιστορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης παρατηρούνται υψηλές τιμές κλίσεων οι οποίες οφείλονται στην αποτύπωση των υφιστάμενων κτιρίων του πολεοδομικού ιστού της Θεσσαλονίκης. Γι' αυτό τον λόγο, δεν κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω ανάλυση του ανάγλυφου με τη δημιουργία του αντίστοιχου χάρτη προσανατολισμού κλιτύων.



Σχήμα 4.5: Χάρτης μορφολογικών κλίσεων της περιοχής έρευνας

4.1.3 Γεωλογικές συνθήκες

4.1.3.1 Γενικά

Η διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών είναι ιδιαίτερα σημαντική στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής και των στόχων που καλείται να εκπληρώσει. Μέχρι στιγμής, η εκτενής διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών της αστικής περιοχής της Θεσσαλονίκης είναι ιδιαίτερα περιορισμένη. Στο σύνολό τους, οι προϋπάρχουσες έρευνες είτε αναφέρονται σε βασικές ταξινομήσεις σχηματισμών για συγκεκριμένους σκοπούς, είτε εστιάζουν σε περιοχές μικρής κλίμακας με σκοπό τη διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών στο πλαίσιο κάποιου ερευνητικού προγράμματος. Αντίστοιχα, μικρός αριθμός επιστημονικών εργασιών αναφέρεται στην εκτενή διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών και στην ακριβή χαρτογράφηση, επιφανειακή και υπόγεια, αυτών των σχηματισμών που εμφανίζονται στη λεκάνη της Θεσσαλονίκης.

Η παρούσα διατριβή επιχειρεί να «καλύψει» τα κενά που υπάρχουν στη γεωλογική και τεχνικογεωλογική γνώση της περιοχής έρευνας. Αυτό επιτυγχάνεται με την αποτελεσματική διαχείριση ενός μεγάλου συνόλου δεδομένων, ώστε να προσδιοριστούν πλήρως οι γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές επικρατούσες συνθήκες τόσο επιφανειακά, όσο και με λεπτομέρεια σε βάθος.

Ειδικότερα, η παρούσα έρευνα αποσκοπεί στην πλήρη κατανόηση του γεωλογικού-τεχνικογεωλογικού προτύπου μέσω:

- v. της αναπαράστασης των εγγενών γεωλογικών διακυμάνσεων που σχετίζονται με το πάχος και βάθος των εδαφικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας
- vi. της λεπτομερούς διερεύνησης της ετερογένειας που παρουσιάζουν οι αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας ως προς τη σύσταση και λιθολογία τους
- vii. του καθορισμού των διαφοροποιήσεων που εμφανίζουν τα γεωυλικά ως προς την επικράτηση της κοκκομετρίας
- viii. της διερεύνησης της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των εξεταζόμενων γεωυλικών με το βάθος

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται τόσο για το σύνολο της περιοχής έρευνας, όσο και περιοχικά, σε διάφορες θέσεις της Θεσσαλονίκης, συμπληρώνοντας και ενισχύοντας η μία διαδικασία τα αποτελέσματα της άλλης. Το αντικείμενο της τεχνικογεωλογικής και γεωτεχνικής γνώσης γύρω από την περιοχή έρευνας, δεν αναπτύσσεται εδώ, καθώς αναλύεται διεξοδικά σε επόμενο υποκεφάλαιο. Εντούτοις, γίνεται αναφορά σ' αυτό, καθώς η διερεύνηση των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών πραγματοποιείται ως αδιάσπαστο σύνολο στην παρούσα διατριβή.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας, σύμφωνα με τα προϋπάρχοντα στοιχεία. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε εστιάζει στη συνεχή επισκόπηση διαθέσιμων βιβλιογραφικών στοιχείων σχετικών με το γεωλογικό, υδρογεωλογικό, γεωτεκτονικό και σεισμοτεκτονικό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής έρευνας, τα οποία παρουσιάζονται περιεκτικά στις επόμενες παραγράφους.

Για τη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης υπάρχουν οι διαθέσιμοι γεωολογικοί (Kockel et al. 1978a, 1978b) και νεοτεκτονικοί χάρτες (Ο.Α.Σ.Π., 1996) (Παράρτημα Ι). Ακόμη, η Ζερβοπούλου (2010), στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής της, χαρτογραφεί επιφανειακά τους γεωολογικούς σχηματισμούς, δίνοντας έμφαση στην αποτύπωση των νεοτεκτονικών ρηγμάτων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης με μορφοτεκτονικές μεθόδους και δεδομένα από ερευνητικές γεωτρήσεις. Οι Anastasiadis et al. (2001) στο πλαίσιο μικροζωνικής μελέτης δημιούργησαν έναν γεωτεχνικό χάρτη καθώς κι επιμέρους θεματικούς χάρτες που προτάθηκαν για την αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης οι οποίοι, προέκυψαν από αριθμό δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, επι τόπου και εργαστηριακών γεωτεχνικών δοκιμών, γεωφυσικών διασκοπήσεων, σεισμικής διάθλασης και μετρήσεις αντιστροφής επιφανειακών κυμάτων. Οι Apostolidis et al. (2004) διερεύνησαν την εκτίμηση της ταχύτητας (Vs) των εδαφικών σχηματισμών και της εδαφικής δομής με τη χρήση μικροθορύβου και της μεθόδου του Χωρικού Συντελεστή Αυτοσυσχέτισης (SPAC) στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Στην εργασία των Μανάκου και συν. (2008) παρουσιάζονται αποτελέσματα μετρήσεων μικροθορύβου κυκλικής διάταξης οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στην ανατολική και δυτική Θεσσαλονίκη. Σκοπός των μετρήσεων είναι ο προσδιορισμός εδαφικής δομής κατάλληλης για την μελέτη της σεισμικής απόκρισης. Οι Raptakis και Makra (2010) ασχολήθηκαν με τον καθορισμό των παραμέτρων των ιζημάτων στο δυτικό τμήμα της Θεσσαλονίκης, οι οποίες είναι χρήσιμες για την πρόβλεψη ισχυρών εδαφικών κινήσεων.

Πλήθος ερευνητικών εργασιών έχουν πραγματοποιηθεί με αντικείμενο τη σεισμικότητα της Θεσσαλονίκης και της ευρύτερης περιοχής. Ο Sherif (1973) πραγματοποίησε, στο πλαίσιο προγράμματος της Unesco/United Nations Development (UNDP), μελέτη σεισμικότητας στην περιοχή των Βαλκανίων επιδιώκοντας τη μικροζωνική μελέτη της πόλης της Θεσσαλονίκης. Οι Chávez-García et al. (1990) διερεύνησαν την επίδραση των τοπικών γεωλογικών συνθηκών στην ενίσχυση του σεισμικού κραδασμού του εδάφους της ευρύτερη περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης. Ακόμη, οι Lachet et al. (1996) ασχολήθηκαν με την καταγραφή των σεισμών και του περιβαλλοντικού θορύβου σε περιοχές της Θεσσαλονίκης με διαφορετικά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Οι Triantafyllidis et al. (2004) στο πλαίσιο μελέτης σεισμικής απόκρισης της Θεσσαλονίκης εκτίμησαν τη θεωρητική απόκριση της περιοχής κατά μήκος επτά διατομών. Οι Raptakis et al. (2004) δημιούργησαν ένα μοντέλο της γεωλογικής δομής της Θεσσαλονίκης χρησιμοποιώντας τα

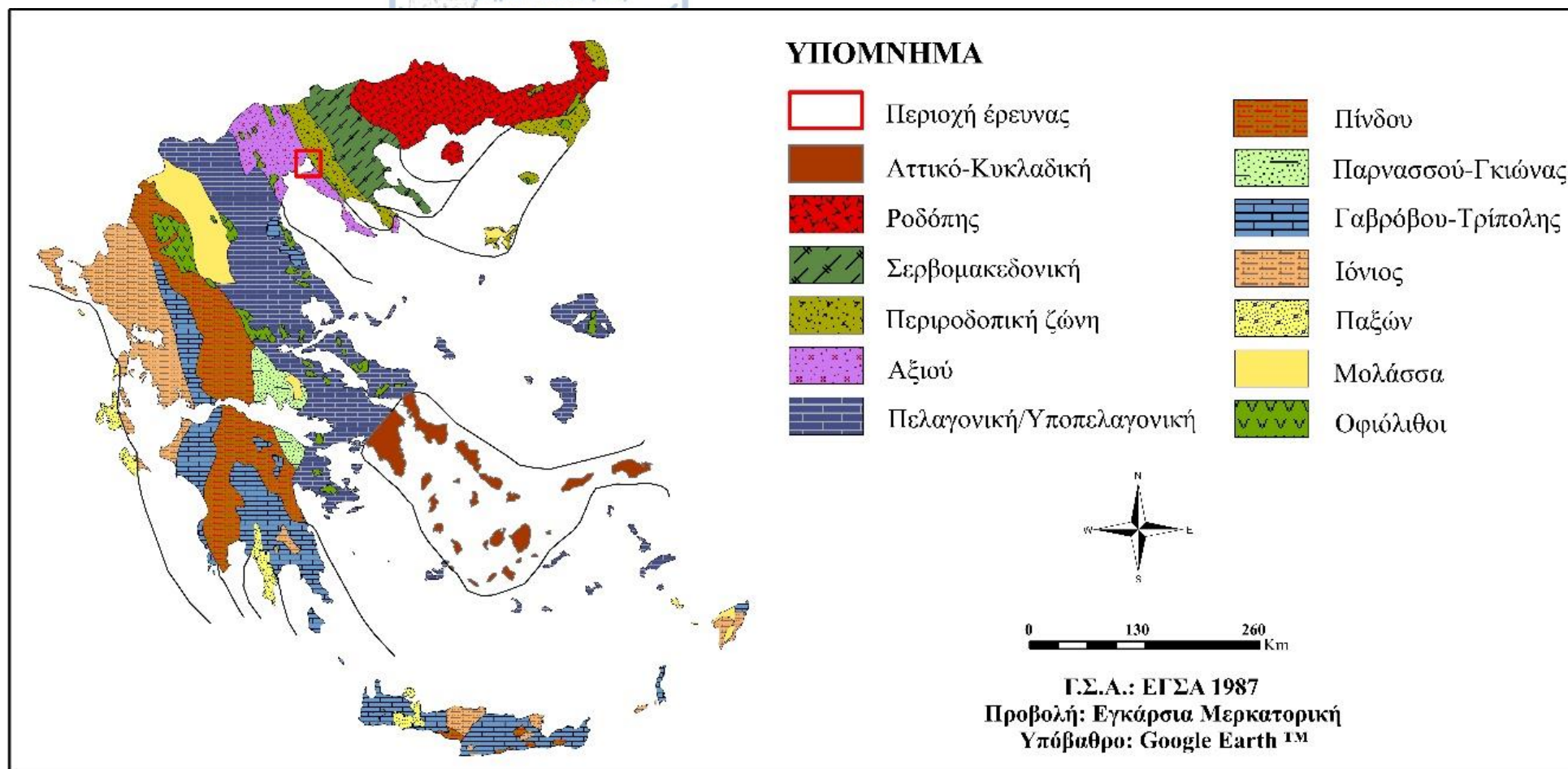
αποτελέσματα εμπερικών και θεωρητικών προσεγγίσεων για την αξιολόγηση της σεισμικής απόκρισης της περιοχής. Επιπλέον, οι Smerzini et al. (2016) αξιολόγησαν τη σεισμική εδαφική κίνηση στην αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης με τη χρήση τρισδιάστατης αριθμητικής προσέγγισης φασματικών στοιχείων. Οι Panou et al. (2005) σε μία προσπάθεια μελέτης των τοπικών εδαφικών συνθηκών στο ιστορικό κέντρο της πόλης με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, εφάρμοσαν σύγκριση μεταξύ του φασματικού λόγου H/V του περιβαλλοντικού θορύβου με γεωλογικά και γεωτεχνικά δεδομένα της περιοχής έρευνας. Ακόμη, αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής του Ανθυμίδη (2020) ήταν η αναγνώριση των κύριων επιφανειών ασυνέχειας της εδαφικής δομής, καθώς και της χωρικής κατανομής της V_s στο υπέδαφος του κεντρικού τμήματος της πόλης της Θεσσαλονίκης. Τέλος, οι Raptakis et al. (2023) προσδιόρισαν τα χαρακτηριστικά της υπεδάφιας δομής και σεισμικής απόκρισης με καταγραφές σεισμών και θορύβου, στην παράκτια ζώνη της ανατολικής Θεσσαλονίκης.

Την τελευταία εικοσαετία, υλοποιήθηκε ένας σημαντικός αριθμός ερευνητικών προγραμμάτων, ευρωπαϊκών και μη, με σκοπό τη διεύρυνση των γνώσεων γύρω από τη σεισμική επικινδυνότητα της Θεσσαλονίκης. Αντικείμενο της μελέτης των Πιτιλάκης και συν. (2004) ήταν η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας και η μελέτη της σεισμικής απόκρισης των εδαφικών σχηματισμών, για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης κατά μήκος του άξονα χάραξης του Μετρό Θεσσαλονίκης. Στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «SRM-LIFE» (Παπαϊωάννου, 2004) εκπονήθηκε ειδική μελέτη για τη στοχαστική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της Θεσσαλονίκης. Αντίστοιχη περίοδο πραγματοποιήθηκε το ερευνητικό πρόγραμμα «SEISIMPACT-THESS» (Κουτουπές et al. 2004, Kiratzi et al. 2004). Το έργο αφορούσε στην ανάπτυξη ενός πληροφοριακού συστήματος ανοικτής αρχιτεκτονικής για την καταγραφή και διαχείριση των βλαβών από σεισμό στα κτίρια για οποιοδήποτε συμβάν σε οποιοδήποτε μέρος της Ελλάδας, με πιλοτική εφαρμογή τη Θεσσαλονίκη. Οι Ζερβοπούλου και Παυλίδης (2005) μέσα από τη μελέτη της μορφολογίας, του υδρογραφικού δικτύου και των μορφοτεκτονικών δεικτών, εντόπισαν, χαρτογράφησαν κι εξέτασαν τρία νεοτεκτονικά ρήγματα με σκοπό την εκτίμηση του φυσικού κινδύνου των σεισμών αλλά και της σεισμικής τρωτότητας για το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Οι Καραμήτρου et al. (2008) κατασκεύασαν χάρτες κατανομής παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης (μέγιστων εδαφικών και μέγιστων φασματικών επιταχύνσεων) που αντιστοιχούν σε σενάρια σεισμών μεσαίου μεγέθους τριών ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Πρόσθετες δημοσιεύσεις για τη μελέτη της σεισμικής επικινδυνότητας συγκεκριμένων περιοχών της Θεσσαλονίκης έχουν διεξαχθεί από τους Pitilakis et al (2016), Bindi et al. (2015), Karapetrou et al. (2014) και Roumelioti et al. (2015).

Τέλος, αντικείμενο διερεύνησης πληθώρας επιστημονικών άρθρων και ερευνητικών εργασιών αποτελεί ο προσδιορισμός της μορφολογίας, του υδρογραφικού δικτύου, αλλά και ο περιοχικός εντοπισμός των υπόγειων υδάτων στην περιοχή έρευνας. Ο Σωτηριάδης (2002) πραγματοποίησε έρευνα που αφορά στην επέμβαση του ανθρώπου στην μορφολογία της ανατολικής Θεσσαλονίκης, λόγω των δυσμενών συνεπειών των έντονων καιρικών φαινομένων στην περιοχή. Οι Αστάρας και Οικονομίδης (2002) μελέτησαν το υδρογραφικό δίκτυο του Δενδροπόταμου, με την βοήθεια δορυφορικών εικόνων με σκοπό τον εντοπισμό κλάδων του υδρογραφικού δικτύου οι οποίοι δεν ήταν καταγεγραμμένοι σε κανένα τοπογραφικό χάρτη έως τότε. Ο Μανάκος (2002α, 2002β, 2002γ, 2002δ) στο πλαίσιο εκπόνησης γεωλογικών-υδρογεωλογικών μελετών για το ΙΓΜΕ, ασχολήθηκε με τον εντοπισμό και την αξιοποίηση των υπόγειων νερών για αρδευτική χρήση, σε διάφορους δήμους του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης.

4.1.3.2 Λιθολογικές ενότητες

Γεωτεκτονικά, η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, εντάσσεται στις ζώνες Αξιού και Περιοδοπικής (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.6: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών στο οποίο παρουσιάζεται η ευρύτερη περιοχή έρευνας (τροποποιημένο από Mountrakis et al., 1983)

Στη συνέχεια, περιγράφονται οι γεωτεκτονικές ζώνες, στις οποίες εντάσσεται η ευρύτερη περιοχή έρευνας.

Ζώνη Αξιού

Η ζώνη Αξιού ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες. Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της ζώνης είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες που έχουν εξάπλωση σε όλο το χώρο της. Θεωρείται ως μία ενιαία ζώνη, που έχει χαρακτήρα παλιάς ωκεάνιας περιοχής. Χαρακτηρίζεται επίσης, από την παρουσία πολλών συνεχόμενων τεκτονικών λεπίων, καθώς και από ετερογενή σύσταση. Γι' αυτό το λόγο διαιρείται περαιτέρω στις υποζώνες Παιονίας, Πάϊκου και Αλμωπίας (από τα ανατολικά προς τα δυτικά). Η πεδινή περιοχή γύρω από τον κόλπο της Θεσσαλονίκης και τα υψώματα τα οποία βρίσκονται ανατολικά της πόλης με κατεύθυνση ΒΒΔ/κή - ΝΝΑ/κή αποτελούν τμήμα του κλάδου της Δοϊράνης μέσα στη μάζα της γεωτεκτονικής ζώνης του Αξιού, όπως καθορίστηκε από τον Osswald (1983), ή ανήκουν στη υποζώνη της Παιονίας, όπως χαρακτηρίστηκε το ανατολικό τμήμα της ζώνης του Αξιού από τον Mercier (1966). Κύρια χαρακτηριστικά πετρώματα της Παιονίας είναι οι οφειόλιθοι, που καθορίζουν και τον ωκεάνιο χαρακτήρα της. Αυτά τα οφειολιθικά πετρώματα συνοδεύονται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας.

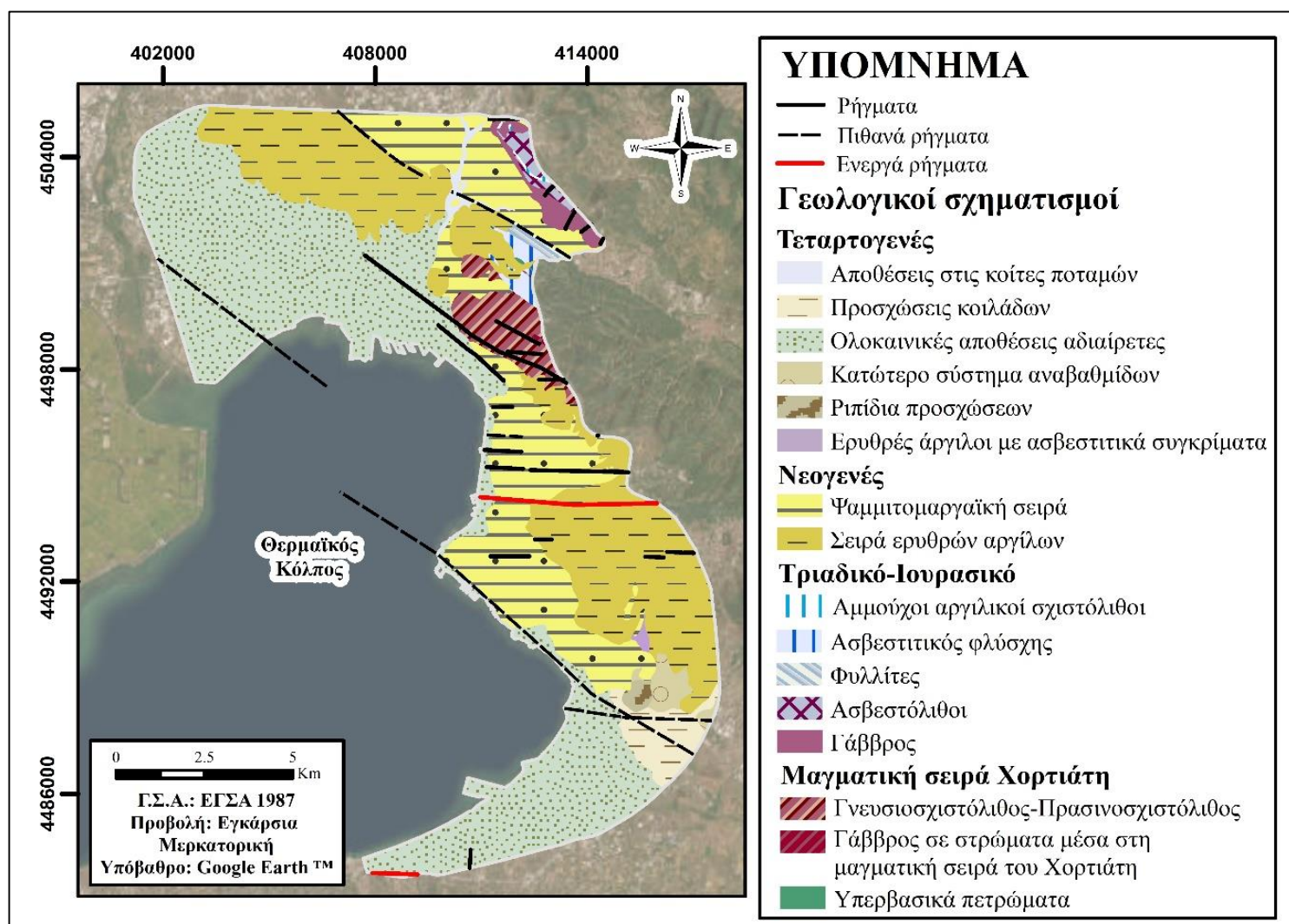
Περιοδοπική Ζώνη

Η Περιοδοπική ζώνη ανήκει επίσης στις Εσωτερικές Ελληνίδες και αποτελούσε την ηπειρωτική κατωφέρεια της Ελληνικής Ενδοχώρας και ειδικότερα της Σερβομακεδονικής μάζας προς την ωκεάνια περιοχή της ζώνης του Αξιού. Η ανάδυση αυτής της ζώνης έγινε στη διάρκεια του Ιουρασικού. Οι τρεις βασικές ενότητες που συγκροτούν την Περιοδοπική, από τα ανατολικά προς τα δυτικά, είναι: η ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, η ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα και η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη. Αυτή που εμφανίζεται στην περιοχή έρευνας, είναι η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη.

Αναφορικά με το ερώτημα που υπάρχει σχετικά με το που βρίσκεται ακριβώς το όριο μεταξύ των δύο ζωνών, λαμβάνεται υπόψη η θεωρία των van Hinsbergen et al. (2020). Σύμφωνα μ' αυτήν, η Περιοδοπική ζώνη αποτελεί μία τάφρο, περιφερειακά της ηπειρωτικής μάζας, η οποία περιβάλλει τη Σερβομακεδονική ζώνη. Μικρές διαφορές εντοπίζονται από τους Μουντράκης (2010) και Kiliyas (2021) κατά τους οποίους η Περιοδοπική ζώνη υφίσταται ως ξεχωριστή ζώνη και αποτελεί το ηπειρωτικό περιθώριο της σύγκλισης της ωκεάνιας περιοχής της ζώνης Αξιού κάτω από την ηπειρωτική πλάκα της Σερβομακεδονικής. Σύμφωνα με τον Παπανικολάου (2015), το ηπειρωτικό περιθώριο συμπεριλαμβάνεται στη Σερβομακεδονική μάζα και συνεπώς οι σχηματισμοί της Περιοδοπικής δε συγκροτούν ξεχωριστή ζώνη.

Τα γεωλογικά και στρωματογραφικά δεδομένα, που παρουσιάζονται ακολούθως, προέρχονται τόσο από τη βιβλιογραφική επισκόπηση, όσο και από τους διαθέσιμους γεωλογικούς χάρτες (φύλλα Θεσσαλονίκης και Θέρμης, κλίμακας 1:50.000) (Παράρτημα Ι) της ευρύτερης υπό έρευνα περιοχής (Kockel et al. 1978a, 1978b).

Στο Σχήμα 4.7 απεικονίζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας. Το πεδινό δυτικό, νότιο, κεντρικό τμήμα του ιστορικού κέντρου καθώς και το σύνολο της παράκτιας ζώνης συγκροτείται από Ολοκαινικές αποθέσεις, Τεταρτογενούς ηλικίας. Το βόρειο και ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας αποτελείται από τη «ψαμμιτομαργαϊκή σειρά», καθώς και από τη «σειρά ερυθρών αργίλων» Νεογενούς ηλικίας. Στο βορειοανατολικό τμήμα συναντώνται κυρίως οι σχηματισμοί της μαγματικής σειράς Χορτιάτη.



Σχήμα 4.7: Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας κλίμακας 1:50.000 (τροποποιημένος από Kockel et al. 1978a, 1978b)

Συνολικά, εντοπίζονται οι ακόλουθοι σχηματισμοί, από τους νεότερους προς τους παλαιότερους (Πίνακας 4.2):

Πίνακας 4.2: Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής έρευνας

Ηλικία	Σχηματισμός	Συμβολισμός
Τεταρτογενές (Ολόκαινο)	Αποθέσεις στις κοίτες ποταμών	H.l.s
	Προσχώσεις κοιλάδων	H.l
	Ολοκαινικές αποθέσεις αδιαίρετες	H
Τεταρτογενές (Πλειστόκαινο)	Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων	Pt.t3.l
	Ριπίδια προσχώσεων	Q.cs1
	Ερυθρές άργιλοι με ασβεστιτικά συγκρίματα	Pt.l
Νεογενές	Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά	M4-Pli.st,m
	Σειρά ερυθρών αργίλων	M4-Pli.l
Μεσοζωικό (Τριαδικό-Ιουρασικό)	Αμμούχοι αργιλοκοί σχιστόλιθοι	Ji-m?ag
	Ασβεστιτικός φλύσχης	T-Jm.st
	Φυλλίτες	T-Jm.ph
	Ασβεστόλιθοι	Tm-s.k
	Γάββρος	θ2
Μεσοζωικό (Μαγματική σειρά Χορτιάτη)	Λευκοκρατικός αλβιτικός-σερικιτικός-μικροκλινικός γνεύσιος	sch.gn
	Επιγνεύσιοι	sch.gn
	Πρασινοσχιστόλιθοι	sch.gn
	Γάββρος σε στρώματα μέσα στη μαγματική σειρά του Χορτιάτη	θ1-sch,gn
	Υπερβασικά πετρώματα	π.ο

Ακολουθεί η περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών (από τα φύλλα του ΙΓΜΕ 1:50000 Θεσσαλονίκης και Θέρμης) από τον νεότερο στον παλαιότερο:

- Τεταρτογενές
 - Αποθέσεις στις κοίτες ποταμών (H.l.s): Αμμούχες άργιλοι και ψηφίδες
 - Προσχώσεις κοιλάδων (H.l): Αμμούχες άργιλοι
 - Ολοκαινικές αποθέσεις αδιαίρετες (H): Παράκτιες αποθέσεις (άμμοι, σύναγμα), προσχώσεις πεδιάδων, ερυθρές άργιλοι με ασβεστιτικά συγκρίματα. Στη βάση τους επικρατούν κροκαλοπαγή.
 - Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων (Pt.t3.l): Χαλίκια και άμμος κάτω από αργιλώδες κάλυμμα της αναβαθμίδας.
 - Ριπίδια προσχώσεων (Q.cs1): Ριπίδια προσχώσεων, παλαιά
 - Ερυθρές άργιλοι με ασβεστιτικά συγκρίματα (Pt.l): Στη βάση τους επικρατούν κροκαλοπαγή

- Νεογενές
 - Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά (M4-Pli.st,m): Ψαμμίτες εύθρυπτοι έως πολύ συμπαγείς, τοπικά μικροκροκαλοπαγή με διασταυρωμένη στρώση. Κατά θέσεις υπάρχουν ορίζοντες από μάργες.
 - Σειρά ερυθρών αργίλων (M4-Pli.l): Ερυθρές έως κεραμόχρωμες, ιλυώδεις άργιλοι, με μαρμαρυγία και ασβεστιτικά συγκρίματα
- Ιουρασικό-Τριαδικό
 - Αμμούχοι αργιλικόι σχιστόλιθοι (Ji-m?ag): λαδοπράσινοι, λεπτόκοκκοι, λεπτοστρωματώδεις ψαμμίτες και βαθυκόκκινοι αργιλικόι σχιστόλιθοι, με ενστρώσεις από μαύρους, λεπτοστρωματώδεις, παχείς ορίζοντες πυριτολίθων και φακούς και στρώματα σερικιτιωμένου και χλωριτιωμένου δολερίτη
 - Ασβεστιτικός φλύσχης (T-Jm.st): εναλλαγές κλαστικών ή ψαμμιτικών ασβεστολίθων ή καστανότεφρων, σιδηρούχων, ασβεστιτικών ψαμμιτών, με κιτρινωπούς έως μαύρους αργιλικούς σχιστόλιθους. Παρεμβάλλονται ολισθόλιθοι από ανοικτότεφρο, στρωματώδη, συμπαγή, καθαρό ασβεστόλιθο, λατυποπαγήασβεστόλιθο και θραύσματα ασβεστολίθων με φύκη και πυριτόλιθους.
 - Φυλλίτες (T-Jm.ph):
 - Μαύροι, με σποραδικές παρεμβολές ψαμμιτικών ασβεστολίθων ή ασβεστιτικών ψαμμιτών.
 - Ασβεστόλιθοι (Tm-s.k): μαύροι, μικριτικοί, λεπτοστρωματώδεις με ανακρυσταλλωμένα υπολείμματα τριματοφόρων
 - Γάββρος (θ2): αδρόκοκκος, τελείως ουραλιτιωμένος και σωσσυριτιωμένος (διοψιδικός πυρόξενος, εξαλλοιωμένος σε βιοτίτη και ακτινολιθική κεροσίλβη, πλαγιόκλαστα, βιοτίτης, επίδοτο και επουσιώδη ορυκτά). Επίσης υπάρχουν λεπτόκοκκοι δολερίτες και ισχυρά εξαλλοιωμένοι και λατυποποιημένοι γάββροι χωρίς ορατή σχιστότητα.
- Μαγματική σειρά Χορτιάτη
 - Λευκοκρατικός αλβιτικός-σερικιτικός-μικροκλινικός γνεύσιος (sch.gn): (αλβίτης, μικροκλινής μοσχοβίτης και επουσιώδη ορυκτά), με γνευσιακό ή οφθαλμοειδή ιστό, σε ενστρώσεις μέσα στα μεταίζηματα
 - Επιγνεύσιοι (sch.gn): ανοικτοκάστανοι ή πρασινωποί με καλή στρώση, ομοιογενείς με γνευσιακό ή οφθαλμοειδή ιστό και πράσινα, στρεβλωμένα, χλωριτικά στρώματα. Ακτινολιθικοί-επιδοιτικοί-χλωριτικοί επιγνεύσιοι, σερικιτικοί-χλωριτικοί επιγνεύσιοι, κεροσιλβικοί-βιοιτικοί-μοσχοβιτικοί επιγνεύσιοι, μοσχοβιτικοί-χλωριτικοί-επιδοιτικοί

επιγνέυσιοι (υπολείμματα πλαγιοκλάστων μετασχηματισμένα σε αλβίτη και νεοσχηματισμένοι χλωρίτης, σερικήτης και ακτινόλιθος)

- Πρασινοςχιστόλιθοι (sch.gn): σκοτεινοπράσινοι και καστανωποί, λεπτόκοκκοι σερικιτικοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι, χλωριτικοί-μοσχοβιτικοί-βιοτιτικοί σχιστόλιθοι, μοσχοβιτικοί-χλωριτικοί-αλμανδινικοί σχιστόλιθοι, μοσχοβιτικοί-χλωριτικοί-επιδοτικοί-αλμανδινικοί σχιστόλιθοι, επιδοτικοί και ακτινολιθικοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι και λεπτόκοκκος χλωριτικός-επιδοτικός-σερικιτικός-αλβιτικός γνέυσιος.
- Γάββρος σε στρώματα μέσα στη μαγματική σειρά του Χορτιάτη (θ1-sch.gn): Ανατολικά της Θεσσαλονίκης. Είναι ουραλιτιωμένος, σωσσυριτιωμένος και μερικά εξαλλοιωμένος σε ταλκικό σχιστόλιθο.
- Υπερβασικά πετρώματα (π.ο): πλήρως σερπεντινωμένα, με ενστρώσεις από τάλκη και φλέβες από χρυσοτιλικό αμίαντο.

4.1.4 Τεκτονική - Νεοτεκτονική - Σεισμική Επικινδυνότητα

Η Θεσσαλονίκη εκτείνεται μεταξύ των ζωνών Αξιού και Περιοδοπικής με την τελευταία να συνορεύει με τη Σερβομακεδονική μάζα, εμφανίσεις της οποίας εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή. Αποτελεί μία από τις πλέον τεκτονικά ενεργές περιοχές της Ευρώπης (Papazachos et al., 1979). Η λεκάνη της Θεσσαλονίκης αποτελεί μια Τεταρτογενή δομή με έντονη και μεταβαλλόμενη τεκτονική κίνηση και δράση κατά το Νεογενές και το Τεταρτογενές. Σχεδόν κατακόρυφα ρήγματα εμφανίζονται κατά μήκος υποβύθισης του ωκεανού του Βαρδάρη υπό την ηπειρωτική Σερβομακεδονική μάζα (κατά το Ιουρασικό) (Mercier, 1966).

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας διαμορφώνεται γεωμορφολογικά από έντονες εφελκυστικές τάσεις που δημιουργούν μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα και λεκάνες (Αξιού, Ανθεμούντα, Μυγδονίας) και δραστηριοποιούνται από το μέσο-ανώτερο Μειόκαινο έως σήμερα. Σταδιακά, οι εφελκυστικές τάσεις εξελίσσονται από ΒΔ-ΑΝΑ κατά το Μειόκαινο, σε ΒΑ-ΝΔ κατά το Πλειόκαινο - κατώτερο Πλειστόκαινο και Β-Ν με μικρές αποκλίσεις από το μέσο Πλειστόκαινο έως σήμερα. Αντίστοιχα, η δημιουργία και δράση των ρηγμάτων εξελίσσεται από ΒΑ-ΝΔ, κανονικά με αριστερόστροφη συνιστώσα, σε ΒΔ-ΝΑ, κανονικά και Α-Δ αλλά και με επαναδραστηριοποίηση προϋπάρχοντων δομών οι οποίες εμφανίζουν οριζόντια συνιστώσα (Μουντράκης et al., 1997; Mercier et al., 1989; Pavlidis and Soulakelis, 1990; Tranos et al., 2003, Pavlides et al., 1988, Παυλίδης, 2004).

Οι κυριότερες ρηξιγενείς δομές που εμφανίζονται στην πόλη της Θεσσαλονίκης έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και όπως αναφέρεται παραπάνω συνδέονται με ρήγματα που δραστηριοποιούνται κατά το Πλειόκαινο – κατώτερο Πλειστόκαινο (Μουντράκης et al., 1997; Mercier et al., 1989; Pavlidis

and Soulakelis, 1990; Tranos et al., 2003). Οι εφελκυστικές δομές με διευθύνσεις ΔΒΔ-ΑΝΑ είναι παλαιότερες κι έδρασαν κατά το ανώτερο Μειόκαινο (Μουντράκης et al., 1997; Mercier et al., 1989), ενώ τα κανονικά ρήγματα με διεύθυνση Β-Ν που παρατηρούνται θεωρούνται μη ενεργά (Pavlides et al., 1988).

Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει ένα μικρό τμήμα των ενεργών ρηγμάτων της περιοχής καθώς και έναν σημαντικό αριθμό πιθανά ενεργών ρηγμάτων. Τα καταγεγραμμένα ως ενεργά ρήγματα είναι:

- αυτό του Ανθεμούντα στον νοτιότερο τμήμα της περιοχής και
- το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος, ανατολικά του ιστορικού κέντρου.

Αμφότερα ακολουθούν ανάπτυξη Α-Δ με αναμενόμενα μέγιστα μεγέθη, σε περίπτωση συνολικής ενεργοποίησης των ορατών ρηγμάτων, με μέγιστη σεισμική δόνηση μεγέθους Μ 6.9 και Μ 6.0 αντίστοιχα.

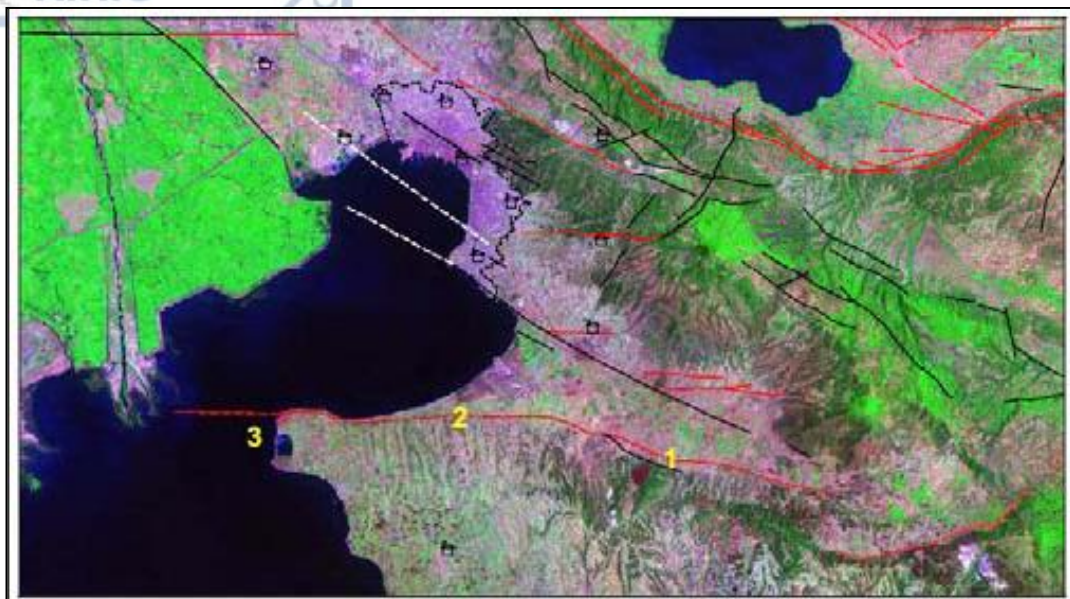
Στην κατηγορία των πιθανών ενεργών ρηγμάτων κατατάσσονται ρήγματα δύο γενικών διευθύνσεων ΒΔ-ΝΑ και Α-Δ. Τα ρήγματα ΒΔ-ΝΑ ανάπτυξης που περιλαμβάνονται στην υπό μελέτη περιοχή είναι του Καλοχωρίου, Ασβεστοχωρίου και της Καλαμαριάς. Τα αναμενόμενα μέγιστα μεγέθη ως προς τις σεισμικές δονήσεις, σε περίπτωση συνολικής ενεργοποίησης των ορατών ρηγμάτων Καλοχωρίου και Ασβεστοχωρίου, είναι της τάξης των Μ 6.0 και Μ 6.1 αντίστοιχα (Παυλίδης, 2004). Πιθανά ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ που περιλαμβάνονται στην περιοχή μελέτης είναι το ρήγμα της Θέρμης μέγιστη σεισμική δόνηση μεγέθους Μ 6.0 (Παυλίδης, 2004) και της Ανάληψης για το οποίο δεν υπάρχουν αντίστοιχες μελέτες.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται κάποια περαιτέρω στοιχεία των ρηγμάτων που βρίσκονται στην περιοχή έρευνας και περιλαμβάνονται στον χάρτη του σχήματος 4.19. Η κατάταξη για τον χαρακτηρισμό των ρηγμάτων σε ενεργά, μη ενεργά και πιθανά, βασίστηκε κυρίως σε στοιχεία που προέρχονται από βιβλιογραφικά γεωλογικά-τεκτονικά στοιχεία και δεδομένα της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης (Παυλίδης, 2004).

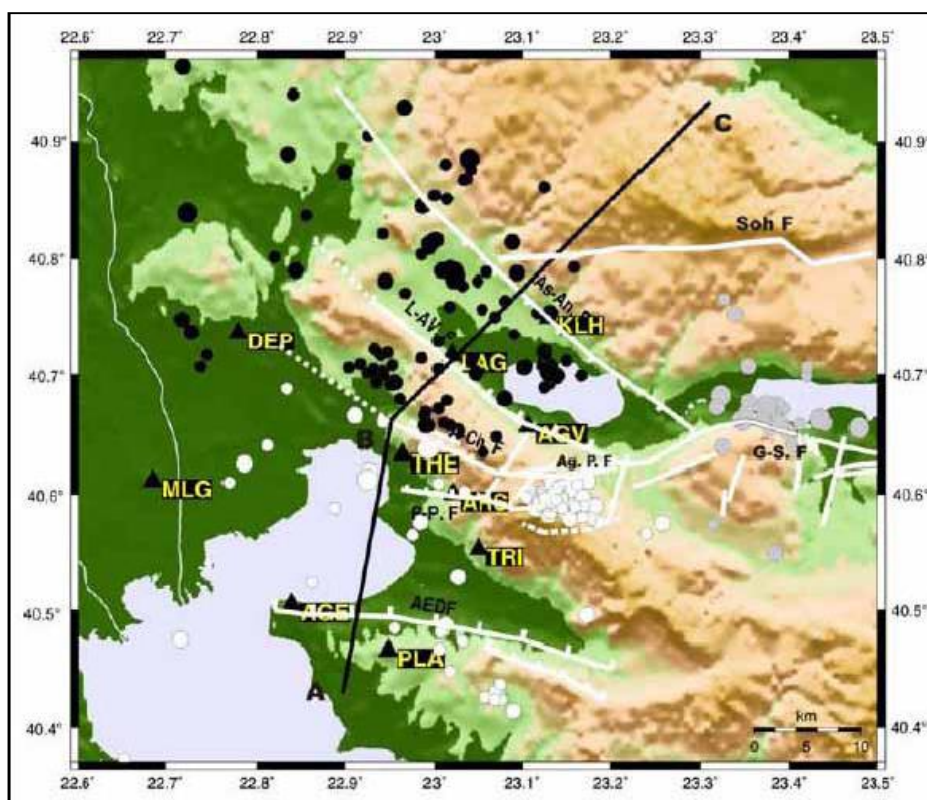
Ρήγμα Ανθεμούντα

Το ρήγμα του Ανθεμούντα βρίσκεται στο Ν-ΝΑ τμήμα της πόλης. Αυτό, έχει διεύθυνση Α-Δ και συνολικό μήκος 32 km, περίπου. Αποτελεί κανονικό ρήγμα με μετάπτωση προς το Βορρά και αποτελείται από τρία τμήματα (Σχήμα 4.8). Το ρήγμα έχει χαρακτηριστεί ενεργό και έχει συνδεθεί με ιστορικούς σεισμούς (Βασιλικά 1677 Μ 6.2) καθώς και μικροσεισμών της ακολουθίας του 1988 (Σχήμα 4.9). Σύμφωνα με τα διαθέσιμα σεισμοτεκτονικά στοιχεία, σε περίπτωση ενεργοποίησης ολόκληρου του ορατού μήκους του ρήγματος, το μέσο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού είναι έως Μ 6.9,

ενώ στην περίπτωση ενεργοποίησης μόνο τμημάτων αυτού, που είναι και το πλέον πιθανό, κυμαίνεται από 5.7 έως 6.5 (Παυλίδης, 2004).



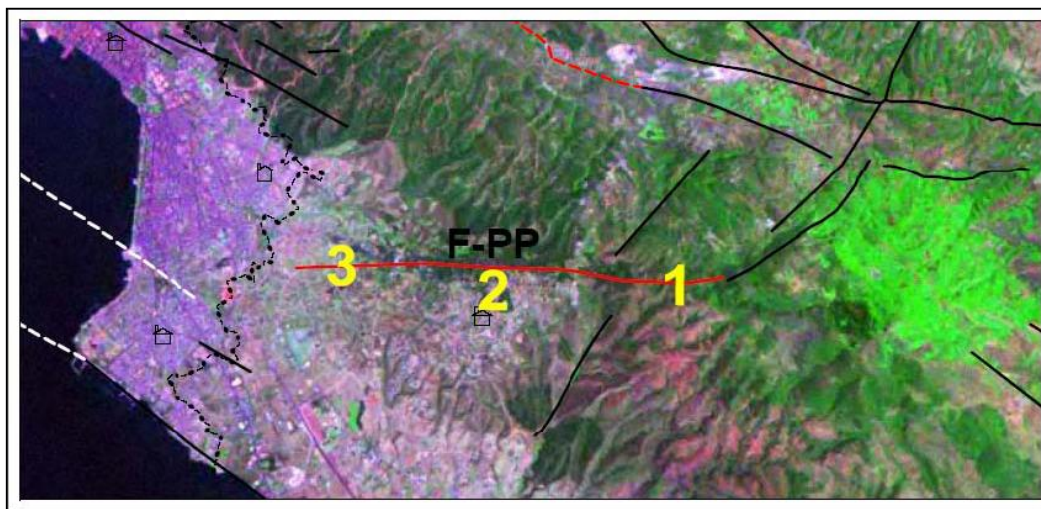
Σχήμα 4.8: Δορυφορική εικόνα όπου σημειώνεται το ρήγμα του Ανθεμούντα (Παυλίδης, 2004)



Σχήμα 4.9: Χάρτης όπου φαίνονται τα ρήγματα της περιοχής Θεσσαλονίκης με άσπρο χρώμα και τα επίκεντρα σεισμών με μαύρους, γκρι και άσπρους κύκλους (Paradisopoulou et al., 2004)

Ρήγμα Πυλαίας - Πανοράματος

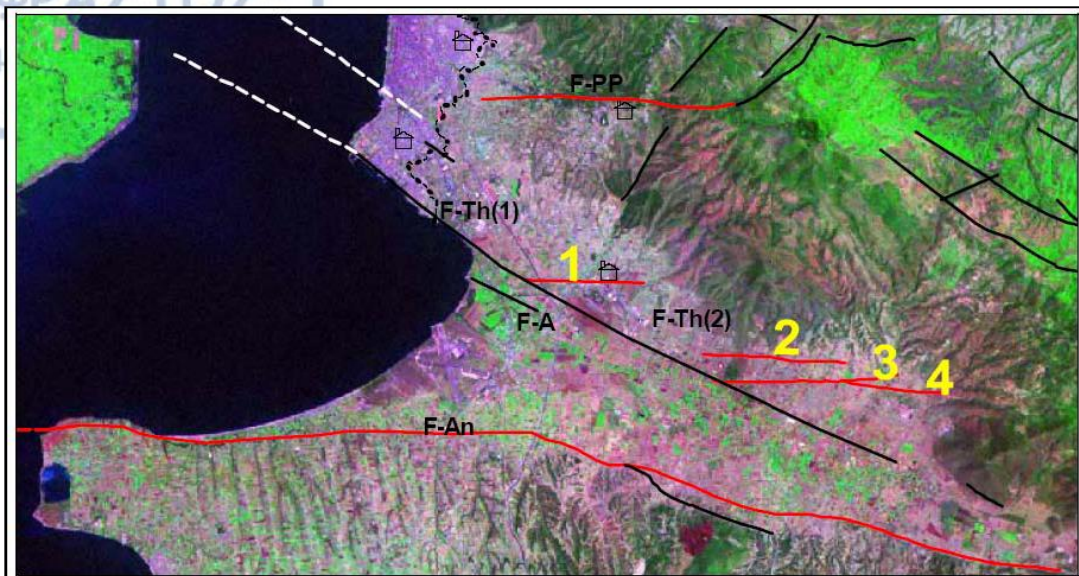
Το ρήγμα αυτό βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της πόλης (Σχήμα 4.10). Πρόκειται για κανονικό ρήγμα με διεύθυνση Α-Δ, συνολικό μήκος 9 km, εκτεινόμενο μέχρι την περιοχή του Δήμου Πυλαίας (Tranos et al., 2004). Το υπόψη ρήγμα δεν έχει συνδεθεί με κάποιο σεισμό. Χαρακτηρίζεται ωστόσο ενεργό, σύμφωνα με τα σεισμοτεκτονικά δεδομένα (Ζερβοπούλου και Παυλίδης, 2005). Με βάση εμπειρικές σχέσεις (μεγέθους M - μήκους L) το μέσο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού σε περίπτωση επιφανειακής διάρρηξης μήκους 6km είναι M 6.0, ενώ στην πιο πιθανή περίπτωση ενεργοποίησης κάθε επιμέρους τμήματος μήκους 3km, το μέσο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού είναι M 5.6.



Σχήμα 4.10: Δορυφορική εικόνα του ρήγματος Πυλαίας – Πανοράματος. Με κίτρινο χρώμα τα τρία τμήματά του (Παυλίδης, 2004)

Ρήγματα Θέρμης

Η ρηξιγενής ζώνη της Θέρμης βρίσκεται Ν, ΝΑ σε απόσταση από 5 έως 20km της πόλης της Θεσσαλονίκης, (Σχήμα 4.11). Το υπόψη ρήγμα χαρακτηρίζεται ως «πιθανώς» ενεργό σύμφωνα με τα σεισμοτεκτονικά δεδομένα, ενώ το μέσο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού, σε περίπτωση ενεργοποίησης των τεσσάρων ρηγμάτων, κυμαίνεται από 5.7 έως 6.0, (Παυλίδης, 2004).



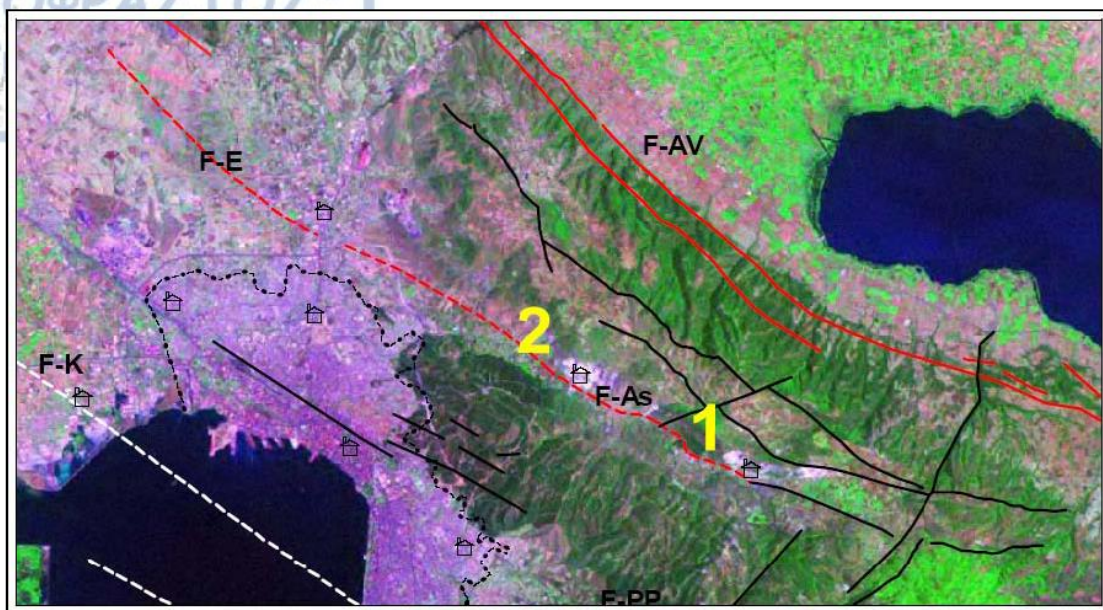
Σχήμα 4.11: Δορυφορική εικόνα όπου φαίνεται το ανενεργό ρήγμα της Θέρμης (F-Th(1)) με μαύρο χρώμα και με άσπρο η προέκτασή του στον υποθαλάσσιο χώρο. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα πιθανά ενεργά ρήγματα (F-Th(2)). Ως F-A φαίνεται το ενεργό ρήγμα του Αεροδρομίου (Παυλίδης, 2004)

Ρήγμα Ασβεστοχωρίου

Το κανονικό ρήγμα του Ασβεστοχωρίου βρίσκεται Β, ΒΑ σε απόσταση 6 km από την πόλη της Θεσσαλονίκης, με συνολικό μήκος 10 km περίπου (Σχήμα 4.12). Το εν λόγω ρήγμα χαρακτηρίζεται ως «πιθανώς» ενεργό σύμφωνα με τα σεισμοτεκτονικά δεδομένα. Από εμπειρικές σχέσεις το μέσο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού, σε περίπτωση ενεργοποίησης των επιμέρους τμημάτων του, κυμαίνεται από M 5.7 έως M 6.1 (Παυλίδης, 2004).

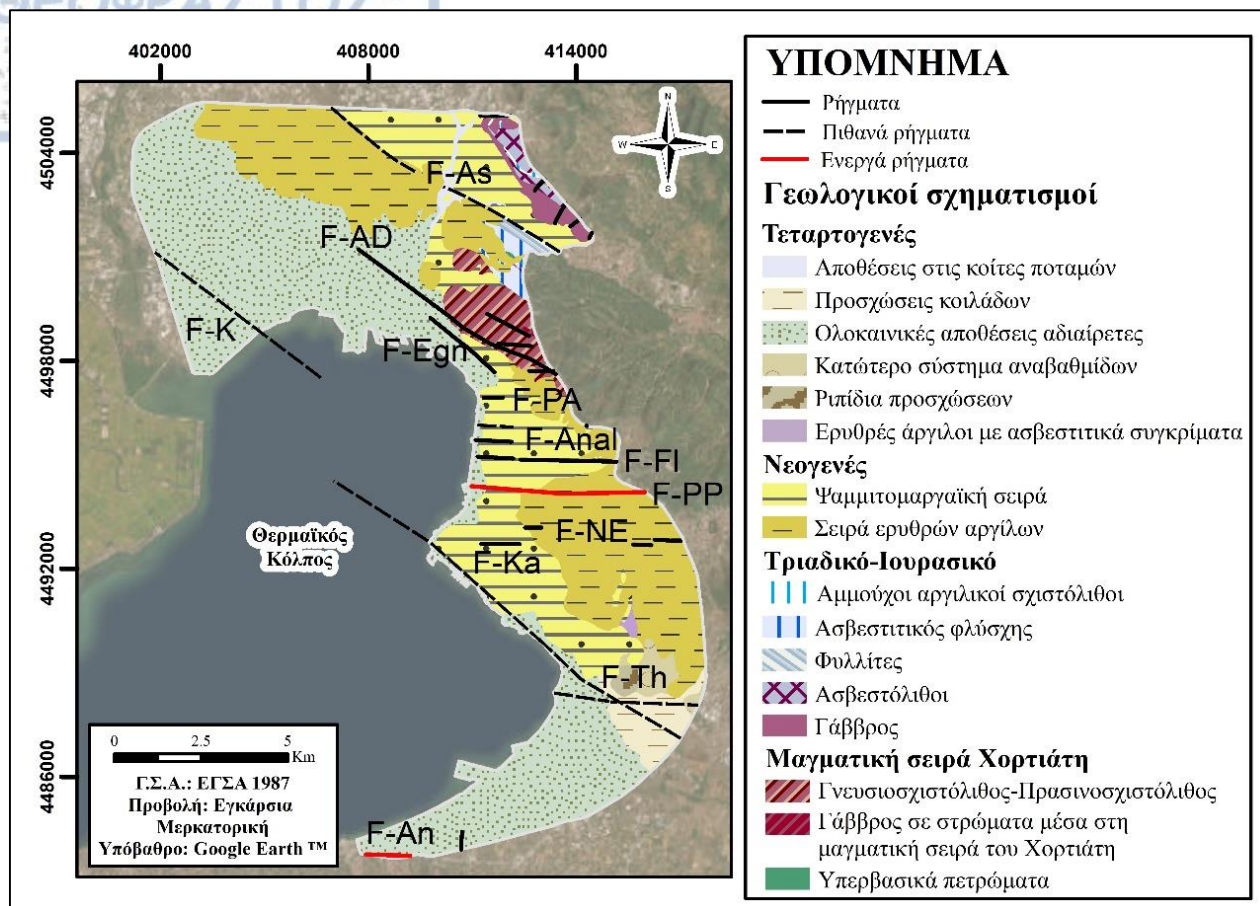
Ρήγμα Καλοχωρίου

Για το ρήγμα αυτό το οποίο βρίσκεται στα δυτικά, σε απόσταση 7km από το κέντρο της πόλης της Θεσσαλονίκης, δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα σεισμοτεκτονικά δεδομένα. Χαρακτηρίζεται ως «πιθανώς» ενεργό με μήκος 6 km και αναμενόμενο μέγεθος σεισμού, σε πιθανή περίπτωση ενεργοποίησης, έως M 6.0 (Παυλίδης, 2004).



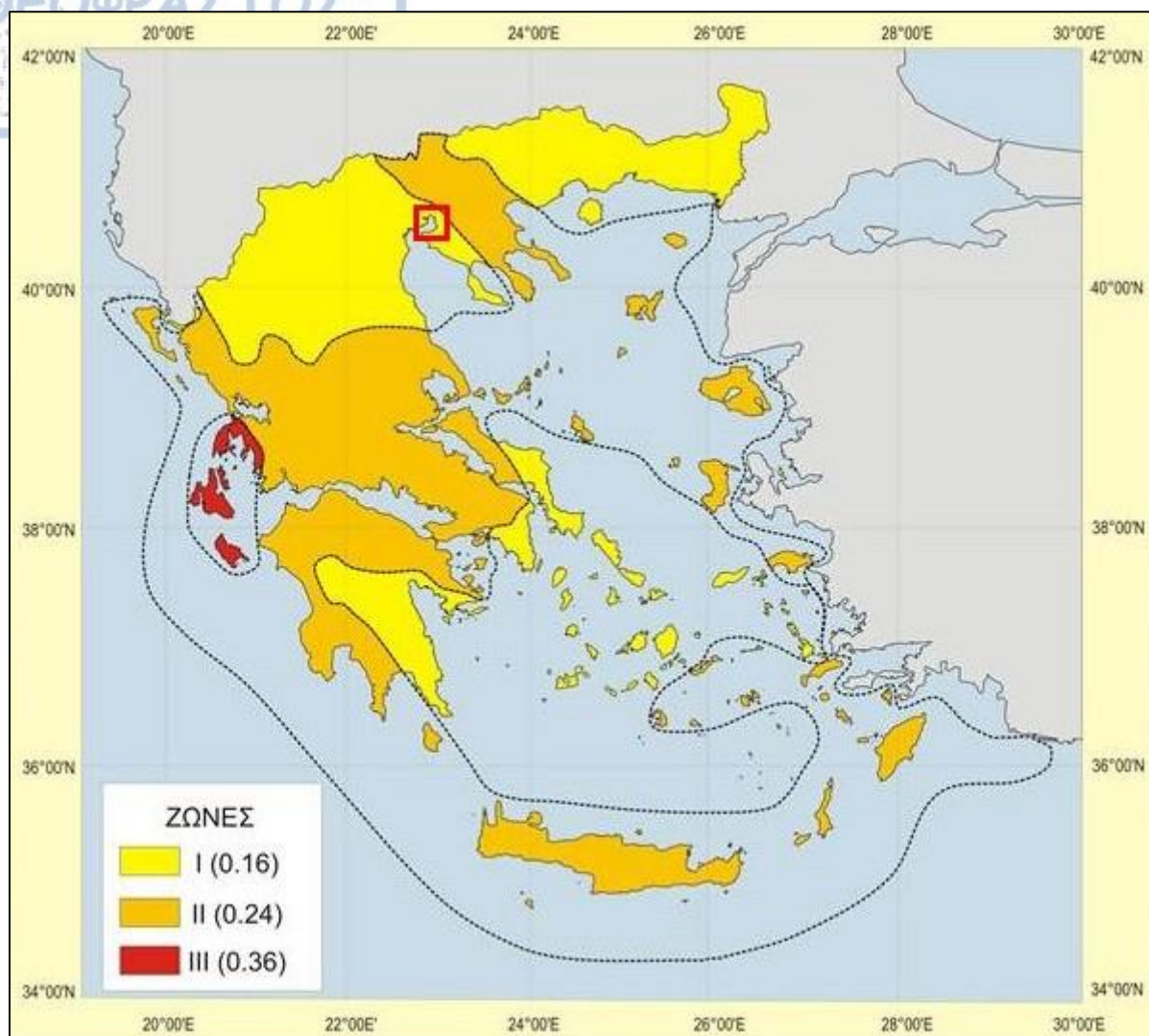
Σχήμα 4.12: Δορυφορική εικόνα όπου φαίνεται με κόκκινο χρώμα το πιθανό ενεργό ρήγμα του Ασβεστοχωρίου (F-As), με κίτρινο χρώμα τα τμήματά του (segments). (Παυλίδης, 2004)

Εκτός από τα παραπάνω ρήγματα που μελετήθηκαν τα προηγούμενα χρόνια, νεότερες έρευνες προχώρησαν στη διερεύνηση άλλων πιθανών ρηγμάτων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου και Παυλίδης, 2008). Η μελέτη αυτή προέκυψε με τη βοήθεια παλαιών τοπογραφικών χαρτών, αεροφωτογραφιών και φωτογραφιών διαφόρων χρονικών περιόδων για την εξαγωγή γεωμορφολογικών στοιχείων, αρχαιολογικών και ιστορικών αναφορών για την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου και βιβλιογραφικά δεδομένα από γεωφυσικές διασκοπήσεις, γεωερευνητικές εργασίες για τη γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής. Από την ερμηνεία των παραπάνω δεδομένων η συγκεκριμένη έρευνα καταλήγει στα εξής: «ως τεκτονική δομή του υποβάθρου εντοπίστηκε το ρήγμα Αγ. Δημητρίου με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς ΝΔ. Παράλληλο μ' αυτό είναι το επίσης κανονικό ρήγμα στην Εγνατία οδό, καθώς και το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος με διεύθυνση Α-Δ και κλίση προς Βορρά, για το οποίο υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις ότι προεκτείνεται μέσα στο Πολεοδομικό Συγκρότημα στην περιοχή της Βούλγαρη. Το ρήγμα το οποίο είναι παράλληλο στο ρέμα του Πεδίου Άρεως με διεύθυνση περίπου ΒΑ-ΝΔ και κλίση προς Β. Τα ρήγματα παράλληλα στο ρέμα Κυβερνείου στις περιοχές Φλέμινγκ και Αναλήψεως με διευθύνσεις Α-Δ και κλίση προς Νότο. Το ρήγμα στην περιοχή Νέας Ελβετίας εντός των Νεογενών αποθέσεων. Και τέλος το ρήγμα στην περιοχή Καλαμαριάς με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και κλίση προς Βορρά.». Τα ρήγματα (πιθανά κι ενεργά) που εμφανίζονται στην περιοχή έρευνας φαίνονται στο Σχήμα 4.13.



Σχήμα 4.13: Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας κλίμακας 1:50.000, όπου: F-An ρήγμα Ανθεμούντα, F-Th ρήγμα Θέρμης, F-Ka ρήγμα Καλαμαριάς, F-NE ρήγμα Νέας Ελβετίας, F-PP ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος, F-FI ρήγμα Φλέμινγκ, F-Anal ρήγμα Ανάληψης, F-PA ρήγμα Πεδίου Άρεως, F-Egn ρήγμα Εγνατίας, F-AD ρήγμα Αγ. Δημητρίου, F-As ρήγμα Ασβεστοχωρίου, F-K ρήγμα Καλοχωρίου (τροποποιημένος από Kockel et al. 1978a, 1978b; Ζερβοπούλου, 2010)

Στο Σχήμα 4.14 παρουσιάζεται ο νέος χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας, ο οποίος ενσωματώθηκε στην τροποποίηση διατάξεων του «Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ-2000» λόγω αναθεώρησης του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (Φ.Ε.Κ. Β' 1154/12-8-2003, Απόφαση Αριθ. Δ17α/115/9/ΦΝ275). Όπως φαίνεται από τον χάρτη, ο Ελληνικός χώρος χωρίστηκε σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας με τιμές σχεδιασμού 0.16 g, 0.24 g και 0.36 g και η περιοχή έρευνας ανήκει στη ζώνη I ($A=0.16$ g, g: επιτάχυνση της βαρύτητας) με πιθανότητα υπερβάσεως 10% στα 50 έτη.



Σχήμα 4.14: Νέος χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας (Ο.Α.Σ.Π.-Ι.Τ.Σ.Α.Κ., 2001)

4.1.5 Υδρογεωλογικό υπόβαθρο

Στη συνέχεια, για την πληρέστερη περιγραφή της περιοχής έρευνας, γίνεται συνοπτική παρουσίαση των υδρογεωλογικών συνθηκών της.

Στην περιοχή έρευνας απαντώνται πορώδεις ελεύθεροι ή/και υπό πίεση υδροφορείς, οι οποίοι αναπτύσσονται εντός των αδρο-μεσόκοκκων Τεταρτογενών ή Νεογενών σχηματισμών, καρστικοί υδροφορείς, καθώς και υδροφορείς σκληρών διαρρηγμένων πετρωμάτων στους σχηματισμούς Μεσοζωϊκής ηλικίας. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα είδη, καθώς και η χωρική κατανομή των υδροφόρων συστημάτων της περιοχής έρευνας:

Πορώδεις ή κοκκώδεις υδροφορείς: Καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση στην περιοχή καθώς συναντώνται εντός των σχηματισμών Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας και εντοπίζονται στα χαμηλότερα υψόμετρα. Πρόκειται για υδροφορείς που παρουσιάζουν μεγάλη ανισοτροπία από

περιοχή σε περιοχή, ως προς τη λιθολογία, το πάχος, τα υδραυλικά χαρακτηριστικά, καθώς και το δυναμικό τους. Λιθολογικά, οι υδροφορείς της περιοχής αποτελούνται από εναλλαγές άμμων, χαλίκων και κροκάλων με ή χωρίς την παρουσία αργιλικού υλικού. Η τροφοδοσία τους επιτυγχάνεται μέσω της κατείσδυσης των κατακρημνισμάτων, τη διήθηση από τους χειμάρρους και τα ρέματα και της πλευρικής επικοινωνίας με τους καρστικούς και τους διερρηγμένους υδροφορείς. Οι πορώδεις υδροφορείς συναντώνται στην περιοχή έρευνας είτε ως ελεύθεροι είτε ως υπό πίεση:

– Ελεύθεροι υδροφορείς: Αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό των πορώδων υδροφορέων στα κοκκώδη πετρώματα και υπέρκεινται των υπό πίεση.

– Υπό πίεση-Αρτεσιανός: Είναι υποκείμενοι των ελεύθερων υδροφορέων εκτός από το παράκτιο τμήμα της Μίκρας, στο οποίο καταγράφονται φαινόμενα «αρτεσιανισμού» από το 2016 κι έπειτα, σύμφωνα με διαθέσιμα δεδομένα από την Εταιρεία Ύδρευσης κι Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (ΕΥΑΘ).

Καρστικοί υδροφορείς: Εντοπίζονται στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας εντός των ασβεστολίθων Μεσοζωϊκής ηλικίας.

Υδροφορείς των διερρηγμένων σκληρών πετρωμάτων: Εντοπίζονται, κυρίως στα μεγαλύτερα υψόμετρα στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας, ενώ σε μεγάλο ποσοστό καλύπτονται από ιζήματα. Η υδροφορία τους συναντάται σε ζώνες διάρρηξης με σημαντικές παροχές, ενώ τροφοδοτούν πλευρικά και τους πορώδεις υδροφορείς.

Οι καρστικοί και οι υδροφορείς των διερρηγμένων σκληρών πετρωμάτων δεν εξετάζονται περαιτέρω, καθώς αναπτύσσονται εντός βραχωδών σχηματισμών, οι οποίοι δεν διερευνώνται στην παρούσα διατριβή. Για το λόγο αυτόν, στο υποκεφάλαιο 5.2 ακολουθεί αναλυτική περιγραφή για τους πορώδεις υδροφορείς οι οποίοι κυριαρχούν στην περιοχή έρευνας, καθώς και για την περατότητα των εξεταζόμενων εδαφικών σχηματισμών.

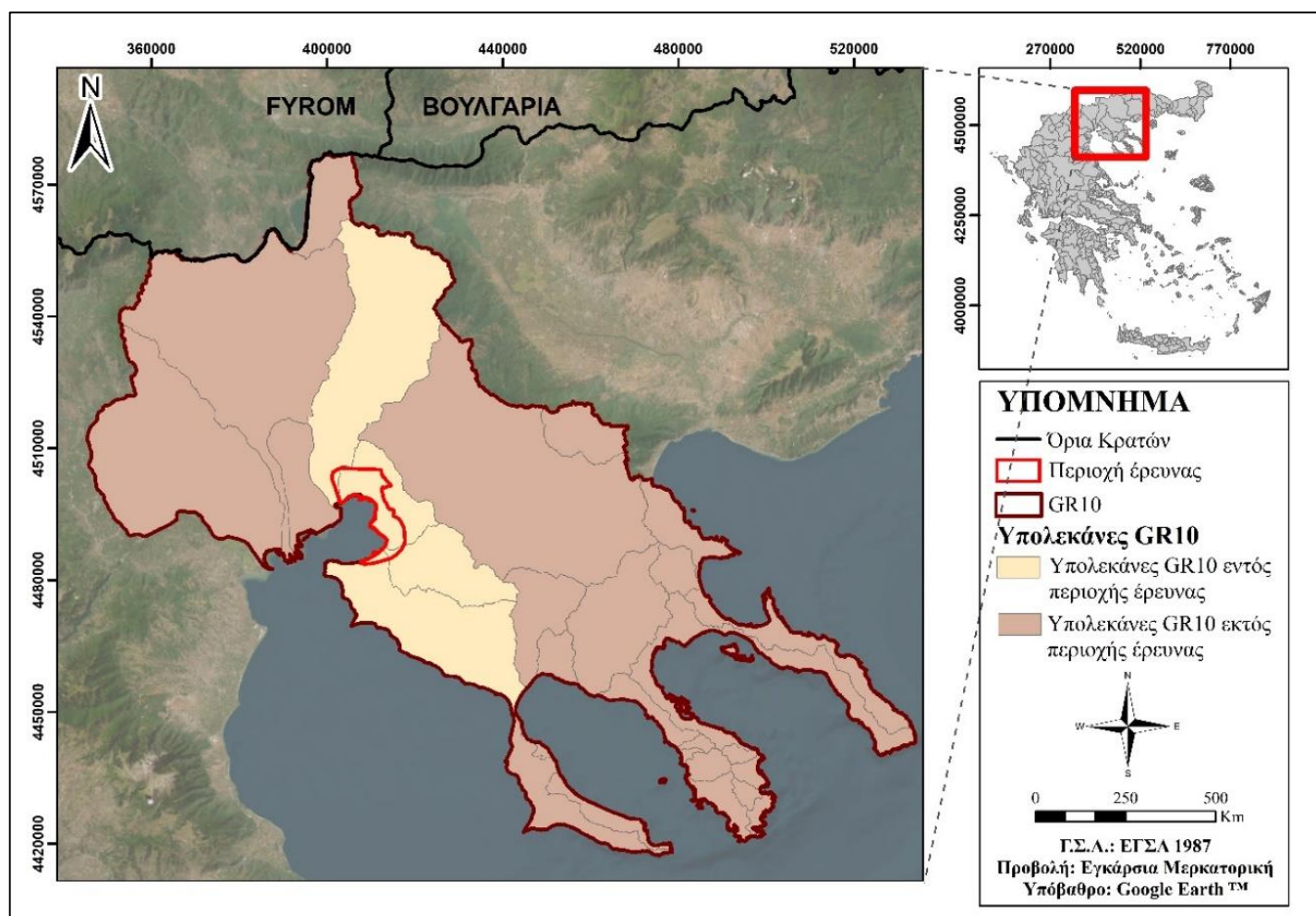
4.2 Άλλοι θεματικοί χάρτες περιοχής έρευνας

4.2.1 Γενικά

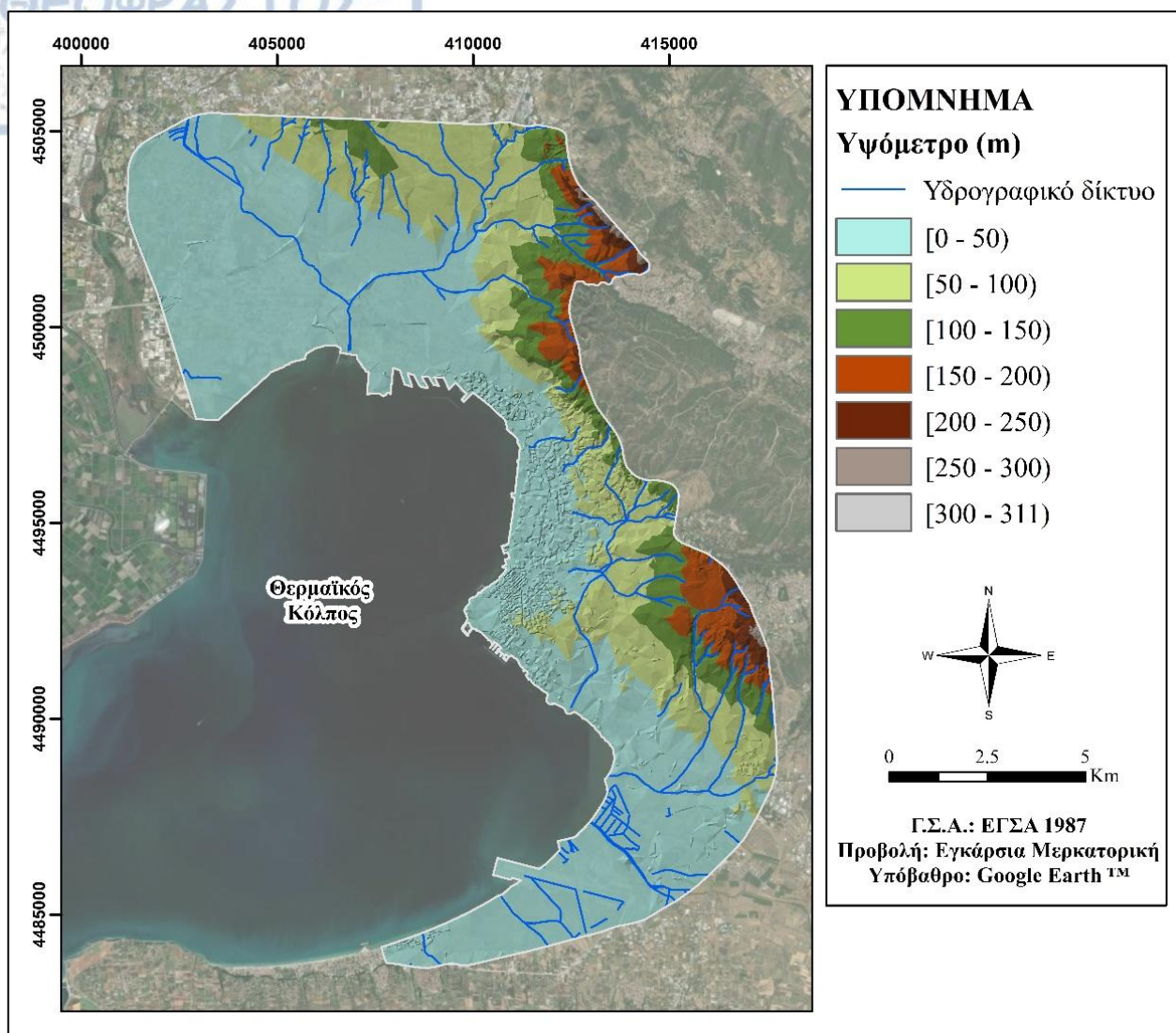
Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια σειρά θεματικών χαρτών, οι οποίοι επικεντρώνονται σε βασικούς παράγοντες που αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του γεωλογικού τοπίου κι απεικονίζουν το υδρογραφικό δίκτυο, τις χρήσεις γης και το οδικό δίκτυο. Οι συγκεκριμένοι θεματικοί χάρτες θεωρούνται ως αναπόσπαστο στοιχείο καθώς χρησιμεύουν τόσο στην ολοκληρωμένη ερμηνεία των γεωλογικών δεδομένων που παρουσιάστηκαν παραπάνω, όσο και στην κατανόηση των περίπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των γεωλογικών χαρακτηριστικών και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος της περιοχής έρευνας.

4.2.2 Υδρογραφικό Δίκτυο

Η περιοχή έρευνας αποτελείται από μικρότερης έκτασης υπολεκάνες που καθορίζουν τους χείμαρρους ή τα ρέματα της Θεσσαλονίκης. Οι γενικές διευθύνσεις των υπολεκανών είναι ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ (Σχήμα 4.15). Η αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου έγινε με τη χρήση του DEM σε περιβάλλον GIS. Πολλά από τα ρέματα της περιοχής έρευνας είτε δεν αποτυπώνονται, είτε παρουσιάζονται αποκομμένα χωρίς να καταλήγουν στον Θερμαϊκό κόλπο (Σχήμα 4.16). Αυτό συμβαίνει λόγω της έντονης οικιστικής ανάπτυξης που παρατηρείται στην περιοχή έρευνας και στο γεγονός ότι αυτά τα ρέματα έχουν προσχωθεί. Γενικά, παρατηρείται μία ασυμμετρία στον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσεται το υδρογραφικό δίκτυο, καθώς η μεγαλύτερη ανάπτυξη των κλάδων του σημειώνεται στις περιοχές όπου παρατηρούνται και τα μεγαλύτερα υψόμετρα.

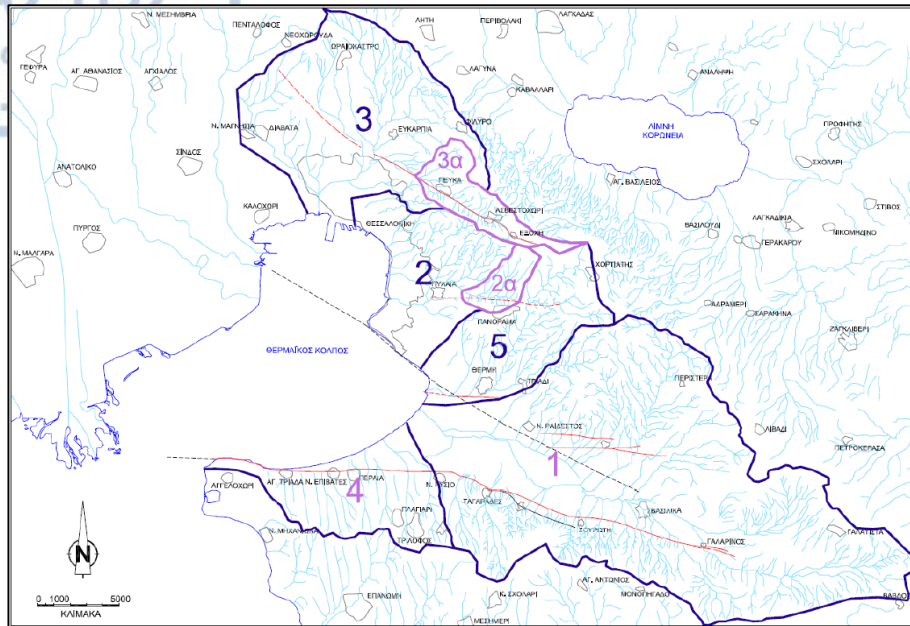


Σχήμα 4.15: Χάρτης απεικόνισης περιοχής έρευνας σε σχέση με τις υπολεκάνες του ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας



Σχήμα 4.16: Μορφολογικός χάρτης υψομέτρων και υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας

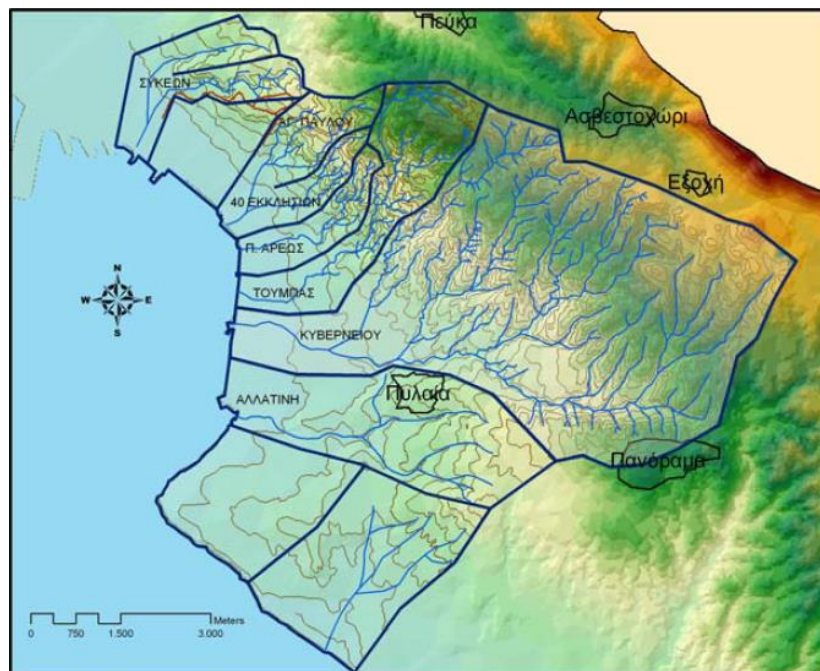
Σύμφωνα με τους Ζερβοπούλου και Παυλίδη (2005) οι επιμέρους υδρολογικές λεκάνες της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης φαίνονται στο Σχήμα 4.17, ενώ για την αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες του 1939 και του 1979, χάρτες του 1850, του 1928 και σημερινοί της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) κλίμακας 1:50.000 και 1:5.000 λόγω της έντονης οικιστικής ανάπτυξης (Σχήμα 4.18). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικής μορφής με κατά τόπους μορφές παράλληλων και ορθογώνιων κλάδων. Γενικά, παρατηρείται μια ανισοκατανομή τόσο στο μήκος των κλάδων, όσο και στη διεύθυνσή τους.



Σχήμα 4.17: Χάρτης που φαίνονται οι υδρολογικές λεκάνες.

Υπόμνημα: 1: Λεκάνη Ανθεμούντα, 2: Λεκάνη Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης, 2α: Υπολεκάνη Ελαιορέματος, 3: Λεκάνη Δενδροποτάμου, 3α: Υπολεκάνη Ξηρορέματος, 4: Υπολεκάνες ρεμάτων Δήμου Θερμαϊκού και 5: Λεκάνη Θέρμης. (Ζερβοπούλου και Παυλίδης, 2005)

Η υδρολογική λεκάνη του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης έχει συνολική έκταση 66 km² και αποτελείται από υπολεκάνες μικρότερης έκτασης, που αντιπροσωπεύουν τα ρέματα ή τους χείμαρρους της Θεσσαλονίκης. Οι διευθύνσεις αυτών των υπολεκανών είναι ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ (Σχήμα 2.9).



Σχήμα 4.18: Υδρολογική λεκάνη Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου και Παυλίδης, 2005)

Σύμφωνα με τους Ζερβοπούλου και Παυλίδη (2005) «Αρχικά, εντοπίζονται τα ρέματα περιφερειακά των Τειχών της πόλης της Θεσσαλονίκης. Προς τα δυτικά συναντάται το ρέμα Συκεών, το οποίο έχει γενική διεύθυνση Α-Δ έως ΒΑ-ΝΔ και παρουσιάζει πρηνή με έντονη κλίση. Στο παρελθόν, το ρέμα κατέληγε στο σημερινό λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Στη μεγαλύτερή του έκταση ρέει πάνω στο βραχώδες υπόβαθρο, ενώ καθορίζει το φυσικό όριο μεταξύ των ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας και των ιζημάτων Τεταρτογενούς ηλικίας στα δυτικά και συγκεκριμένα στην περιοχή της πλατείας Δημοκρατίας, όπως παρατηρήθηκε από τις γεωτρήσεις του μετρώ Θεσσαλονίκης.

Το ρέμα Αγ. Παύλου - Ευαγγελίστριας με πρηνή που έχουν πιο ήπια κλίση και διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ βρίσκεται ανατολικά των τειχών. Στο ύψος της διεθνούς εκθέσεως ενώνεται με το ρέμα των Σαράντα Εκκλησιών. Στη μεγαλύτερη έκτασή του ρέει πάνω στο γεωλογικό υπόβαθρο.

Ρέματα εντός των τειχών ήταν δύσκολο να εντοπιστούν, εξαιτίας της συνεχούς δόμησης της πόλης. Το ρέμα στην οδό Αντιγονιδών εντοπίστηκε από γεωτρήσεις του Μετρώ Θεσσαλονίκης, ως τμήμα μέσα στις ερυθρές αργίλους με μαλακές αργίλους και ποταμοχειμάρρια ιζήματα.

Ανατολικά των τειχών και καθώς μεταβαίνουμε προς νότο παρουσιάζεται μια ακολουθία από έξι παράλληλα ρέματα με διεύθυνση από ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ καταλήγοντας στην περιοχή της Καλαμαριάς. Κάποια απ' αυτά παρουσιάζουν μέχρι και σήμερα υδάτινη ροή. Με κατεύθυνση από βορρά προς νότο, τα ρέματα αυτά είναι:

1. το ρέμα των Συκεών με διεύθυνση Α-Δ, που βρίσκεται εκτός των τειχών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω
2. το ρέμα των Σαράντα Εκκλησιών, το οποίο ενώνεται με το ρέμα Αγ. Παύλου με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ
3. το ρέμα του Πεδίου Άρεως ή αλλιώς Λύτρα, το οποίο έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και εκβάλλει στην οδό Λύτρα, στο ύψος της οδού Ευζώνων
4. της Τούμπας ή Κωνσταντινίδη, το οποίο έχει διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και εκβάλλει στην περιοχή της Σχολής Τυφλών
5. του Κυβερνείου ή αλλιώς Μεγάλο Ρέμα, που εκτείνεται με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ στα κατάντη και αποτελεί το μεγαλύτερο ρέμα του Πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης
6. και τέλος του Αλλατίνη ή Ντεπώ, το οποίο έχει διεύθυνση Α-Δ και εκβάλλει στην περιοχή του αλευρόμυλου Αλλατίνη, στο ύψος της Σοφούλη».

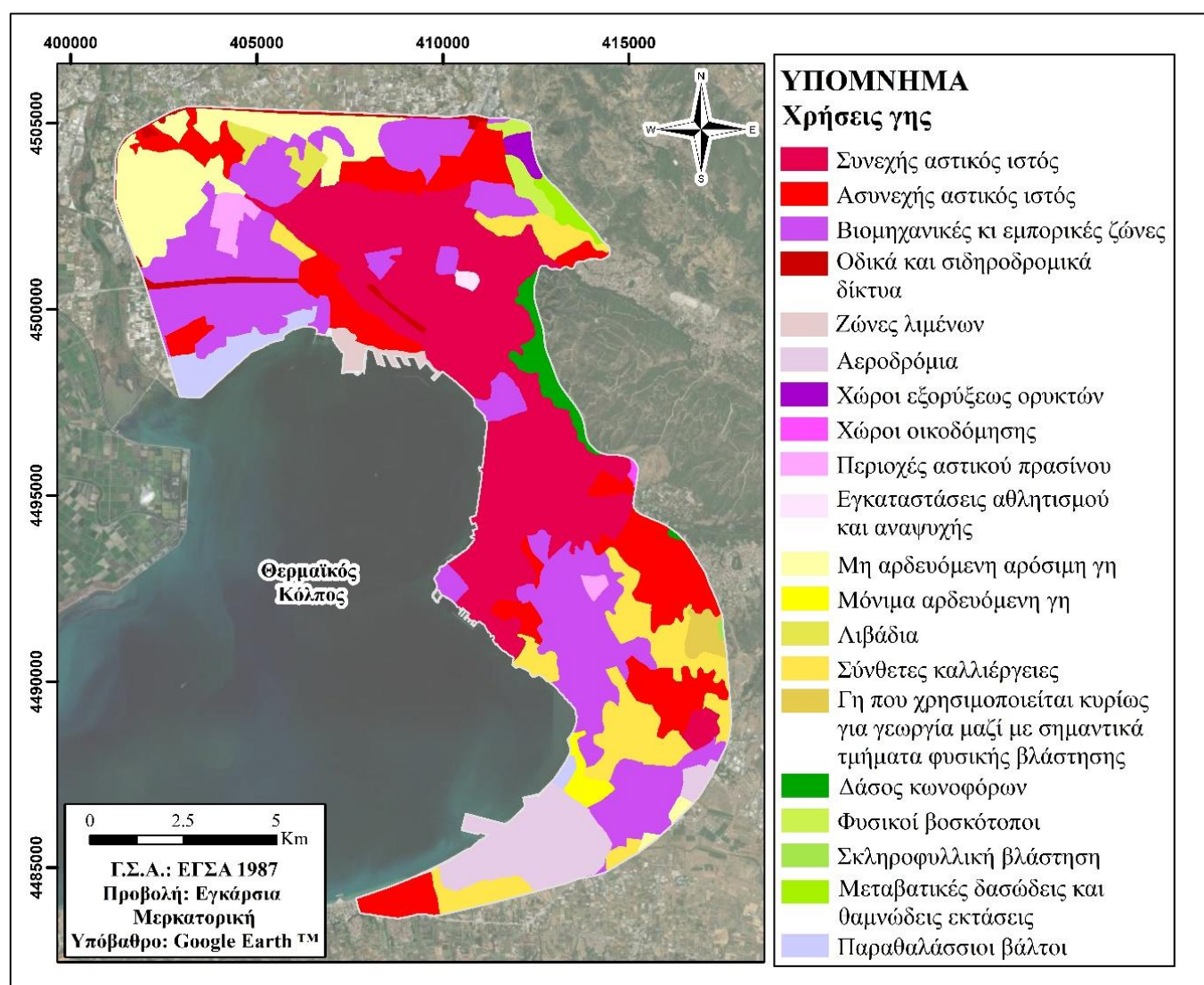
4.2.3 Χρήσεις Γης

Οι χρήσεις γης που ρυθμίζονται από τον ρυθμιστικό σχεδιασμό, καθορίζονται σύμφωνα με τη γενική και ειδική χωρική τους λειτουργία σε διάφορες κατηγορίες. Οι χρήσεις γης της περιοχής έρευνας (Corine Land Cover, 2018) παρατίθενται στο Σχήμα 4.19. και αναλύονται περαιτέρω ως προς την έκταση και το ποσοστό κάλυψης στον Πίνακα 4.3. Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής έρευνας συγκροτείται από αστικό ιστό, καθώς κι από βιομηχανικές κι εμπορικές ζώνες, οι οποίες αντιστοιχούν σε ποσοστό 41,81% κάλυψης των χρήσεων γης και 23,94% αντίστοιχα. Το 16,58% καλύπτεται από γεωργικές περιοχές και συγκεκριμένα, από τα σύνθετα συστήματα καλλιιεργειών και τις μη αρδεύσιμες αρόσιμες εκτάσεις. Τμήμα του δάσους κωνοφόρων (Σείχ Σου) εμφανίζεται στα βορειοανατολικά της περιοχής έρευνας με έκταση 2,24 km². Τέλος, παραθαλάσσιοι βάλτοι εντοπίζονται στο παράκτιο τμήμα της λεκάνης, δυτικά του λιμένα της Θεσσαλονίκης.

Πίνακας 4.3: Η κατανομή των χρήσεων γης της περιοχής έρευνας

Χρήσεις Γης	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)
Συνεχής αστικός ιστός	39.05	27.09
Βιομηχανικές κι εμπορικές ζώνες	34.52	23.94
Ασυνεχής αστικός ιστός	21.23	14.72
Σύνθετες καλλιιεργειες	12.99	9.01
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	10.91	7.57
Αεροδρόμια	8.51	5.91
Παραθαλάσσιοι βάλτοι	2.94	2.04
Δάσος κωνοφόρων	2.24	1.55
Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	2.04	1.42
Περιοχές αστικού πρασίνου	1.60	1.11
Ζώνες λιμένων	1.51	1.05
Λιβάδια	1.29	0.89
Φυσικοί βοσκότοποι	1.19	0.82
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	1.09	0.76

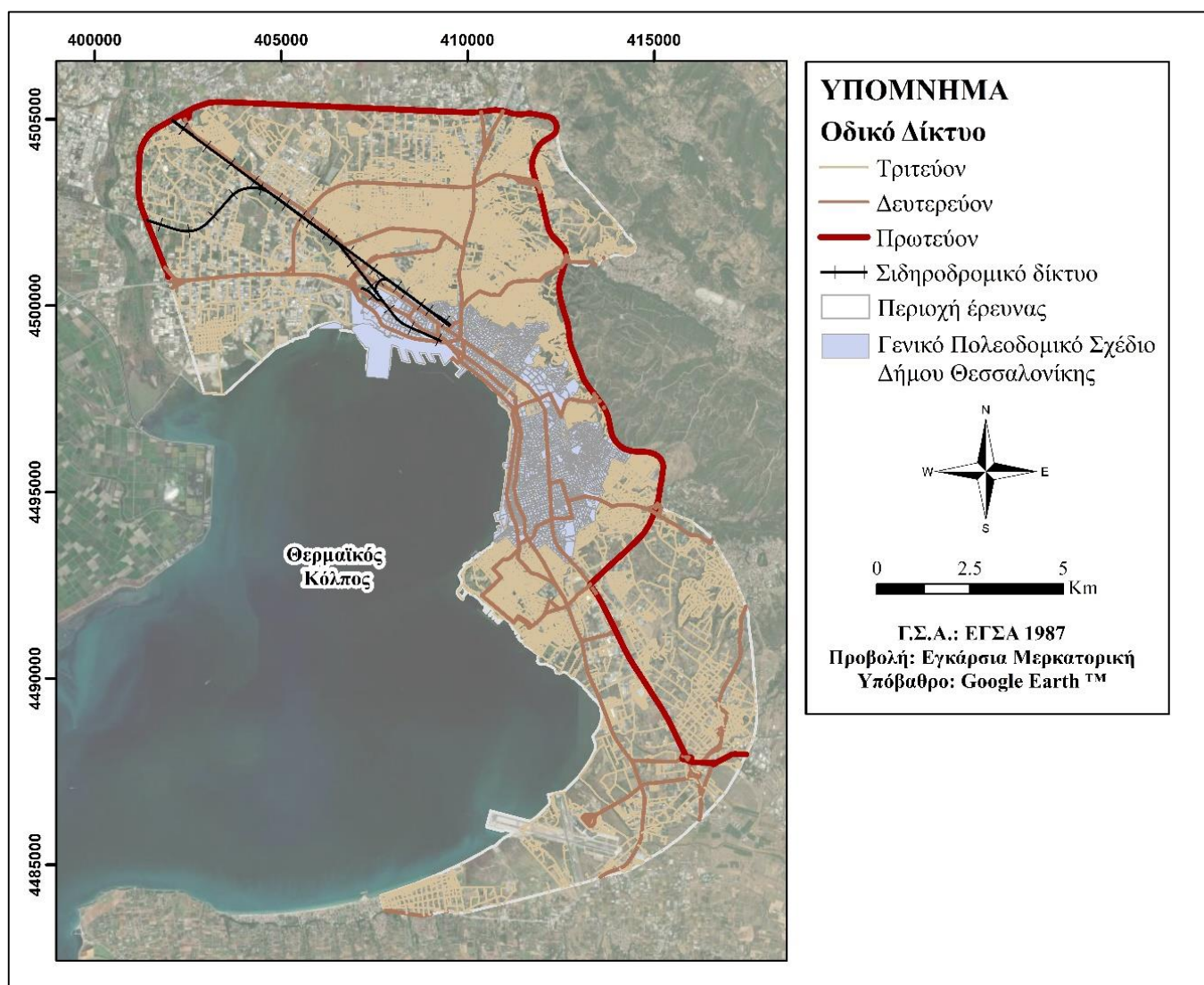
Μόνιμα αρδευόμενη γη	1.05	0.73
Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	0.86	0.60
Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0.67	0.47
Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	0.27	0.19
Χώροι οικοδόμησης	0.13	0.09
Σκληροφυλλική βλάστηση	0.07	0.05



Σχήμα 4.19: Οι χρήσεις γης της περιοχής έρευνας (Corine Land Cover, 2018)

4.2.4 Οδικό δίκτυο

Η διαμόρφωση ενός οδικού δικτύου προϋποθέτει τον προσδιορισμό των κατηγοριών των οδών, που είναι καθοριστικές για το σχεδιασμό, τη μελέτη και τη χρήση τους. Στο Σχήμα 4.20 παρουσιάζεται το οδικό δίκτυο της περιοχής έρευνας. Ο διαχωρισμός των διαφόρων τύπων οδικού δικτύου γίνεται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το είδος της εξυπηρέτησης που παρέχει η κάθε περίπτωση. Το πρωτεύον οδικό δίκτυο συγκροτείται από την περιφερειακή οδό, με συνολικό μήκος 25,02 km. Το δευτερεύον και τριτεύον δίκτυο απαρτίζουν την ανάπτυξη του κύριου οδικού δικτύου της αστικής περιοχής. Το δευτερεύον έχει μήκος 129,60 km, ενώ το τριτεύον που διαμορφώνεται κατά βάση όπου επικρατεί πυκνή δόμηση, δημιουργεί ένα πολύπλοκο δίκτυο συνολικού μήκους 22,32 km. Τέλος, το σιδηροδρομικό δίκτυο αναπτύσσεται στο δυτικό άκρο της πόλης με έκταση που δεν ξεπερνά τα 23,63 km, εντός περιοχής έρευνας.



Σχήμα 4.20: Το οδικό δίκτυο της περιοχής έρευνας

4.3. Υπόβαθρο τεχνικογεωλογικών συνθηκών

4.3.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας, σύμφωνα με τα προϋπάρχοντα στοιχεία. Για λόγους ευκολίας στην ανάγνωση διακρίνονται δύο υποενότητες. Η πρώτη αφορά σε πληροφορίες που προέρχονται από υπάρχουσες δημοσιευμένες έρευνες και μελέτες κι αφορά στην τεχνικογεωλογική γνώση της περιοχής έρευνας, Στη δεύτερη αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο που υπάρχει σχετικά με την εκτίμηση των φυσικών, μηχανικών και υδραυλικών παραμέτρων σύμφωνα με ταξινομήσεις και συστήματα κατάταξης που προέρχονται τόσο από τη διεθνή, όσο κι από την εγχώρια βιβλιογραφία κι αναφέρονται σε μια ομάδα προτύπων και κανονισμών για τον γεωτεχνικό σχεδιασμό έργων πολιτικού μηχανικού.

Μέχρι σήμερα, οι βασικές διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την πόλη της Θεσσαλονίκης προέρχονται από κάποιους διαθέσιμους χάρτες όπως οι γεωλογικοί χάρτες του I.G.M.E. (Kockel et al. 1978a, 1978b) για τους οποίους έγινε αναφορά σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, καθώς και ο τεχνικογεωλογικός χάρτης των Ρόζος et al. (1998). Οι γεωλογικές περιγραφές και τεχνικογεωλογικές πληροφορίες που παρουσιάζονται στο υπόμνημα του τεχνικογεωλογικού χάρτη είναι γενικές και στερούνται λεπτομέρειας. Επιπλέον, το εύρος των τιμών που συνοδεύει τις γεωλογικές περιγραφές κι αναφέρεται στις εξεταζόμενες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες είναι εξαιρετικά μεγάλο, παρουσιάζοντας ακραίες τιμές, και συνεπώς δεν θεωρείται αντιπροσωπευτικό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, μέχρι τότε, τα δεδομένα αναφέρονταν σε σχετικά περιορισμένες διαθέσιμες πληροφορίες. Έκτοτε, έχει πραγματοποιηθεί πληθώρα τεχνικών έργων και συνοδών γεωτεχνικών ερευνών. Ως εκ τούτου, έχουν προκύψει νέα σύνολα δεδομένων, τα οποία αξιοποιήθηκαν από τους Kokkala και Marinos (2022), με σκοπό την επικαιροποίηση του διαθέσιμου δημοσιευμένου χάρτη.

Ανεξάρτητα από τον εν λόγω χάρτη, η γνώση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών της αστικής περιοχής της Θεσσαλονίκης είναι ιδιαίτερα περιορισμένη. Αυτή προέρχεται, σε μεγάλο βαθμό, από προϋπάρχουσες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο εκπόνησης γεωλογικών – γεωτεχνικών μελετών έπειτα από σύναψη σύμβασης του I.G.M.E. Αθηνών και Θεσσαλονίκης με τους εκάστοτε δήμους του νομού Θεσσαλονίκης.

Πιο συγκεκριμένα, ο Μουγιάρης (1979), στα πλαίσια της επέκτασης του οικισμού Τριανδρίας Θεσσαλονίκης πραγματοποίησε μια γενική γεωλογική επισκόπηση της περιοχής ΒΑ του κέντρου της πόλεως της Θεσσαλονίκης, από πλευράς των συνθηκών θεμελίωσής της. Οι Στεφανίδης et al. (1985) πραγματοποίησαν τη γεωλογική και γεωτεχνική χαρτογράφηση τμήματος του κεντρικού αποχετευτικού αγωγού της Θεσσαλονίκης στο πλαίσιο σύνταξης του τεχνικογεωλογικού χάρτη της Θεσσαλονίκης. Οι Πογιατζή και Μαλτζάρης (2001) πραγματοποίησαν μία γεωτεχνική έρευνα για

λογαριασμό του δήμου Συκεών προκειμένου να διερευνηθούν οι γεωτεχνικές συνθήκες θεμελίωσης σε δυο ιδιόκτητα οικοπέδα που εντοπίζονται σε πρανές λόφου με ήπιες μορφολογικές κλίσεις. Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ανορύχθηκαν τρεις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με ταυτόχρονη διενέργεια επί τόπου δοκιμών πρότυπης διείδυσης (SPT) και ελήφθησαν δείγματα στα οποία εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές. Επίσης, οι Πογιατζή και Μαλτζάρης (2002) συνέταξαν γεωτεχνική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της σύμβασης μεταξύ του οργανισμού ρυθμιστικού σχεδίου και προστασίας περιβάλλοντος Θεσσαλονίκης (ΟΡ.ΘΕ.) και του Ι.Γ.Μ.Ε., προκειμένου να διερευνηθούν οι γεωτεχνικές συνθήκες θεμελίωσης ενός κτιρίου σε οικόπεδο στην αλάνα της Τούμπας, στη ΒΑ πλευρά του ομώνυμου γηπέδου. Ακόμη, ο δήμος Μενεμένης που ανήκει στο ευρύτερο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης ανέθεσε στο Ι.Γ.Μ.Ε. (Πογιατζή et al., 2002) την γεωτεχνική έρευνα γεωλογικής καταλληλότητας περιοχής, που προοριζόταν για την αστική επέκταση του δήμου.

Έπειτα, γίνεται αναφορά στις διαθέσιμες τεχνικογεωλογικές πληροφορίες σχετικά με το βραχώδες υπόβαθρο το οποίο, ωστόσο, δεν διερευνάται περαιτέρω στην παρούσα διατριβή. Η Ελευθερίου (1972) στο πλαίσιο σύνταξης μελέτης για το Ι.Γ.Μ.Ε., μελέτησε τη γεωτεχνική κατάσταση των μετώπων παλαιών λατομείων της Θεσσαλονίκης που έχουν οικοδομηθεί. Οι Ρόζος et al. (1988) στο πλαίσιο ανάθεσης μελέτης στο Ι.Γ.Μ.Ε από τη Νομαρχία Θεσσαλονίκης εξέτασαν τα κατολισθητικά φαινόμενα που εκδηλώθηκαν σε πρανές της περιοχής άνω πόλης Θεσσαλονίκης προκειμένου να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την προστασία των σπιτιών που είναι θεμελιωμένα κατάντη και επηρεάζονται άμεσα από τα φαινόμενα αυτά.

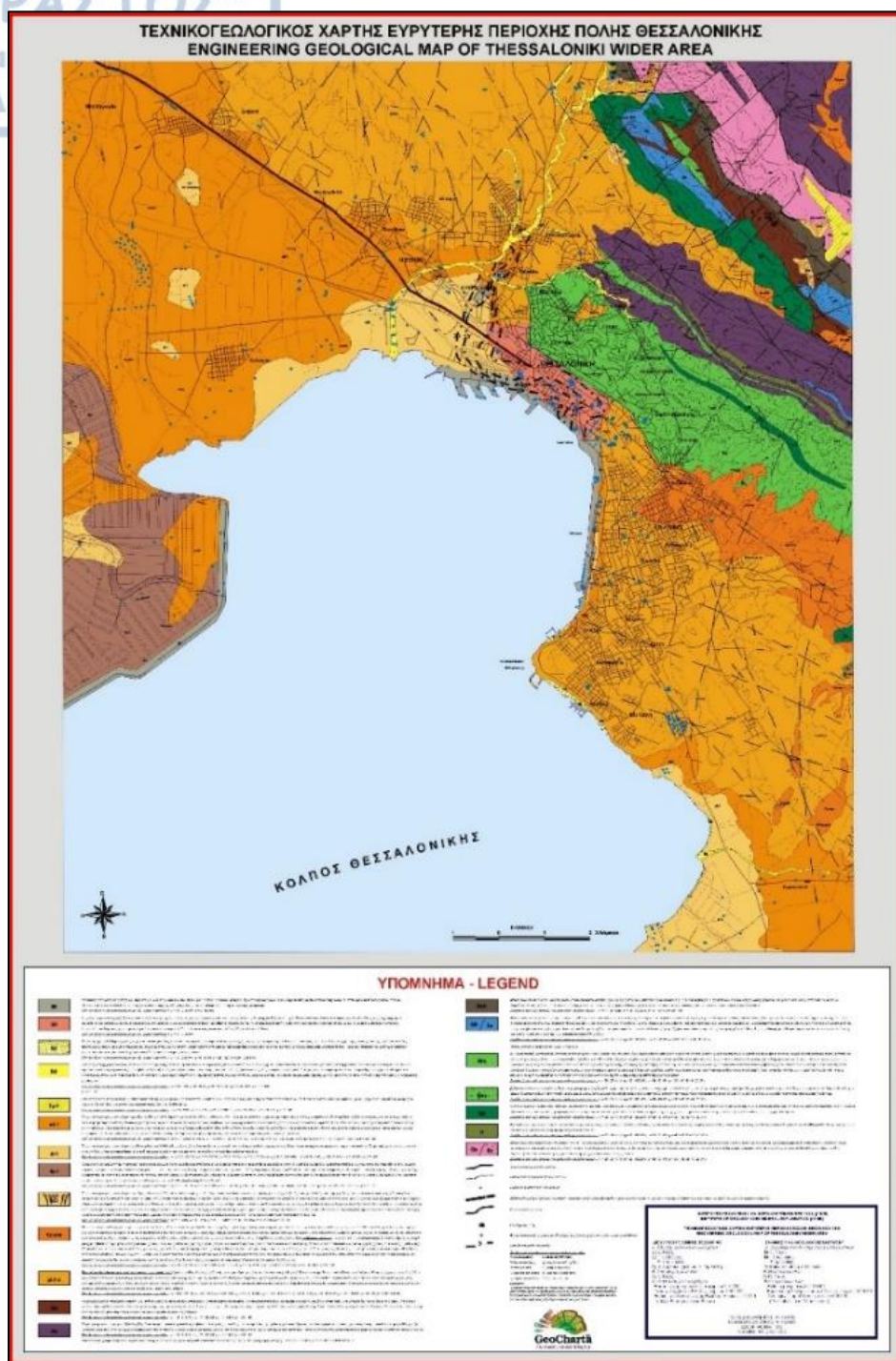
Ακολούθως, αναφέρονται οι σχετικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν με χρηματοδότηση του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Οι Βαλαλάς et al. (1985), στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος του τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής του Α.Π.Θ., μελέτησαν τα χαρακτηριστικά των γεωτεχνικών μεγεθών του εδάφους κοντά στην επιφάνεια και σε βάθη που αντιστοιχούν στις συνήθεις απαιτήσεις των γεωτεχνικών ερευνών για το οικιστικό συγκρότημα της πόλης, γύρω από τον κόλπο του Θερμαϊκού. Οι Βαλαλάς et al. (1992), διερεύνησαν τις εδαφοτεχνικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν κατά μήκος της χάραξης του μετρό Θεσσαλονίκης. Οι εταιρίες Bouygues, Bombardier και SNC-Lavalin (1999) πραγματοποίησαν γεωτεχνική έρευνα, με σκοπό τη συμπλήρωση και τον εμπλουτισμό των γεωτεχνικών και υδρογεωλογικών στοιχείων κατά μήκος του μετρό, ώστε να προκύψει η στρωματογραφία του υπεδάφους και οι τιμές των ιδιοτήτων των εδαφικών στρώσεων με ικανοποιητική ακρίβεια για τις ανάγκες του γενικού οριστικού σχεδιασμού του έργου.

Τέλος, αντικείμενο διερεύνησης πληθώρας επιστημονικών άρθρων και ερευνητικών εργασιών ασχολείται με τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή έρευνας, εστιάζοντας

είτε σε συγκεκριμένα γεωτεχνικά προβλήματα, είτε σε περιοχές μικρής κλίμακας. Οι Hatzigogos et al. (1983) διερεύνησαν τις εν δυνάμει συνθήκες ρευστοποίησης των εδαφικών στρώσεων της πόλης της Θεσσαλονίκης. Οι Tsotsos et al. (1988) διερεύνησαν τα γεωτεχνικά προβλήματα των θεμελιώσεων των Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών μνημείων στη Θεσσαλονίκη. Οι Pavlopoulos et al. (2001) ασχολήθηκαν με τη διερεύνηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών προβλημάτων κατά μήκος της χάραξης του αγωγού πετρελαίου Θεσσαλονίκης - Σκοπίων. Άξια μνείας είναι η έρευνα των Marinou et al. (2008), οι οποίοι ανέλυσαν τις γεωτεχνικές συνθήκες των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας κατά μήκος της χάραξης της βασικής γραμμής του μετρώ της Θεσσαλονίκης, με σκοπό την επιλογή του καταλληλότερου μηχανήματος διάνοιξης, λαμβάνοντας υπόψη και το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής. Στην εργασία των Makedon et al. (2009) αξιολογήθηκε η γεωμηχανική απόκριση των τεχνητών επιχώσεων της Θεσσαλονίκης, με βάση τη συμπεριφορά τους ως υλικό θεμελίωσης, στην περίπτωση εκδήλωσης ενός μεγάλου σεισμικού γεγονότος. Οι Loupasakis και Rozos (2009) ασχολήθηκαν με τη μελέτη της καθίζησης του εδάφους που προκλήθηκε από την άντληση νερού στην περιοχή του Καλοχωρίου. Οι Raspini et al. (2014), Svirgkas et al. (2015, 2016, 2020) και Kalaitzis et al. (2023) ασχολήθηκαν με την παρακολούθηση φαινομένων όπως οι εδαφικές υποχωρήσεις και ανυψώσεις σε περιοχές της ευρύτερης πεδιάδας της Θεσσαλονίκης, για διάφορες περιόδους κατά τις δεκαετίες 1990, 2000 και 2010, χρησιμοποιώντας δορυφορικές παρατηρήσεις, σεισμολογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα. Αντίστοιχα φαινόμενα διερευνήθηκαν σε προγενέστερες έρευνες στις οποίες οι Andronopoulos et al. (1990, 1991), Hatzinakos et al. (1990), Stiros (2001) και Psimoulis et al. (2007) επικεντρώθηκαν στην περιοχή του Καλοχωρίου. Οι Chatzigogos et al. (2017) διερεύνησαν την επιδεκτικότητα σε υδροστερεοποίηση των τεχνητών επιχωματώσεων ενός κτιρίου στο ιστορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης μετά από άνοδο του υδροφόρου ορίζοντα. Οι Papathanassiou και Marinou (2018) ανέπτυξαν ένα χάρτη της ευρύτερης αστικής περιοχής, όπου οι χαρτογραφημένοι σχηματισμοί του τεχνικογεωλογικού χάρτη οριοθετούνται με βάση την εκτιμώμενη επιδεκτικότητά τους σε ρευστοποίηση. Τέλος, οι Kokkala και Marinou (2018) διερεύνησαν τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες της ανατολικής αστικής περιοχής του λεκανοπεδίου της Θεσσαλονίκης, με τη χρήση γεωτεχνικής βάσης δεδομένων.

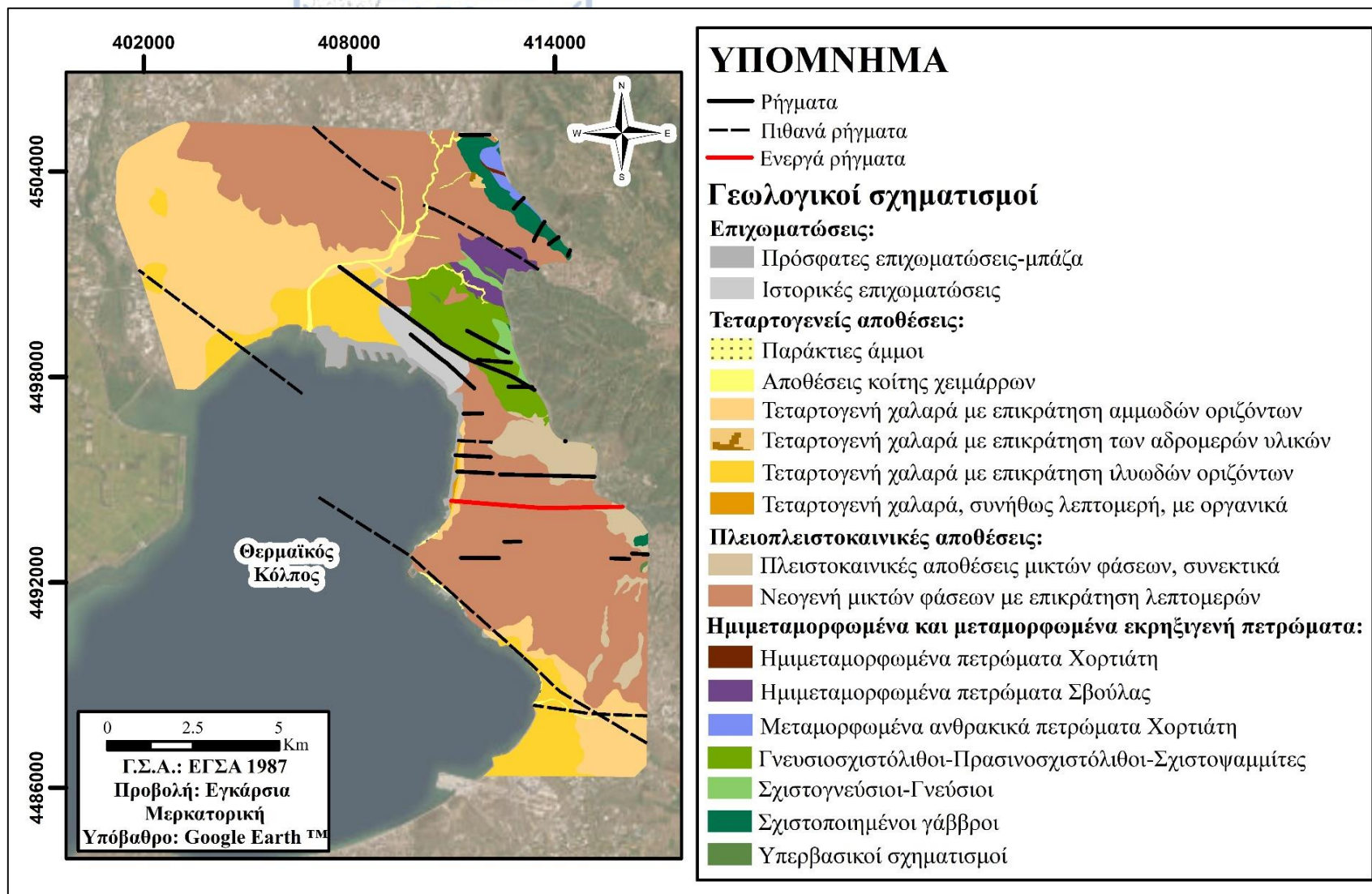
4.3.2 Διαθέσιμα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά

Τα τεχνικογεωλογικά δεδομένα, που παρουσιάζονται ακολούθως, προέρχονται τόσο από τη βιβλιογραφική επισκόπηση που αναπτύσσεται εκτενώς στο εισαγωγικό κεφάλαιο, όσο και από τον διαθέσιμο τεχνικογεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης (Σχήμα 4.21).



Σχήμα 4.21: Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε. (Ρόζος et al., 1998)

Σύμφωνα με τους Ρόζος et al. (1998) και Rozos et al. (2004), οι λιθολογικές ενότητες της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης είναι είκοσι. Ωστόσο, στην περιοχή έρευνας εμφανίζονται οι δεκαεπτά απ' αυτές. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι τέσσερις σχηματισμοί στους οποίους ομαδοποιούνται αυτές οι λιθολογικές ενότητες (Σχήμα 4.22).



Σχήμα 4.22: Ψηφιοποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε. (τροποποιημένο από Ρόζος et al., 1998)

1. Οι επιχωματώσεις διακρίθηκαν σε 2 λιθολογικές ενότητες:

- Πρόσφατες επιχωματώσεις-μπάζα (Rf):

Πρόκειται για υλικά επιχωματώσεων που προέκυψαν είτε από τις εκσκαφές για τη διαμόρφωση διαφόρων χώρων θεμελίωσης, είτε από χώρους δανειοδότησης υλικών και αποτέθηκαν σε παράκτιες κυρίως περιοχές. Αποτελούνται από αργιλοϊλυώδη λεπτομερή κυρίως υλικά με άμμο, ψηφίδες και χάλικες, που είναι χαλαρά και με κακή γεωμηχανική συμπεριφορά.

- Ιστορικές επιχωματώσεις (Hf):

Αποτελούνται από υλικά που προέρχονται από φυσικές ή τεχνητές καταστροφές οικιστικών τμημάτων της Ρωμαϊκής και Βυζαντινής εποχής. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από θραύσματα δομικών υλικών, κεράμους, επιχρίσματα και λοιπά κατασκευαστικά υλικά ανάμικτα με εδαφικούς σχηματισμούς ιλυαμμόδους κυρίως σύστασης. Εντοπίζονται σε μεγάλο τμήμα της κατοικημένης περιοχής, κυρίως στο τμήμα της πόλης κατάντη της οδού Αγ. Δημητρίου, μέχρι και την παραλία, όπου καλύπτουν διάφορους σχηματισμούς, κυρίως όμως αυτούς του Νεογενούς. Το ορατό πάχος τους κυμαίνεται από 3 έως 20 m περίπου κατά θέσεις.

2. Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις διακρίθηκαν σε 6 λιθολογικές ενότητες:

- Παράκτιες άμμοι (Sd):

Άμμοι, ψηφίδες και χάλικες ποικίλου μεγέθους που καλύπτουν τμήματα στην παράκτια ζώνη της περιοχής του χάρτη με περιορισμένη συνήθως έκταση και εύρος ανάπτυξης. Χαλαρός σχηματισμός μικρού γενικά πάχους (1-3 m), συνήθως πτωχά διαβαθμισμένος, με μεγάλο πορώδες και μηδενική έως πολύ χαμηλή συνοχή. Χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές αναμενόμενης φέρουσας ικανότητας και πολύ υψηλές του συντελεστή υδροπερατότητας. Γενικά στις θέσεις των λιμενικών εγκαταστάσεων και της παραλίας, οι παράκτιοι αυτοί σχηματισμοί καλύπτονται από πρόσφατες επιχωματώσεις.

- Αποθέσεις κοίτης χειμάρρων (Rd):

Αποτελούνται από αδρομερή χαλαρά έως ημισυνεκτικά υλικά, κυρίως χάλικες ποικίλων διαστάσεων, άμμους, ψηφίδες, κροκαλολατύπες και αργιλοϊλυώδους σύστασης λεπτομερή υλικά. Γενικά τα αδρομερή στοιχεία είναι ποικίλης προέλευσης από τους σχηματισμούς του υποβάθρου. Εμφανίζουν αυξημένη υδροπερατότητα και μικρή επιφανειακή ανάπτυξη (καλύπτουν τις κοίτες ποταμών και χειμάρρων). Το πάχος τους είναι κυμαινόμενο ανάλογα με την τάξη και το τμήμα του υδρογραφικού άξονα που καλύπτουν, αλλά πιστεύεται ότι δεν υπερβαίνει τα 10 m σε ακραίες περιπτώσεις. Στην περιοχή Επταπυργίου και Νεάπολης οι κροκαλολατύπες εξελίσσονται σε

ερυθρωπές άμμους, χαμηλής διαγένεσης και ποικίλης προέλευσης από γνευσίους, σχιστόλιθους, φυλλίτες κ.λπ.

- Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση αμμωδών οριζόντων (Sd-I):

Αμμώδης ορίζοντας δελταϊκών αποθέσεων από λεπτόκοκκη έως μεσόκοκκη άμμο με κυμαινόμενο ποσοστό αργίλου και ιλύος που δεν υπερβαίνει το 20%. Χαλαρός έως συνεκτικός σχηματισμός με αφθονία μαρμαρυγία κατά θέσεις. Αποκτά συχνά σημαντικό πάχος και παρουσιάζει συχνές και ταχείες μεταβολές της λιθολογικής σύστασης και κοκκομετρίας κατά την οριζόντια και κατακόρυφη ανάπτυξή του. Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά ποικίλουν ανάλογα με την επί μέρους λιθολογική σύσταση και κοκκομετρία, ενώ η συμπεριφορά του ελέγχεται κυρίως από το πάχος ανάπτυξής του. Οι ταχείες πλευρικές μεταβολές στη λιθολογική σύσταση συνεπάγονται ισχυρή ανισοτροπία σε μικροκλίμακα στη μηχανική συμπεριφορά του σχηματισμού. Χαρακτηρίζεται από μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα και δημιουργεί συνήθως υδροφόρους ορίζοντες μεγάλης δυναμικότητας και με έντονες διακυμάνσεις.

- Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση ιλυωδών οριζόντων (SI-I):

Ιλυώδης ορίζοντας δελταϊκών αποθέσεων με επικράτηση της ιλύος και αφθονία μαρμαρυγία κατά θέσεις. Άμμος και άργιλος συμμετέχουν επίσης στη σύστασή του. Σχηματισμός χαλαρός έως συνεκτικός με χαμηλή έως μέτρια υδροπερατότητα. Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κυμαίνονται σε στενά σχετικά όρια.

- Τεταρτογενή χαλαρά συνήθως λεπτομερή με οργανικά (fp-I):

Ορίζοντας μελανότεφρης ιλυώδους αργίλου δελταϊκών αποθέσεων με αφθονία μαρμαρυγία και οργανικών κατά θέσεις. Αμμώδεις ενστρώσεις κατά θέσεις με πάχος που δεν υπερβαίνουν το 1 m. Χαλαρός σχηματισμός κυρίως αποτελούμενος από ιλύ και άργιλο με περιορισμένη επιφανειακή έκταση που όμως αναπτύσσεται σημαντικά σε βάθος στην περιοχή (πάχος μέχρι 30 m). Διατηρεί υψηλά ποσοστά υγρασίας και δημιουργεί τοπικά υδροφόρους ορίζοντες περιορισμένης δυναμικότητας. Η μηχανική του συμπεριφορά είναι συνήθως δυσμενής για τη θεμελίωση κατασκευών. Ορίζοντες του σχηματισμού αυτού σε μεγαλύτερα βάθη αποκτούν συνήθως βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Οι τιμές των φυσικών και μηχανικών του χαρακτηριστικών ποικίλουν σημαντικά και σχετίζονται με το είδος της ένστρωσης (ιλυώδης άργιλος ή αμμώδης ορίζοντας).

- Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση των αδρομερών υλικών (Scr):

Αποτελούνται κυρίως από θραύσματα ποικίλων διαστάσεων πεπλατυσμένα, γνευσιακής, χαλαζιτικής ή και σχιστολιθικής σύστασης, μεγέθους που κυμαίνεται απ' αυτό της ψηφίδας και φτάνει τα 30 cm και με αυξημένο ποσοστό λεπτομερών. Τα λεπτομερή υλικά αποτελούν τη συνδετική ύλη και είναι ιλυοαμμώδους ευρέως σύστασης. Γενικά πρόκειται για χαλαρό έως ημισυνεκτικό

σχηματισμό στο σύνολό του, με μειωμένα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά και αυξημένη υδροπερατότητα. Σημειώνεται ότι τα υπόψη υλικά εντοπίζονται και σε άλλες θέσεις, με πάχη μικρότερα του 1 m, σε ανάμιξη τοπικά με υλικά του μανδύα αποσάθρωσης, που όμως δεν κρίθηκε σκόπιμο να διαχωριστούν, δεδομένου ότι δεν επηρεάζουν τη γενικότερη ασφάλεια και το σχεδιασμό των έργων. Αντίθετα, στις θέσεις που διαχωρίζονται και αποκτούν μεγαλύτερα πάχη, η έλλειψη ικανοποιητικής γεωμηχανικής συμπεριφοράς είναι δυνατόν σε συνδυασμό με ανθρωπογενείς επεμβάσεις (διαμόρφωση τεχνητών πρανών) να δώσει αστοχίες για μεγάλου ύψους πρανή, καθώς πρανή μέχρι 2-2.5 m είναι δυνατόν να διαμορφωθούν σχεδόν κατακόρυφα χωρίς αστοχίες. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται από 1 έως 4 m.

3. Οι πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις διακρίθηκαν σε 2 λιθολογικές ενότητες:

- Πλειστοκαινικές αποθέσεις μικτών φάσεων, συνεκτικά (f, c-cm):

Συνίστανται από αργιλοϊλύωδη υλικά με ψηφίδες και χάλικες χαλαζιακής, γνευσιακής και σχιστολιθικής σύστασης και αραιούς ογκόλιθους της τάξης των 10×30 cm, συνήθως χαλαζιακής σύστασης, με μέγεθος 5 cm και σπανιότερα μέχρι 40 cm σε ίση περίπου αναλογία λεπτομερών αδρομερών. Οι ανώτεροι ορίζοντες αποτελούνται από συνεκτικά έως ημισυνεκτικά αργιλομαργαϊκά υλικά ανοικτοκάστανου χρώματος με άμμο, ψηφίδες και αραιούς χάλικες που επιφανειακά καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης πάχους της τάξης των 80 cm ιλυοαμμώδους κυρίως σύστασης, με μικρό ποσοστό αδρομερών από ψηφίδες και μικρούς χάλικες. Στους ενδιάμεσους ορίζοντες επικρατούν τα λεπτομερή αργιλομαργαϊκά υλικά ερυθροκάστανου χρώματος με ασβεστιτικά συγκρίματα, ψηφίδες και λίγους χάλικες. Τέλος, τους βαθύτερους ορατούς ορίζοντες αποτελούν κροκαλοπαγή, πάχους 4-5 m, που διαμορφώνονται σε πάγκους. Αποτελούνται από πεπλατυσμένες κυρίως ψηφίδες, χάλικες και κροκάλες μεγέθους μέχρι 25 cm, αλλά με επικράτηση αυτών από 3 έως 10 cm, γνευσιακής, σχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης, ενώ η συνδετική ύλη είναι αργιλοψαμμιτική και ψαμμιτομαργαϊκή έως ψαμμιτική. Στην περιοχή της Ηλιούπολης, οι αργιλομάργες καλύπτονται από φακοειδή ορίζοντα συνεκτικού ψηφιδοπαγούς, πάχους μέχρι 2 μέτρα. Εμφανίζουν αυξημένη περατότητα, γενικά καλή γεωμηχανική συμπεριφορά και χαρακτηρίζονται ως ημισυνεκτικοί και στιφροί έως πολύ συνεκτικοί ή σκληροί, στις θέσεις όπου η αργιλοψαμμιτική συνδετική ύλη γίνεται ψαμμιτομαργαϊκή έως ψαμμιτική. Στις θέσεις αυτές διατηρούν κατακόρυφα πρανή ύψους μεγαλύτερα των 5 m. Το ορατό πάχος του σχηματισμού στην περιοχή είναι από λίγα έως μερικά δεκάδες μέτρα.

- Νεογενή μικτών φάσεων με επικράτηση των λεπτομερών (pl, f-c):

Κυρίως αμμώδεις ιλύες έως ιλυώδεις άμμοι με κυμαινόμενο μικρό ποσοστό αργίλου και ψηφίδες κατά θέσεις που σχηματίζουν τοπικά ορίζοντες μικρού πάχους. Αδρομερείς σχηματισμοί από ασύνδετα έως χαλαρά συνδεδεμένα κροκαλοπαγή, κυρίως από ασβεστολιθικής σύστασης ψηφίδες και χάλικες, καλύπτουν κατά θέσεις τους παραπάνω ορίζοντες με πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 1.5 και 10 m. Οι αποκαλυπτόμενοι ορίζοντες υπέρκεινται καστανού χρώματος αργιλομαργαϊκών σχηματισμών από τους οποίους αποτελείται κυρίως η σειρά των Νεογενών. Χαρακτηρίζονται από μέτρια έως υψηλή συνεκτικότητα που εξαρτάται από τη λιθολογική σύσταση. Σχηματισμός πρακτικά στεγανός, αναμένεται όμως η παρουσία μεμονωμένων φακοειδών υδροφόρων οριζόντων στις αδρομερείς φάσεις, μικρής δυναμικότητας.

Οι σχηματισμοί αυτοί, αναφέρονται στις αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας (Αν. Μειόκαινο-Αν. Πλειόκαινο/Κατ. Πλειστόκαινο), όπως περιγράφηκαν στο υποκεφάλαιο της γεωλογίας, και αντιστοιχούν στη «σειρά των ερυθρών αργίλων» και την «ψαμμιτομαργαϊκή σειρά» αντίστοιχα.

4. Τα ημιμεταμορφωμένα και μεταμορφωμένα εκρηξιγενή πετρώματα υποβάθρου διακρίθηκαν σε 7 λιθολογικές ενότητες:

- Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Χορτιάτη από αργιλικούς σχιστόλιθους έως λεπτόκοκκους, λεπτοστρωματώδεις ψαμμίτες, με ενστρώσεις πυριτολίθων και στρώματα δολερίτη (Sh):

Βραχώδεις σχηματισμοί, μελανότεφρου έως τεφρομέλανου χρώματος και μέτρια κερματισμένοι. Χαρακτηρίζονται γενικά από ικανοποιητική γεωτεχνική συμπεριφορά, είναι όμως πιθανό, σε πρηνή με κλίση ομόρροπη προς τη σχιστότητα, να δώσουν αστοχίες μικρής έκτασης. Πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί, που είναι δυνατόν να δώσουν μικροπηγές, εποχιακής συνήθως παροχής, στην επαφή του μανδύα αποσάθρωσης ή και της ζώνης κερματισμού, με το υγιές πέτρωμα.

- Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Σβούλας (Ph):

Πρόκειται για αργιλικούς σχιστόλιθους, ασβεστιτικούς ψαμμίτες και φυλλίτες μελανότεφρου έως τεφρομέλανος χρώματος. Σχηματισμοί πολυπτυχωμένοι και έντονα σχιστοποιημένοι με φλεβίδια χαλαζία. Χαρακτηρίζονται από μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά, που σε πρηνή με μεγάλες κλίσεις είναι δυνατόν να δώσει αστοχίες μικρής έκτασης, κυρίως κατά μήκος της σχιστότητας. Τοπικά καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης μικρού πάχους, το οποίο δεν υπερβαίνει το 1 m. Οι τιμές που εμφανίζονται στον Πίνακα 2.9 χαρακτηρίζουν το υγιές πέτρωμα, ενώ η συμπεριφορά της βραχομάζας καθορίζεται από πολύ κατώτερες τιμές της διατμητικής αντοχής ($c=50-160$ KPa, $\phi=12-40^\circ$).

- Μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα Χορτιάτη (Mr/Ls):

Συνίστανται από μαύρους, κυανόχρους, λευκούς ή και υποκίτρινους λεπτοπλακώδεις έως παχυπλακώδεις κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους (Mr) συχνά μεγάλου πάχους και εκτεταμένης επιφανειακής ανάπτυξης ή κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους σε μικρού πάχους εμφανίσεις μέσα στους σχιστόλιθους ή γνεύσιους (Ls) που συνήθως δεν διαχωρίζονται. Πρόκειται για ανθρακικούς βραχώδεις σχηματισμούς με χαρακτηριστική ομοιογένεια και μάλλον μεγάλο δευτερογενές πορώδες. Χαρακτηρίζονται από υψηλές μηχανικές αντοχές και διατηρούν σχεδόν κατακόρυφα πρηνή σημαντικό, πολλές φορές, ύψους. Εξαιρεση αποτελούν οι περιπτώσεις, όπου η ισχυρή τοπικά διάρρηξη σε συνδυασμό με το δυσμενή προσανατολισμό των ασυνεχειών ή και τις υποσκαφές προκαλούν αποκολλήσεις και καταπτώσεις βραχωδών μαζών.

- Γνευσιοσχιστόλιθοι-Πρασινοσχιστόλιθοι-Σχιστοψαμμίτες (Grs):

Πρόκειται για μεταμορφωμένους βραχώδεις σχηματισμούς της μαγματικής σειράς Χορτιάτη, γενικά τεφροπράσινου έως βαθύτεφρου χρώματος. Συναντώνται συνήθως ισχυρά κερματισμένοι και ασθενώς αποσαθρωμένοι. Οι γνευσιοσχιστόλιθοι-πρασινοσχιστόλιθοι εμφανίζουν φυλλώδη συνήθως δομή (πυκνή χιλιοστομετρική σχιστότητα) και εμφανίζονται ισχυρά πτυχωμένοι έως τοπικά φολιδωμένοι. Οι σχιστοψαμμίτες διαμορφώνουν σχιστότητα σε πάγκους πάχους μέχρι και 1 μέτρο, εμφανίζουν ισχυρό έως συνήθως μέτριο κερματισμό. Γενικά η βραχομάζα των σχηματισμών αυτών διελαύνεται από φλεβίδια έως φακοειδείς ενστρώσεις χαλαζία. Στο σύνολό τους, αποτελούν βραχώδεις σχηματισμούς με ικανοποιητική γεωμηχανική συμπεριφορά, διατηρούν υψηλά έως σχεδόν κατακόρυφα τεχνητά πρηνή με τοπικές μόνο και μικρής έκτασης αστοχίες συνήθως με τη μορφή σφήνας. Τοπικά, η έντονα φυλλώδης δομή σε συνδυασμό με την τεκτονική της περιοχής είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε επίπεδες ολισθήσεις.

- Σχιστογενέσιοι-Γνεύσιοι (Gns):

Πρόκειται για μεταμορφωμένο, βραχώδη σχηματισμό, που επίσης εντάσσεται στη μαγματική σειρά Χορτιάτη, ανοιχτότεφρου χρώματος, με μικρού μεγέθους φεμικά συστατικά, υγιή και συνήθως μέτρια κερματισμένο. Παρουσιάζει καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, ενώ από πλευράς βραχομάζας δεν αναμένεται να εμφανίσει αστοχίες ακόμη και σε σημαντικού ύψους τεχνητά πρηνή, πέρα από καταπτώσεις βραχωδών μαζών μικρών διαστάσεων σε ακραίες περιπτώσεις, κυρίως δυναμικής φόρτισης.

- Σχιστοποιημένοι Γάββροι (Gb):

Πρόκειται για βραχώδη σχηματισμό μελανότεφρου έως τεφρομέλανος χρώματος, ισχυρά κερματισμένο από ισχυρό δίκτυο διαρρήξεων, ο οποίος καλύπτεται από μανδύα αποσάθρωσης, το πάχος του οποίου δεν υπερβαίνει το 1 m. Χαρακτηρίζεται από μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά, ενώ

σε πρηνή με σημαντικές κλίσεις είναι δυνατόν να δώσει μικρής έκτασης αστοχίες, είτε με τη μορφή καταπτώσεων μικρού όγκου βραχωδών μαζών, είτε με τη μορφή ολισθήσεων.

- Υπερβασικοί σχηματισμοί (ο):

Αποτελούνται από σχιστοποιημένους σερπεντινίτες, περιδοτίτες και δουνίτες, τεφροπράσινου έως πρασινότεφρου χρώματος, συνήθως έντονα κερματισμένους, που διελαύνονται από διασταυρούμενα φλεβίδια χαλαζία. Σχηματισμοί με μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά, χωρίς την εμφάνιση αστοχιών πρηνών.

Στον πίνακα 4.4 παρουσιάζονται τα εύρη τιμών για τις φυσικές και μηχανικές παραμέτρους των σχηματισμών που περιγράφονται παραπάνω, σύμφωνα με τον τεχνικογεωλογικό χάρτη των Ρόζος et al. (1998). Ωστόσο, αυτές οι περιγραφές είναι αρκετά γενικές και στερούνται λεπτομερειών λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων δεδομένων και της κλίμακας του χάρτη. Τα συγκεκριμένα εύρη τιμών είναι πολύ μεγάλα και δεν θεωρούνται αντιπροσωπευτικά, καθώς δεν συνοδεύονται από περαιτέρω στατιστική επεξεργασία και επηρεάζονται από ακραίες τιμές. Ακόμη, παρότι σε κάποιες περιπτώσεις γίνεται αναφορά σε σχέση με το πάχος που κυμαίνεται ο εκάστοτε σχηματισμός, αυτή δεν συνοδεύεται από κάποιο χάρτη κατανομής πάχους, ούτε από επιπλέον διερεύνηση σε σχέση με τη διακύμανση των γεωτεχνικών παραμέτρων με το βάθος.

Πίνακας 4.4: Συγκεντρωτικός πίνακας με εύρη τιμών παραμέτρων σύμφωνα με τον τεχνικογεωλογικό χάρτη (τροποποιημένος από Ρόζος et al., 1998; Rozos et al., 2004)

Γεωλογικός σχηματισμός	Συμβολισμός σχηματισμού	Σύνηθες εύρος τιμών φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών									
		LL(%)	PL(%)	w(%)	$\gamma_b(\text{KN/m}^3)$	$\gamma_d(\text{KN/m}^3)$	$q_u(\text{MPa})$	c(KPa)	$\varphi(^{\circ})$	Cc	E (GPa)
Πρόσφατες επιχωματώσεις-μπάζα	Rf	-	-	-	15-22	-	0.002-0.04	-	-	-	-
Ιστορικές επιχωματώσεις	Hf	-	-	-	17-23	-	-	-	-	-	-
Παράκτιες άμμοι	Sd	-	-	-	19-23	-	-	0-1	28-32	-	0.01-0.05
Αποθέσεις κοίτης χειμάρρων	Rd	13-35	-	8-15	20-25	-	0.03-0.19	0-85	24-49		-
Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση αμμωδών οριζόντων	Sd-l	8.7-39	11.8-21.4	3.1-39.1	14.8-21.7	11.8-18.4	0.014-0.117	1-50	28-30	0.12-0.29	-
Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση ιλυωδών οριζόντων	Sl-l	21-49	17.5-32.2	23.2-53	16.5-19.9	12.3-15.2	0.017-0.025	5-80	7-28	0.1-0.47	-
Τεταρτογενή χαλαρά, συνήθως λεπτομερή, με οργανικά	fp-l	17.8-94.8	10-38	4-69.4	14.8-23	8.7-18.2	0.004-0.12	3-170	0-37	0.08-1.01	-
Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση των αδρομερών υλικών	Scr	17-30	-	18-26	20-24	-	0.03-0.12	0-20	25-48	-	-

Πίνακας 4.4: Συγκεντρωτικός πίνακας με εύρη τιμών παραμέτρων σύμφωνα με τον τεχνικογεωλογικό χάρτη (τροποποιημένος από Ρόζος et al., 1998; Rozos et al., 2004) (συνέχεια)

Γεωλογικός σχηματισμός	Συμβολισμός σχηματισμού	Σύνηθες εύρος τιμών φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών									
		LL(%)	PL(%)	w(%)	γ_b (KN/m ³)	γ_d (KN/m ³)	q_u (MPa)	c(KPa)	$\phi(^{\circ})$	Cc	E(GPa)
Πλειστοκαινικές αποθέσεις μικτών φάσεων, συνεκτικά	f, c-cm	30.7-53.4	15.4-20.6	9.5-15.7	20.1-22.4	17.4-20.3	-	45-135	8-29	-	-
Νεογενή μικτών φάσεων με επικράτηση των λεπτομερών	pl, f-c	20-75.1	8-26.6	8-44.6	10.6-13.8	6.3-21.1	0.044-1.34	43-170	4-58	0.03-0.38	0.07-0.1
Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Χορτιάτη	Sh	-	-	-	18-24	-	7-100	1000-3000	26-30	-	-
Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Σβούλας	Ph	-	-	-	18-24	-	7-120	1000-4000	28-32	-	-
Μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα Χορτιάτη	Mr/Ls	-	-	-	25-29	-	60-200	10000-30000	35-45	-	70-100
Γνευσιοσχιστόλιθοι-Πρασινοσχιστόλιθοι-Σχιστοψαμμίτες	Grs	-	-	-	20-25	-	20-180	10000-40000	30-46	-	4-25
Σχιστογενεύσιοι-Γενεύσιοι	Gns	-	-	-	20-26	-	20-100	10000-40000	30-48	-	4-25
Σχιστοποιημένοι Γάββροι	Gb	-	-	-	20-26	-	25-180	10000-45000	30-48	-	4-25
Υπερβασικοί σχηματισμοί	o	-	-	-	17-34	-	20-180	25000-55000	40-50	-	3.5-25

4.3.3 Γεωτεχνικές ταξινομήσεις - κατατάξεις

Οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις και τα διάφορα συστήματα κατάταξης χαρακτηρισμού των γεωυλικών έχουν καθιερωθεί πλέον στη διαδικασία του σχεδιασμού τεχνικών έργων. Η αξιοπιστία τους θεωρείται συνήθως δεδομένη καθώς βασίζεται στην εμπειρία που έχει αποκτηθεί από πολυάριθμες περιπτώσεις τεχνικών έργων. Γενικά η εφαρμογή και η χρήση των γεωτεχνικών ταξινομήσεων - κατατάξεων έχουν τους εξής βασικούς στόχους:

- να ταξινομηθεί ο σχηματισμός σε επιμέρους ενότητες – κατηγορίες που η κάθε μία να χαρακτηρίζεται από παρόμοια μηχανική συμπεριφορά, απαιτώντας αντίστοιχα ενιαία αντιμετώπιση
- να διευκολυνθεί ο σχεδιασμός τεχνικών έργων δίνοντας ποσοτικά στοιχεία και παραμέτρους που απαιτούνται στην επίλυση των τεχνικών προβλημάτων σχεδιασμού
- να αποτελέσει μια κοινή βάση συνεννόησης μεταξύ των επιστημονικών ειδικοτήτων που ασχολούνται με τα γεωτεχνικά προβλήματα (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι ιδιότητες των υπό έρευνα εδαφικών σχηματισμών, χρησιμοποιήθηκαν διαθέσιμα δεδομένα από συνολικά 618 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή έρευνας. Από τα γεωυλικά τα οποία ελήφθησαν κατά τη διάνοιξη των γεωτρήσεων, διαμορφώθηκαν δοκίμια και πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές ώστε να προσδιοριστούν οι ιδιότητες αυτών. Στις περιπτώσεις που κρίθηκε απαραίτητο και ήταν εφικτό, πραγματοποιήθηκαν κι επιτόπου δοκιμές. Στη συνέχεια περιγράφονται οι δοκιμές, των οποίων τα διαθέσιμα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της διατριβής.

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών αξιολογήθηκαν παράλληλα με τις διαθέσιμες γεωλογικές περιγραφές στα μητρώα των γεωτρήσεων κι έπειτα εισήχθησαν στη βάση δεδομένων. Ανώτερος σκοπός αυτής της διαδικασίας, ήταν ο προσδιορισμός των τεχνικογεωλογικών και γεωτεχνικών παραμέτρων των υπό έρευνα εδαφικών σχηματισμών, καθώς και η ταξινόμησή τους σε διάφορες κατηγορίες σύμφωνα με τα ισχύοντα συστήματα κατάταξης. Ακολούθως, τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν στη δημιουργία στατιστικών κατανομών, θεματικών χαρτών, εδαφικών προφίλ και μοντέλων τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά σε επόμενα κεφάλαια.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται σε θεωρητικό επίπεδο οι βασικές πληροφορίες των επιτόπου κι εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις διαθέσιμες γεωτεχνικές μελέτες για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων που εξετάζονται στην παρούσα διατριβή.

4.3.3.1 Επιτόπου δοκιμές

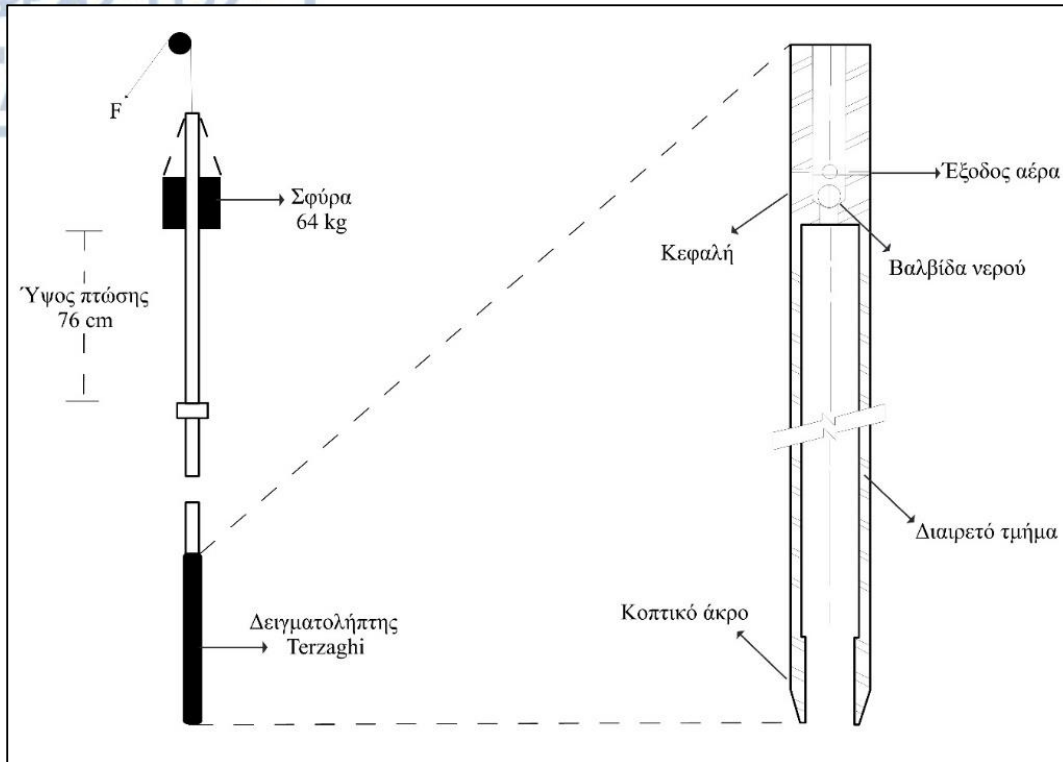
Η διαδικασία αυτή αφορά δοκιμές που γίνονται στον τόπο κατασκευής ενός έργου. Παρότι δεν διαθέτουν την ακρίβεια των εργαστηριακών δοκιμών στον προσδιορισμό των γεωτεχνικών παραμέτρων, σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μόνο ή κατά βάση αυτές, καθώς μπορούν να δώσουν μία καλή εικόνα για τις ιδιότητες του εδάφους.

- Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (Standard Penetration Test - SPT)

Αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ τη δεκαετία του 1920 για την εκτίμηση των εδαφικών παραμέτρων κοκκωδών εδαφών και στη συνέχεια η εφαρμογή της επεκτάθηκε τόσο σε «μικτά» εδαφικά υλικά, όσο και σε περιπτώσεις στιφρών έως σκληρών αργίλων (Barnes, 1995).

Η συγκεκριμένη δοκιμή χρησιμοποιείται ευρέως καθώς δίνει μια ποσοτική εικόνα της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφικών σχηματισμών, ενώ παράλληλα είναι γρήγορη και σχετικά φθηνή. Σκοπός της είναι ο άμεσος προσδιορισμός της αντίστασης των σχηματισμών στην διείσδυση δίνοντας παράλληλα χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την πυκνότητα και τη συνεκτικότητα των εδαφών. Επίσης, μέσω αυτής, μπορούν να υπολογιστούν έμμεσα οι παράμετροι διατμητικής αντοχής και συμπιεστότητας με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων. Ακόμη, μπορεί να καθοριστεί η επιτρεπόμενη φέρουσα ικανότητα και να υπολογιστούν οι καθιζήσεις στις περιπτώσεις κατασκευής τεχνικών έργων.

Το σημαντικό πλεονέκτημα της δοκιμής είναι ότι πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την εκτέλεση της δειγματοληπτικής γεώτρησης, με χρήση ειδικού μηχανισμού. Η διαδικασία που ακολουθείται, περιγράφεται παρακάτω. Προσδιορίζεται ο αριθμός των κρούσεων (N_{SPT}) για προχώρηση του ειδικού δειγματολήπτη Terzaghi με πτώση αντίβαρου 63.5 kg από ύψος 76.2 cm, κατά 45 cm, σε τρία διαδοχικά τμήματα των 15 cm (Σχήμα 4.23). Ο αριθμός κρούσεων για τη διείσδυση του δειγματολήπτη στο πρώτο τμήμα των 15 cm δεν λαμβάνεται υπόψη. Αυτό συμβαίνει γιατί στο τμήμα αυτό το έδαφος θεωρείται διαταραγμένο από τη διαδικασία της διάτρησης ή είναι πληρωμένο με υλικά που έχουν καταπέσει από το ασωλήνωτο τμήμα της γεώτρησης. Ο χαρακτηρισμός των δειγμάτων γίνεται βάσει της προχώρησης στα δύο εναπομείναντα τμήματα των 15cm (σύνολο 30 cm). Με τον τρόπο αυτό, απεικονίζεται η αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στη διείσδυση του συγκεκριμένου δειγματολήπτη.



Σχήμα 4.23: Διαστάσεις πρότυπου δειγματολήπτη και σχηματική απεικόνιση της δοκιμής πρότυπης διεύθυνσης (τροποποιημένο από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002)

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι χαρακτηρισμοί των συνεκτικών και κοκκωδών εδαφών κατά BS: 5930 και Terzaghi και Peck (1967), βάσει του αριθμού των κρούσεων N_{SPT} . Οι λεπτόκοκκοι εδαφικοί σχηματισμοί των οποίων η σύσταση χαρακτηρίζεται από την επικράτηση αργίλου ή ιλύος κατατάσσονται με βάση τη συνεκτικότητά τους σε έξι κατηγορίες (Πίνακας 4.5). Οι αδρόκοκκοι εδαφικοί σχηματισμοί των οποίων η σύσταση χαρακτηρίζεται από την επικράτηση της άμμου ή των χαλίκων κατατάσσονται με βάση την πυκνότητά τους σε πέντε κατηγορίες (Πίνακας 4.6).

Πίνακας 4.5: Χαρακτηρισμός συνεκτικών εδαφών κατά BS: 5930 και Terzaghi and Peck (1967)

N_{SPT}	Χαρακτηρισμός εδάφους
<2	Πολύ μαλακό
2-4	Μαλακό
4-8	Σταθερό
8-15	Στιφρό
15-30	Πολύ στιφρό
>30	Σκληρό

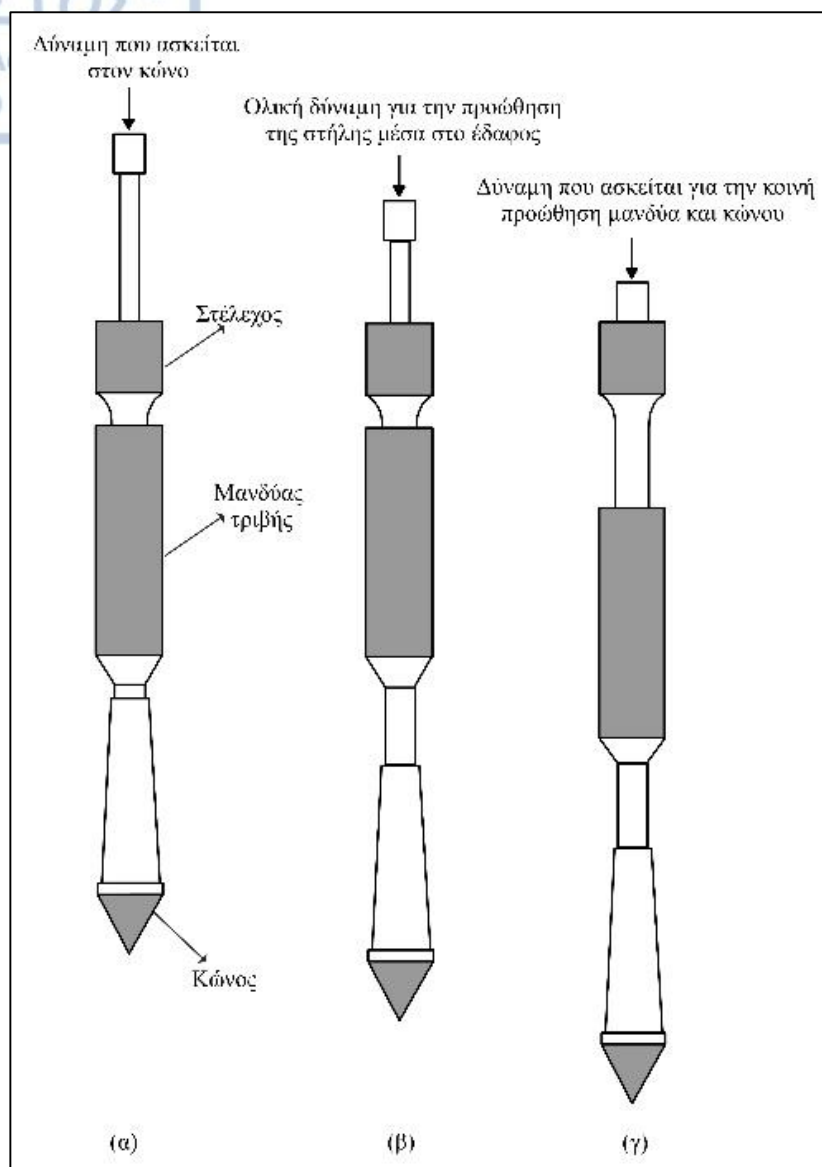
Πίνακας 4.6: Χαρακτηρισμός κοκκωδών εδαφών κατά BS: 5930 και Terzaghi and Peck (1967)

N _{SPT}	Χαρακτηρισμός εδάφους
0-4	Πολύ χαλαρό
4-10	Χαλαρό
10-30	Μέτρια πυκνό
30-50	Πυκνό
>50	Πολύ πυκνό

- Δοκιμή διείσδυσης κώνου/στατικής πενετρομέτρησης (Cone Penetration Test - CPT)

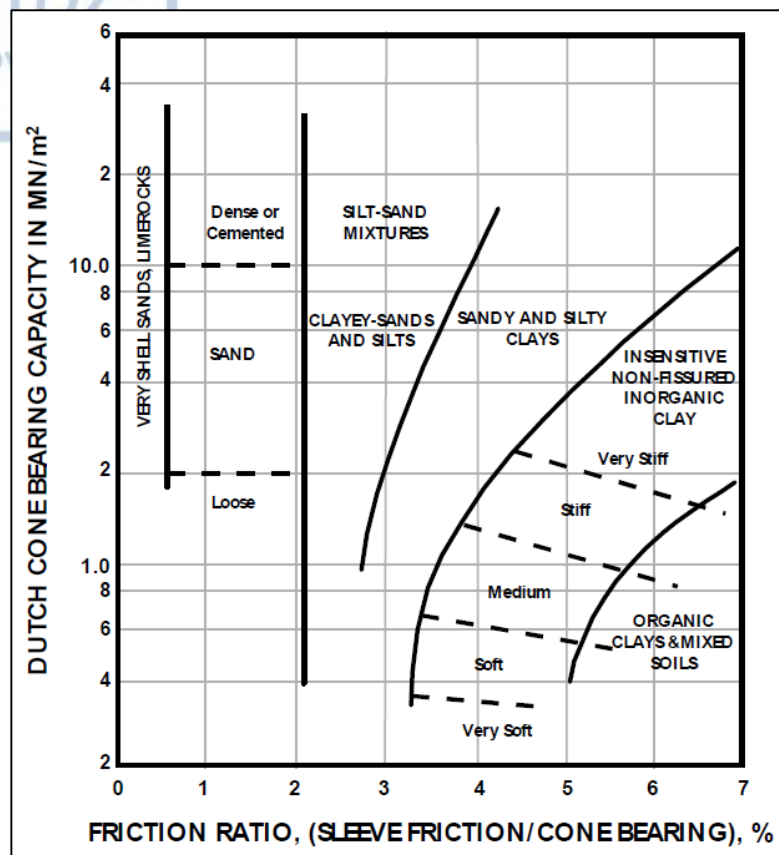
Η συγκεκριμένη δοκιμή είναι ιδιαίτερα δημοφιλής καθώς παρέχει σημαντικά δεδομένα για τον προσδιορισμό των εδαφικών παραμέτρων και της στρωματογραφίας ενός πεδίου, με σκοπό τον σχεδιασμό θεμελιώσεων και την αξιολόγηση των γεωλογικών κινδύνων (Lunne, 2012). Η δοκιμή CPT εκτελείται χωρίς δυνατότητα δειγματοληψίας. Παρουσιάζει, ωστόσο, σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η ταχύτητα εκτέλεσης, το μικρό κόστος και η συνεχής καταγραφή των μετρήσεων (ανά 20 cm για τον μηχανικό κώνο και ανά 1 cm για τον ηλεκτρικό).

Οι πενετρομετρήσεις, τα αποτελέσματα των οποίων χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή, διεξήχθησαν με αυτοκινούμενο πενετρόμετρο και με σταθερή ταχύτητα έμπηξης. Στις πενετρομετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ολλανδικός κώνος τύπου Begemann (Σχήμα 4.24), ο οποίος επιτρέπει την καταγραφή της δύναμης που ασκείται στον κώνο (α), της ολικής δύναμης για την προώθηση της στήλης (αιχμή κώνου και στελέχη) μέσα στο έδαφος (β) και της δύναμης που ασκείται για την κοινή προώθηση μανδύα και κώνου (γ).



Σχήμα 4.24: Στάδια λειτουργίας Ολλανδικού κώνου Begemann (τροποποιημένο από Wesley and Dobie, 2022)

Από τις παραπάνω μετρήσεις, προκύπτει συνεχώς με το βάθος, η αντίσταση αιχμής του κώνου q_c καθώς και η τοπική πλευρική τριβή F_s μεταξύ της ποδιάς του κώνου και του εδάφους. Υπολογίζεται ο λόγος τριβής $FR = F_s/q_c$ (friction ratio), από τον οποίο, γνωρίζοντας την τιμή της αντίστοιχης αντίστασης αιχμής του κώνου είναι δυνατή η εκτίμηση της σύστασης των εδαφικών στρώσεων με τη χρήση εμπειρικών νομογραφημάτων όπως αυτό στο Σχήμα 4.25.



Σχήμα 4.25: Νομογράφημα χαρακτηρισμού των εδαφικών σχηματισμών συναρτήσει της αντίστασης αιχμής και του λόγου τριβής στατικού πενετρομέτρου με Ολλανδικό κώνο Begemann. (Sanglerat et al., 1974)

- Δοκιμές εισπίεσης νερού

Η γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών μιας υπό έρευνα περιοχής αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στον σχεδιασμό και την κατασκευή των τεχνικών έργων. Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο υπολογισμός της υδροπερατότητας του εδάφους. Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατότητας k έχει διαστάσεις ταχύτητας (m/s ή cm/s) και εκφράζει την ευκολία με την οποία κινείται το νερό σε ένα γεωλογικό σχηματισμό. Η τιμή του k προσδιορίζεται με τις επιτόπου δοκιμές εισπίεσεων. Οι δοκιμές αυτές γίνονται κατά τη διάρκεια προχώρησης της δειγματοληπτικής γεώτρησης. Σε συγκεκριμένο απομονωμένο τμήμα της γεώτρησης, διοχετεύεται νερό και μετράται, άμεσα ή έμμεσα, η ποσότητα νερού που απορροφάται από το έδαφος, σε σχέση με την εφαρμοζόμενη πίεσή του. Με βάση την τιμή του k χαρακτηρίζονται αντίστοιχα οι γεωλογικοί σχηματισμοί από άποψη περατότητας (Πίνακας 4.7). Πολύ μικρές τιμές υδροπερατότητας ($k \leq 10^{-9}$ m/s) αντιστοιχούν σε πρακτικά αδιαπέρατο σχηματισμό, ενώ υψηλές τιμές ($k \geq 10^{-3}$ m/s) σε πολύ υδροπερατό.

Πίνακας 4.7: Τυπικές τιμές συντελεστών υδροπερατότητας (Terzaghi and Peck, 1967)

k (m/sec)	Κατηγορία
$k > 10^{-3}$	Υψηλή περατότητα
$10^{-3} < k < 10^{-5}$	Μέση περατότητα
$10^{-5} < k < 10^{-7}$	Χαμηλή περατότητα
$10^{-7} < k < 10^{-9}$	Πολύ χαμηλή περατότητα
$k < 10^{-9}$	Πρακτικά αδιαπέρατο

Από τις τρεις διαθέσιμες δοκιμές εισπιέσεων, αναλύονται οι δύο καθώς είναι αυτές που πραγματοποιούνται σε εδαφικούς σχηματισμούς.

i. Δοκιμή σταθερού φορτίου (Constant head test - Lefranc)

Στη δοκιμή αυτή μετράται η παροχή του νερού σε συνάρτηση με τον χρόνο που διοχετεύεται στη γεώτρηση, ώστε η στάθμη του νερού μέσα στη σωλήνωση της επένδυσης της γεώτρησης να είναι σταθερή. Συνίσταται σε κοκκώδη εδάφη μεγάλης περατότητας όπως για παράδειγμα η καθαρή άμμος ή τα μίγματα άμμου-χαλικιού με λιγότερο από 10% λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς ή/και άργιλος) (Barnes, 1995).

Η γεώτρηση είναι σωληνωμένη και γεμάτη καθαρό νερό (Σχήμα 4.26), ώστε να συγκρατούνται τα τοιχώματά της, καθαρά από υλικά διάτρησης. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής προστίθεται νερό, έτσι ώστε η πίεση στον πυθμένα της να παραμένει σταθερή. Όταν η πτώση στάθμης του νερού που μετρίεται μέσα στη γεώτρηση είναι μικρή (της τάξης του 1 cm/min) τότε εφαρμόζεται πρόσθετη πίεση στο νερό που διοχετεύεται με τη βοήθεια παρεμβύσματος.

Η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας δίνεται από τη σχέση:

$$k = Q / (C \times h_c) \quad (4.1)$$

όπου:

k: συντελεστής υδροπερατότητας

Q: σταθερή παροχή νερού (m³/s ή cm³/s)

C: συντελεστής θύλακα, οι τιμές του οποίου δίνονται από σχετικό πίνακα (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002)

h_c: σταθερή στάθμη νερού (m ή cm) που επιβάλλεται και μετρίεται από το μέσο του μήκους του εισπιεζόμενου τμήματος

Όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι χαμηλότερα από το εισπιεζόμενο τμήμα, ισχύει:

$$h_c = H_B + L / 2 + v \quad (4.2)$$

όπου:

H_B : το βάθος της σωλήνωσης επένδυσης

$L/2$: το μισό του εισπνεζόμενου τμήματος

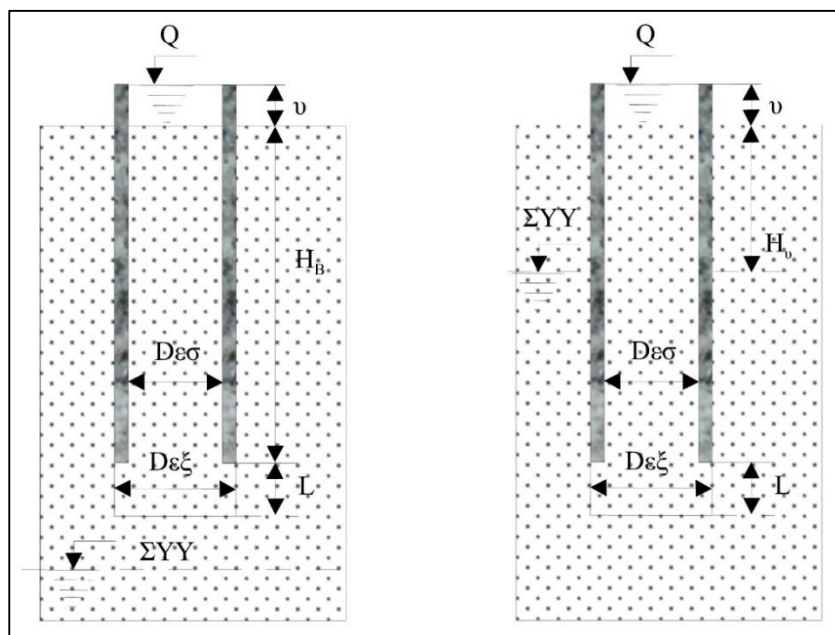
v : το μήκος του σωλήνα επένδυσης που «εξέχει» της επιφάνειας του εδάφους

Όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλότερα από το εισπνεζόμενο τμήμα, ισχύει:

$$h_c = H_v + v \quad (4.3)$$

όπου:

H_v : το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα



Σχήμα 4.26: Τυπική διάταξη δοκιμής σταθερού φορτίου
(τροποποιημένο από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002)

ii. Δοκιμή πίπτοντος ή μεταβλητού φορτίου (Falling head - Maag)

Κατά τη δοκιμή αυτή, γεμίζεται με νερό η σωληνωμένη γεώτρηση δημιουργώντας στάθμη h_1 (Σχήμα 4.27). Έπειτα, χρονομετρείται το διάστημα μέσα στο οποίο η στάθμη θα κατέβει σε h_2 . Μετράται η πτώση της στάθμης μέσα στη σωληνωμένη γεώτρηση (με ασωλήνωτο ένα τμήμα αυτής, το οποίο αποτελεί και το δοκιμαζόμενο τμήμα) σε συνάρτηση με το χρόνο. Συνίσταται σε λεπτόκοκκα εδάφη μικρής περατότητας (λεπτή άμμος, ιλύς, άργιλος). Γι' αυτά τα εδάφη, ο ρυθμός ροής του νερού είναι πολύ μικρός για να επιτρέψει ακριβείς μετρήσεις με τη χρήση της δοκιμής σταθερού φορτίου (Whitlow, 2001).

Η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$k = \left[A / (C(t_2 - t_1)) \right] \times \ln(h_1/h_2) \quad (4.4)$$

όπου:

k : συντελεστής υδροπερατότητας

A: διατομή στήλης νερού στο σωλήνα επένδυσης (d: διάμετρος εσωτερική, όπου γίνονται οι μετρήσεις της στάθμης, οπότε $A = \pi \times d^2/4$). Για κεκλιμένες γεωτρήσεις η διατομή είναι ελλειπτική και υπολογίζεται ανάλογα.

C: συντελεστής θύλακα, οι τιμές του οποίου δίνονται από σχετικό πίνακα (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002)

h_1 και h_2 : οι στάθμες του νερού στη γεώτρηση σε αντίστοιχους χρόνους t_1 και t_2 .

Η στάθμη του νερού μετρείται από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι χαμηλότερα από το εισπνεζόμενο τμήμα τότε:

$$h_1 = H_B + L/2 + v - \omega_1 \quad (4.5)$$

όπου:

H_B : το βάθος της σωλήνωσης επένδυσης

$L/2$: το μισό του εισπνεζόμενου τμήματος

v : το μήκος του σωλήνα επένδυσης που «εξέχει» της επιφάνειας του εδάφους

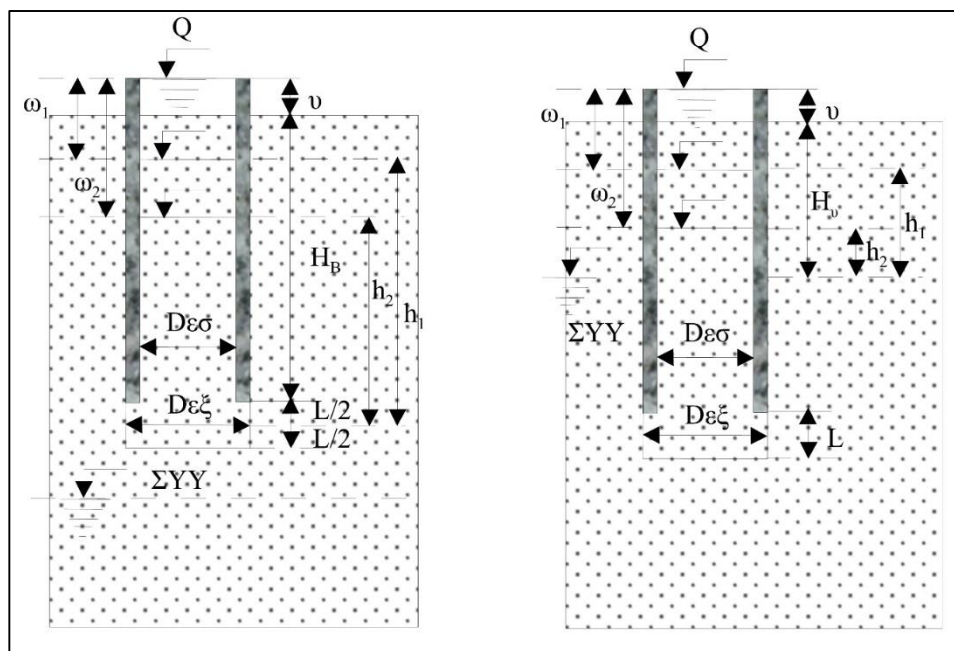
ω : η μετρούμενη στάθμη του νερού από το άκρο του σωλήνα (ω_1 και ω_2 για h_1 και h_2 αντίστοιχα)

Όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλότερα από το εισπνεζόμενο τμήμα, ισχύει:

$$h_1 = H_v + v - \omega_1 \quad (4.6)$$

όπου:

H_v : το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα



Σχήμα 4.27: Τυπική διάταξη δοκιμής πίπτοντος φορτίου (τροποποιημένο από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002)

4.3.3.2 Εργαστηριακές δοκιμές

Με τη διαδικασία της δειγματοληψίας η οποία γίνεται συνήθως με τη χρήση γεωτρήσεων λαμβάνονται εδαφικά δείγματα τα οποία μεταφέρονται στον χώρο του εργαστηρίου. Εκεί, με κατάλληλες εργαστηριακές μεθοδολογίες, προσδιορίζονται οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων.

Οι εργαστηριακές δοκιμές της εδαφομηχανικής έχουν τυποποιηθεί από διάφορους φορείς, ώστε να είναι δυνατή η πραγματοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών και η εξαγωγή συμβατών αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών εργαστηρίων. Τέτοιοι φορείς είναι ο ελληνικός οργανισμός τυποποίησης (ΕΛ.Ο.Τ.) για την Ελλάδα αλλά και διεθνείς φορείς όπως οι ASTM, UCS, ISO, BST, DIN κ.α. Για τον ελλαδικό χώρο αναφέρεται επίσης και το Ελληνικό Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών (Hellenic Soil Classification System - HSCS) που δημιουργήθηκε από το Τμήμα Τεχνικής Γεωλογίας της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., το 2006, καθώς δεν υπήρχε στην Ελλάδα ένα σύστημα ταξινόμησης εδαφών για γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές που να είναι σε συμφωνία με τον Ευρωκώδικα 7 (ΕΛΟΤ EN 1997) και ειδικότερα με τα σχετικά με την περιγραφή και ταξινόμηση του εδάφους πρότυπα ΕΛΟΤ EN ISO 14688-1:2003 και ΕΛΟΤ EN ISO 14688-2:2005. Η ταξινόμηση εδαφών σε ομάδες εδαφών ανάλογης σύστασης και παρόμοιων γεωτεχνικών χαρακτηριστικών, σύμφωνα με το HSCS, πραγματοποιείται με βάση την ταυτοποίηση και μακροσκοπική περιγραφή των εδαφών και την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών. Σε κάθε περίπτωση, η τήρηση των προδιαγραφών που εκδίδονται από τον εκάστοτε φορέα είναι υποχρεωτική από τα εργαστήρια, προκειμένου τα αποτελέσματα των δοκιμών να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό έργων (Σακελλαρίου et al., 2003).

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι βασικές πληροφορίες των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων που εξετάζονται στην παρούσα διατριβή, χωρίς να γίνεται περαιτέρω ανάλυση της διαδικασίας των εργαστηριακών δοκιμών. Τα αποτελέσματα των διάφορων εργαστηριακών δοκιμών, όπως προέκυψαν από τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό την εκτενή αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων των υπό έρευνα εδαφικών σχηματισμών. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται εκτενώς σε επόμενα κεφάλαια.

- Προσδιορισμός φυσικών παραμέτρων

- *Περιεχόμενη υγρασία (w)*

Ως φυσική υγρασία ορίζεται η περιεχόμενη υγρασία ενός εδαφικού δείγματος στην φυσική του κατάσταση. Η μέτρηση της φυσικής υγρασίας πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθείται για τη μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας, αρκεί το εδαφικό δείγμα να έχει μεταφερθεί προσεκτικά από την περιοχή της γεώτρησης στο εργαστήριο, ώστε να μην χαθεί υγρασία.

Η περιεχόμενη υγρασία αντιπροσωπεύει τη μάζα του νερού που περιέχεται σε έναν εδαφικό σχηματισμό και εκφράζεται σαν εκατοστιαία αναλογία της μάζας του δείγματος σε ξηρή κατάσταση (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002). Σε εδάφη με κόκκους ίσου μεγέθους είναι δυνατόν να υπάρχει περιεχόμενη υγρασία που κυμαίνεται από 0 έως 20% ή ακόμη και 30%, ενώ σε ιλυοαργιλώδη εδάφη αυτή είναι δυνατόν να φτάσει σε κατάσταση κορεσμού μέχρι 100% ή και περισσότερο (Παπαχαρίσης και συν., 2015). Ορίζεται ως το ποσοστό του βάρους του περιεχόμενου νερού, προς το βάρος της στερεάς φάσης (των εδαφικών κόκκων), σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$w (\%) = M_w / M_s \times 100 \quad (4.7)$$

όπου:

w : το ποσοστό υγρασίας

M_w , M_s : το βάρος του νερού που υπάρχει στους πόρους και το βάρος των στερεών κόκκων του εδάφους αντίστοιχα.

➤ Βαθμός κορεσμού (S)

Εκφράζει το ποσοστό του όγκου των πόρων ενός εδάφους που πληρούται με νερό (V_w) σε σχέση με το συνολικό όγκο των πόρων (V_v) και δίνεται από τον τύπο:

$$S (\%) = V_w / V_v \times 100 \quad (4.8)$$

Το ανώτερο όριο (100%) αντιπροσωπεύει κορεσμένο έδαφος και συνεπώς, σ' αυτήν την περίπτωση, το σύνολο των πόρων πληρούται με νερό. Το κατώτερο όριο (0%) αντιστοιχεί σε εντελώς ξηρή κατάσταση, οπότε ο όγκος των κενών πληρούται με αέρα (Πίνακας 4.8).

Πίνακας 4.8: Βαθμός κορεσμού σε διάφορες καταστάσεις εδάφους (Terzaghi and Peck, 1967)

S (%)	Κατάσταση εδάφους
0	Ξηρή
1-25	Ύφυγη
26-50	Υγρή
51-75	Πολύ υγρή
76-99	Διαβρεγμένη
100	Κορεσμένη

Ακολούθως δίνονται κάποιες περαιτέρω διευκρινίσεις για την κατάσταση του εδάφους, βάσει σύστασης:

- Αργιλικά εδάφη με βαθμό κορεσμού $S=90\%$, είναι δυνατόν να είναι τόσο σκληρά ώστε να εκλαμβάνονται ως ξηρά

- Χονδρόκοκκα αμμώδη εδάφη που βρίσκονται πάνω από τον φρεάτιο ορίζοντα είναι συνήθως ύφυγρα
- Η λεπτόκοκκη ή ιλυώδης άμμος είναι πολύ υγρή, βρεγμένη ή και κορεσμένη
- Η άργιλος είναι πάντοτε σχεδόν κορεσμένη, ή τελείως κορεσμένη, με εξαίρεση την επιφανειακή στρώση που υπόκειται σε εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας (Παπαχαρίσης και συν., 2015)

➤ *Φαινόμενο βάρος (γ_b)*

Καλείται διαφορετικά ως ολικό ή υγρό φαινόμενο βάρος και ορίζεται ως ο λόγος του φυσικού βάρους εδαφικού δείγματος προς το συνολικό του όγκο. Αποδίδεται σε gr/cm^3 , KN/m^3 ή Mg/m^3 (στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ο όρος «πυκνότητα») και προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\gamma_b = W_t / V_t \quad (4.9)$$

όπου:

W_t : ολικό βάρος και

V_t : ολικός όγκος του δείγματος

➤ *Ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_d)*

Για τον προσδιορισμό του ξηρού φαινόμενου βάρους, το δείγμα θα πρέπει να έχει ξηρανθεί στον αέρα πριν τη δοκιμή, καθώς η συγκεκριμένη παράμετρος αναφέρεται στην περίπτωση που όλο το νερό έχει απομακρυνθεί από το δείγμα. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\gamma_d = W_s / V_t \quad (4.10)$$

όπου:

W_s : βάρος στερεών σωματιδίων και

V_t : ολικός όγκος του δείγματος

➤ *Δείκτης πόρων ή λόγος κενών (e)*

Εκφράζει τη σχέση μεταξύ του όγκου των κενών (V_v) και του όγκου των στερεών (V_s) μέσα στον όγκο του συνόλου της εδαφικής μάζας και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$e = V_v / V_s \quad (4.11)$$

➤ *Πορώδες (n)*

Το πορώδες εκφράζεται επί τοις εκατό (%) και αντιστοιχεί στο ποσοστό του όγκου των κενών (V_v) ενός εδάφους σε σχέση με τον ολικό όγκο του δείγματος (V_t). Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$n (\%) = V_v / V_t \times 100 \quad (4.12)$$

Το πορώδες και ο δείκτης πόρων συσχετίζονται ως εξής:

$$n (\%) = e / (1 + e) \times 100 \quad \text{ή} \quad e = n / (1 - n) \quad (4.13, 4.14)$$

➤ Κοκκομετρική διαβάθμιση

Η διαδικασία διαχωρισμού των εδαφών σε κλάσεις μεγέθους χαρακτηρίζεται ως κοκκομετρική ανάλυση. Η εν λόγω ανάλυση θεωρείται διεθνώς η καταλληλότερη εργαστηριακή δοκιμή για τη μηχανική κατάταξη των εδαφών. Η ταξινόμηση των εδαφών κατά ASTM STANDARDS είναι μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία ταξινόμησης των εδαφικών υλικών και στηρίζεται σε εργαστηριακές δοκιμές, όπως η κοκκομετρική διαβάθμιση με τη χρήση κόσκινων. Τα εδάφη χωρίζονται σε δύο μεγάλες ομάδες με βάση το μέγεθος των κόκκων τους που βρίσκεται σε μεγαλύτερο ποσοστό, τα λεπτόκοκκα και τα χονδρόκοκκα. Τα λεπτόκοκκα αποτελούνται από κόκκους στο μέγεθος της αργίλου και της ιλύος, ενώ τα χονδρόκοκκα αποτελούνται από κόκκους στο μέγεθος της άμμου ή μεγαλύτερο. Στο Σχήμα 4.28 παρουσιάζεται ο διαχωρισμός των δύο ομάδων στις διάφορες κατηγορίες και υποδιαίρεσεις των εδαφικών υλικών σύμφωνα με το μέγεθος των κόκκων τους και τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται κατά την κοκκομετρική ανάλυση.

	Κατηγορίες εδαφικών υλικών	Υποδιαίρεσεις εδαφικών υλικών	Χαρακτηριστικά κόσκινα	Μέγεθος κόκκων (mm)
Χονδρόκοκκα υλικά	Λίθοι Κροκάλες			75mm
	Χαλίκια	Χονδρόκοκκα χαλίκια		19mm
		Λεπτόκοκκα χαλίκια	No4	4.75mm
	Λεπτόκοκκα υλικά	Άμμος	Χονδρόκοκκη άμμος	No10
Μεσόκοκκη άμμος			No40	0.425mm
Λεπτόκοκκη άμμος			No200	0.075mm
Ιλύς		Απαιτείται υδραυλική κοκκομετρική δοκιμή με χρήση αραιόμετρου		0.005mm
Αργίλος				

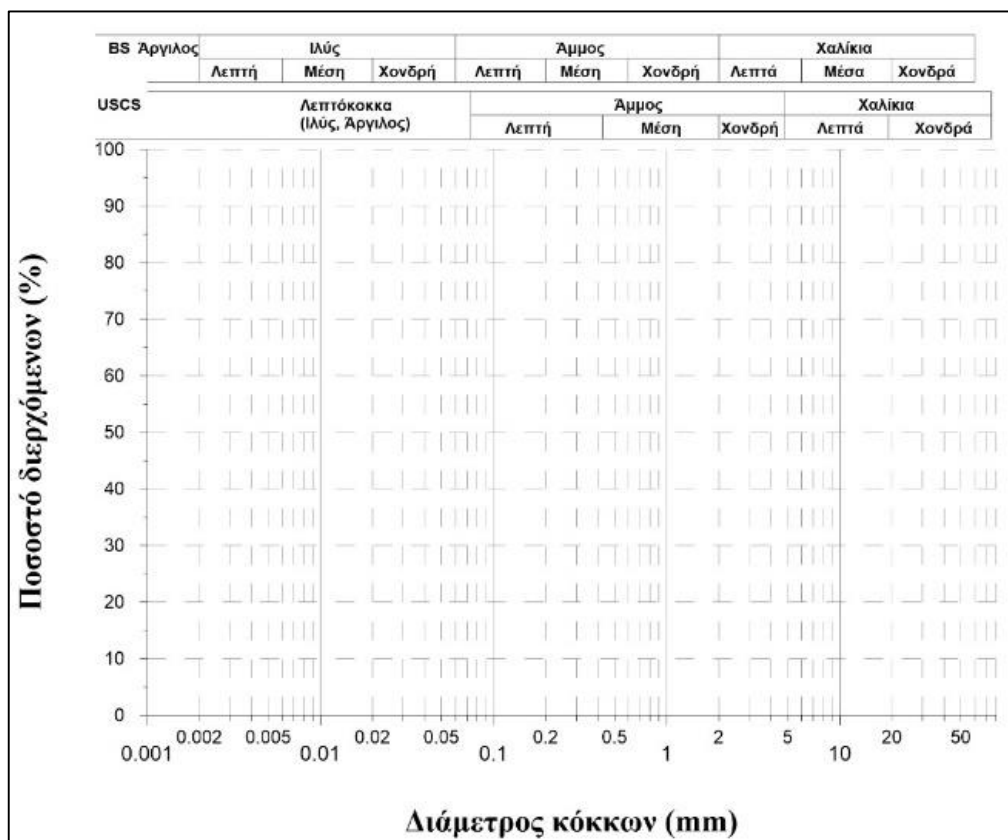
Σχήμα 4.28: Κατηγορίες εδαφικών υλικών, χαρακτηριστικά κόσκινα και μέγεθος κόκκων κατά ASTM, 1975 (τροποποιημένο από Σακελλαρίου et al., 2003)

Στον ελληνικό χώρο χρησιμοποιείται ιδιαίτερα το ενοποιημένο σύστημα ταξινόμησης (Unified Soil Classification System - USCS) καθώς και οι Βρετανικοί κανονισμοί (British Standards - BS) που έχουν γίνει αποδεκτοί τις τελευταίες δεκαετίες στην Ευρωπαϊκή κοινότητα (Σχήμα 4.29).



Σχήμα 4.29: Διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εμφάνισης ως προς το μέγεθος των κόκκων (σε λογαριθμική κλίμακα), σύμφωνα με τις ταξινομήσεις κατά USCS και BS

Η κατανομή του μεγέθους των κόκκων, όπως προκύπτει από την κοκκομετρική ανάλυση, παρουσιάζεται σε διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εμφάνισης ως προς το μέγεθος των κόκκων (Σχήμα 4.30).



Σχήμα 4.30: Όρια μεγεθών κόκκων εδαφικών υλικών, σύμφωνα με τα συστήματα γεωτεχνικής ταξινόμησης USCS και BS (τροποποιημένο από Holtz και Kovacs, 1981)

➤ *Όρια Atterberg*

Τα όρια Atterberg προτάθηκαν στις αρχές του 1900 με σκοπό να περιγραφεί η συμπεριφορά των εδαφών ανάλογα με τη μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας. Ουσιαστικά περιγράφουν τη μετάπτωση του εδάφους από την υγρή στην πλαστική, και στην συνέχεια στην ημιστερεή και στερεή κατάσταση, σύμφωνα με τα ποσοστά της περιεχόμενης υγρασίας. Οι δοκιμές για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg, δηλαδή του ορίου υδαρότητας, πλαστικότητας και συρρίκνωσης, πραγματοποιούνται σε εδάφη που διέρχονται από το κόσκινο Νο40. Όταν τα όρια υδαρότητας ή πλαστικότητας δεν μπορούν να προσδιοριστούν (για παράδειγμα στα κοκκώδη εδάφη), αυτά αναφέρονται ως NP (Non Plastic: μη πλαστικό έδαφος). Στην παρούσα διατριβή εξετάζονται μόνο τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας, η περιγραφή των οποίων δίνεται συνοπτικά παρακάτω.

Όριο υδαρότητας (LL ή W_L): Είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας (%) τη στιγμή που το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή (ρευστή) κατάσταση. Για περιεχόμενη υγρασία πάνω από το όριο υδαρότητας το έδαφος συμπεριφέρεται περισσότερο ως ρευστή μάζα. Κάτω απ' αυτό το όριο, το έδαφος συμπεριφέρεται ως εύπλαστο υλικό. Ο προσδιορισμός γίνεται με τη χρήση της συσκευής Casagrande και αναφέρεται στην τιμή της περιεχόμενης υγρασίας για την οποία τα τοιχώματα, διαμορφωμένης εγκοπής δείγματος εδάφους που τοποθετείται στην συσκευή, έρχονται σε επαφή μεταξύ τους μετά από 25 κρούσεις. Στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφών σε σχέση με την τιμή του ορίου υδαρότητας.

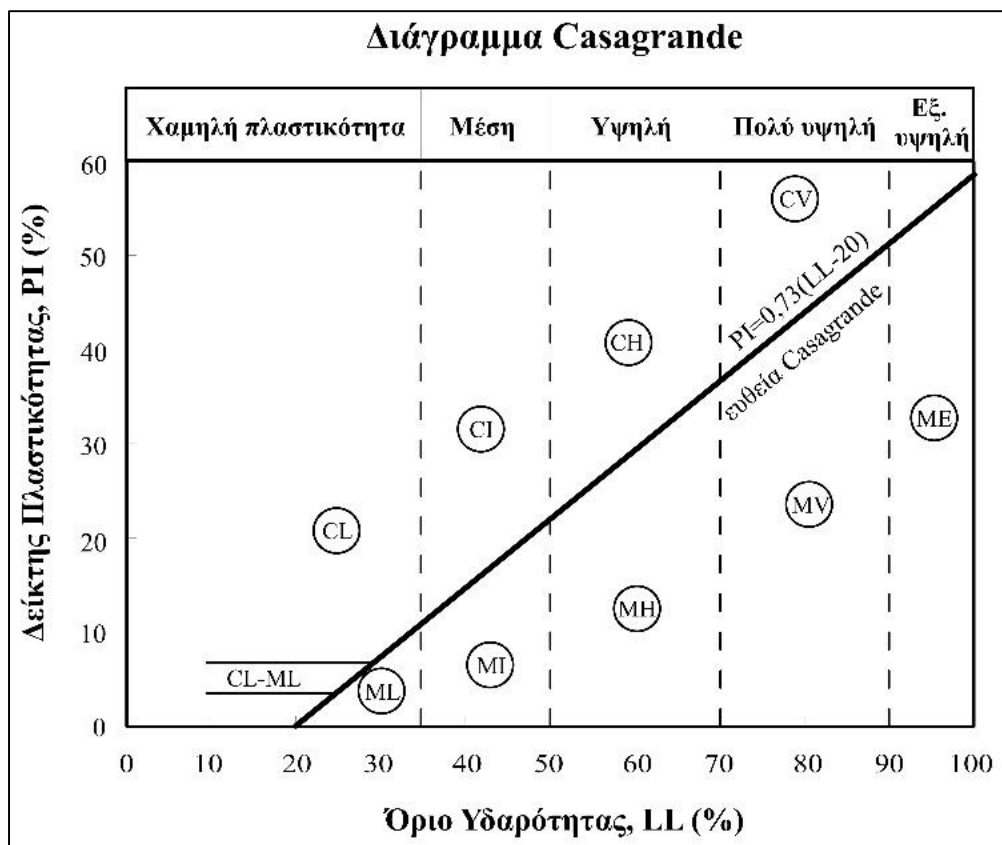
Πίνακας 4.9: Ταξινόμηση εδαφών με βάση το όριο υδαρότητας (Whitlow, 2001)

LL (%)	Χαρακτηρισμός εδάφους
$LL < 35$	Χαμηλής πλαστικότητας
$35 \leq LL \leq 50$	Μέσης πλαστικότητας
$50 < LL \leq 70$	Υψηλής πλαστικότητας
$70 < LL \leq 90$	Πολύ υψηλής πλαστικότητας
$LL > 90$	Εξαιρετικά υψηλής πλαστικότητας

Όριο πλαστικότητας (PL ή W_p): Είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας (%) τη στιγμή που το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση. Όταν η περιεχόμενη υγρασία είναι μεταξύ του ορίου πλαστικότητας και του ορίου υδαρότητας, τότε το έδαφος συμπεριφέρεται ως εύπλαστο υλικό. Κάτω από αυτό το όριο, το εδαφικό δείγμα τείνει να γίνει εύθρυπτο όταν επιχειρήσουμε να το πλάσουμε. Ο προσδιορισμός γίνεται με την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας

σε εδαφικό δείγμα το οποίο αρχίζει να θρυμματίζεται όταν πλάθεται σε λεπτούς ραβδίσκους διαμέτρου 3 mm.

Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας χρησιμοποιούνται διεθνώς για την αναγνώριση και κατάταξη των εδαφών με βάση το διάγραμμα Casagrande (Σχήμα 4.31), σε συνδυασμό με τη μέθοδο της κοκκομετρικής ανάλυσης βάσει των προδιαγραφών κατά ASTM D-2487. Σύμφωνα με το διάγραμμα, τα ιλυώδη εδάφη βρίσκονται κάτω από την ευθεία Casagrande, ενώ τα αργίλικα, πάνω απ' αυτήν.



Σχήμα 4.31: Διάγραμμα κατάταξης λεπτόκοκκων εδαφών κατά Casagrande (ASTM D-2487)

Από τον καθορισμό των ορίων Atterberg, μπορούν να προσδιοριστούν οι παρακάτω δείκτες:

Δείκτης πλαστικότητας (PI ή I_p): Αναφέρεται στο εύρος της περιεχόμενης υγρασίας κατά το οποίο το έδαφος αποκτά πλαστικές ιδιότητες και συμπεριφέρεται ως πλαστικό. Όσο πιο λεπτομερές είναι το υλικό, τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης πλαστικότητας. Υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας, από τη σχέση: $PI = LL - PL$. Στον Πίνακα 4.10 παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφών σε σχέση με την τιμή του δείκτη πλαστικότητας.

Πίνακας 4.10: Ταξινόμηση εδαφών με βάση τον δείκτη πλαστικότητα (Anonymus, 1979)

PI (%)	Χαρακτηρισμός εδάφους
$PI < 1$	Μη πλαστικό
$1 \leq PI < 7$	Χαμηλής πλαστικότητας
$7 \leq PI \leq 17$	Μέσης πλαστικότητας
$17 < PI \leq 35$	Υψηλής πλαστικότητας
$PI > 35$	Εξαιρετικά υψηλής πλαστικότητας

Δείκτης συνεκτικότητας (I_c): Χαρακτηρίζει τη διατμητική αντοχή ενός εδάφους. Αυτή αυξάνει όσο ο δείκτης συνεκτικότητας αυξάνεται μεταξύ των τιμών 0 και 1. Όταν λαμβάνει αρνητικές τιμές, τότε η φυσική υγρασία του, είναι υψηλότερη του ορίου υδαρότητας. Υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ του ορίου υδαρότητας και της περιεχόμενης υγρασίας, προς τον δείκτη πλαστικότητα, από τη σχέση: $I_c = (LL - w/PI)$. Στον Πίνακα 4.11 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφών σε σχέση με την τιμή του δείκτη συνεκτικότητας.

Πίνακας 4.11: Ταξινόμηση εδαφών με βάση τον δείκτη πλαστικότητα (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002)

I_c	Χαρακτηρισμός εδάφους
$I_c \leq 0.25$	Πολύ μαλακό
$0.25 < I_c \leq 0.50$	Μαλακό
$0.50 < I_c \leq 0.75$	Στιφρό
$0.75 < I_c \leq 1$	Πολύ στιφρό
$I_c > 1$	Σκληρό

- Προσδιορισμός μηχανικών παραμέτρων

- Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης

Με τον όρο αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, καλείται η θραύση μετά από πίεση ενός δείγματος κατά μία μόνο κατεύθυνση (κατακόρυφη), χωρίς να επιβάλλεται πλευρική φόρτιση σ' αυτό. Η εκτέλεση της δοκιμής δεν είναι εφικτή σε μη συνεκτικά εδάφη, επειδή δεν είναι δυνατή η παρασκευή εδαφικών δοκιμίων. Το θλιπτικό αξονικό φορτίο που εφαρμόζεται έχει σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης 0,5 - 2,0% ανά min και ταχύτητα τέτοια, ώστε η συνολική παραμόρφωση του δοκιμίου να φτάσει το 20% του αρχικού ύψους χωρίς η δοκιμή να ξεπερνάει τα 10 min.

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής καταγράφονται ζεύγη τιμών φορτίου παραμόρφωσης μέχρι να σημειωθεί μείωση του φορτίου με αυξανόμενη παραμόρφωση ή μέχρι αυτή να φτάσει στο 20% του

αρχικού ύψους του δοκιμίου. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι η μέγιστη τιμή της τάσης που καταγράφεται ή η τάση που αντιστοιχεί σε παραμόρφωση 20%. Αρχικά, υπολογίζεται η ανηγμένη παραμόρφωση (ε) που παρουσιάζει το δοκίμιο με τη φόρτιση, από τη σχέση:

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (4.15)$$

όπου:

L_0 : το αρχικό ύψος του δοκιμίου

ΔL : η παραμόρφωση του δοκιμίου

Έπειτα υπολογίζεται η διορθωμένη επιφάνεια του δοκιμίου λόγω της μεταβολής του σχήματός του. Το διορθωμένο εμβαδόν (A) υπολογίζεται σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ύψους του δοκιμίου, με σταθερό όγκο με βάση τη σχέση:

$$A = A_0 / (1 - \Delta L / L_0) = A_0 / (1 - \varepsilon) \quad (4.16)$$

όπου:

A_0 : το αρχικό εμβαδόν της βάσης του δοκιμίου (πR^2)

L_0 : το αρχικό ύψος του δοκιμίου

ΔL : η παραμόρφωση του ύψους του στο αναφερόμενο στάδιο φόρτισης

Με βάση το διορθωμένο εμβαδόν (A), υπολογίζεται η αξονική τάση (q) που επιβαλλόταν στο δοκίμιο λόγω της φόρτισής του με φορτίο (P), από τη σχέση:

$$q = P / A = P \times (1 - \varepsilon) / A_0 \quad (4.17)$$

Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι, μια καμπύλη που μας δίνει την παραμόρφωση του δείγματος σε συνάρτηση με την τάση φόρτισης (την μονοαξονική πίεση). Από το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης προκύπτει η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u), η οποία αντιστοιχεί στο μέγιστο του διαγράμματος [$q_u = (P/F)_{\max}$], δηλαδή στη μέγιστη τιμή πίεσης ανά επιφάνεια. Με τα αποτελέσματα της δοκιμής κατασκευάζεται κύκλος Mohr με μηδενική πλευρική τάση ($\sigma_3 = 0$).

➤ Δοκιμή άμεσης διάτμησης

Στη δοκιμή της άμεσης διάτμησης το εδαφικό δοκίμιο τετραγωνικής ή κυλινδρικής διατομής τοποθετείται στο εσωτερικό δύο μεταλλικών δακτυλίων όπου επιβάλλεται σταθερό κατακόρυφο φορτίο, καθώς και διατμητική (οριζόντια) αυξανόμενη δύναμη μέχρι τη θραύση του. Έτσι, το έδαφος θραύεται κατά μία προκαθορισμένη επιφάνεια που λέγεται επιφάνεια διάτμησης. Κατά τη δοκιμή αυτή μετρίεται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους σε σχέση με τη μεταβολή σταθερής ορθής τάσης που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια διάτμησης. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.

Υπάρχουν τρεις τύποι δοκιμών:

1. Ταχεία δοκιμή χωρίς προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου

Σε αυτό τον τύπο της δοκιμής μετά την επιβολή της ορθής τάσης αρχίζει αμέσως η διάτμηση χωρίς να προηγηθεί στερεοποίηση του δοκιμίου.

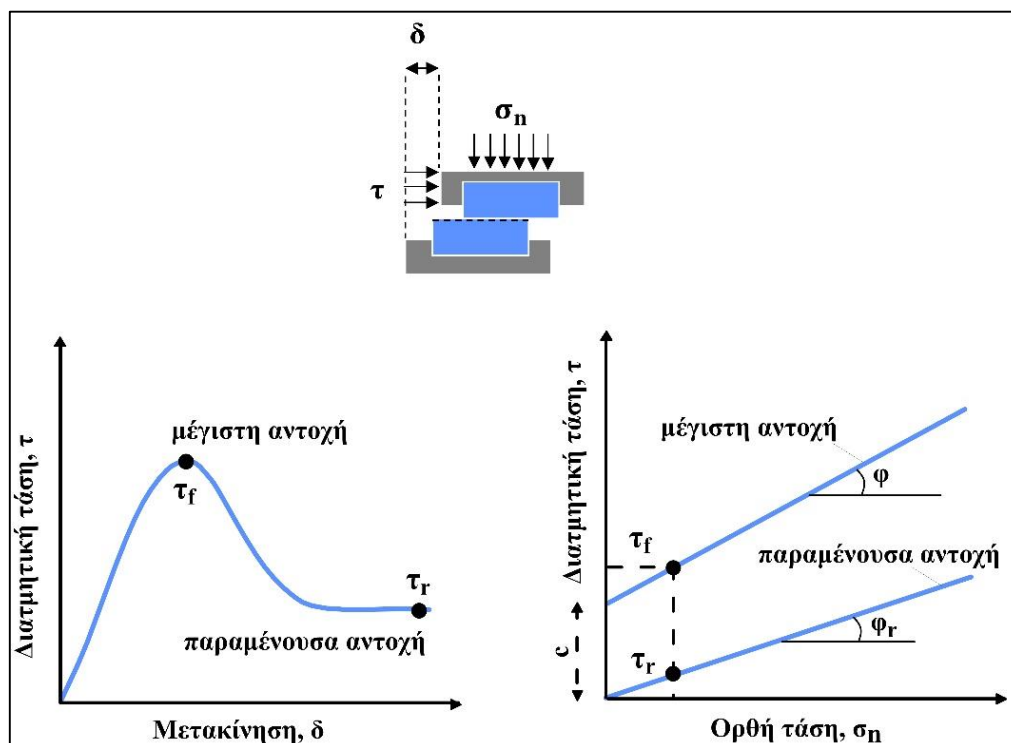
2. Ταχεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου

Σ' αυτό τον τύπο της δοκιμής γίνεται προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου υπό πίεση ίση με την ορθή τάση που θα εφαρμόζεται στο δοκίμιο κατά τη διάτμηση.

3. Βραδεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου

Μετά τη στερεοποίηση του δοκιμίου υπό την επιθυμητή ορθή τάση, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, γίνεται διάτμηση του δοκιμίου με βραδεία επιβολή της διατμητικής παραμόρφωσης, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί πλήρης εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων.

Για τον προσδιορισμό της συνοχής (c) και της γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) από τη δοκιμή άμεσης διάτμησης απαιτούνται τουλάχιστον τρεις (3) δοκιμές. Από κάθε δοκιμή προκύπτει ένα ζεύγος τιμών τ , σ_n (τ : μέγιστη διατμητική τάση, σ : εφαρμοζόμενη ορθή τάση κατά τη διάτμηση του δοκιμίου), οι οποίες παρουσιάζονται σε αντίστοιχο διάγραμμα. Για κάθε δοκιμή δημιουργούνται καμπύλες «διατμητικής τάσης, τ - μετακίνησης, δ » και «διατμητικής τάσης, τ - ορθής τάσης, σ_n » (Σχήμα 4.32).



Σχήμα 4.32: Διαγράμματα «διατμητικής τάσης, τ – μετακίνησης, δ » και «διατμητικής τάσης, τ - ορθής τάσης, σ_n ». (τροποποιημένο από Μαρίνος, 2012)

➤ Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων συνεκτικών εδαφών, σε αδιατάρακτη κατάσταση ή ύστερα από αναζύμωση. Η εφαρμογή του κατακόρυφου φορτίου, που ασκείται κατά τον άξονα του δοκιμίου, που υπόκεινται ταυτόχρονα με μια πλευρική πίεση, ελέγχεται με τη μέτρηση των παραμορφώσεων του δοκιμίου και των τάσεων που ασκούνται σε αυτό.

Αποτελεί την πλέον αντιπροσωπευτική και αξιόπιστη δοκιμή διερεύνησης της συμπεριφοράς του εδάφους που υπόκεινται σε εντατικές καταστάσεις. Σημαντικό είναι το πλεονέκτημα που παρουσιάζει έναντι της δοκιμής άμεσης διάτμησης, καθώς η διατμητική θραύση δεν ακολουθεί προκαθορισμένο επίπεδο αλλά συντελείται κατά το επίπεδο ελάχιστης αντοχής. Για την πραγματοποίηση της δοκιμής χρειάζεται να προετοιμαστούν τρία δοκίμια.

Κατά την δοκιμή αυτή εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων σ' ένα δοκίμιο εδάφους, όπου κατά την τριαξονική φόρτιση μετά από την στερεοποίηση λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων του δοκιμίου. Κατά το στάδιο της διάτμησης, η ταχύτητα φόρτισης του δοκιμίου θα πρέπει να είναι τόσο βραδεία, ώστε πρακτικά να μην αναπτύσσεται καμία πίεση του νερού των πόρων στο δοκίμιο ($u=0$). Η δοκιμή αυτή παρέχει τα δεδομένα για τον προσδιορισμό των διατμητικών ιδιοτήτων και της σχέσης τάσης - παραμόρφωσης των εδαφών.

Η αξονική παραμόρφωση ε , σε οποιονδήποτε χρόνο, βρίσκεται από τη σχέση:

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (4.18)$$

όπου:

L_0 : αρχικό ύψος του δοκιμίου

ΔL : μεταβολή ύψους του δοκιμίου (ανάγνωση μηχανοσκόπου).

Η κύρια διαφορική τάση $\sigma_1 - \sigma_3$ ισούται με τη διαφορά της μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης, όπου οι κύριες τάσεις μπορεί να είναι είτε οι ολικές σ_1, σ_3 , είτε οι ενεργές σ'_1, σ'_3 :

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma'_1 - \sigma'_3 = P/A \quad (4.19)$$

όπου:

P : το φορτίο που εξασκείται αξονικά

A : η ανηγμένη διατομή του δοκιμίου για το αντίστοιχο αξονικό φορτίο

Η διατομή του δοκιμίου για ένα δεδομένο φορτίο δίνεται από τη σχέση:

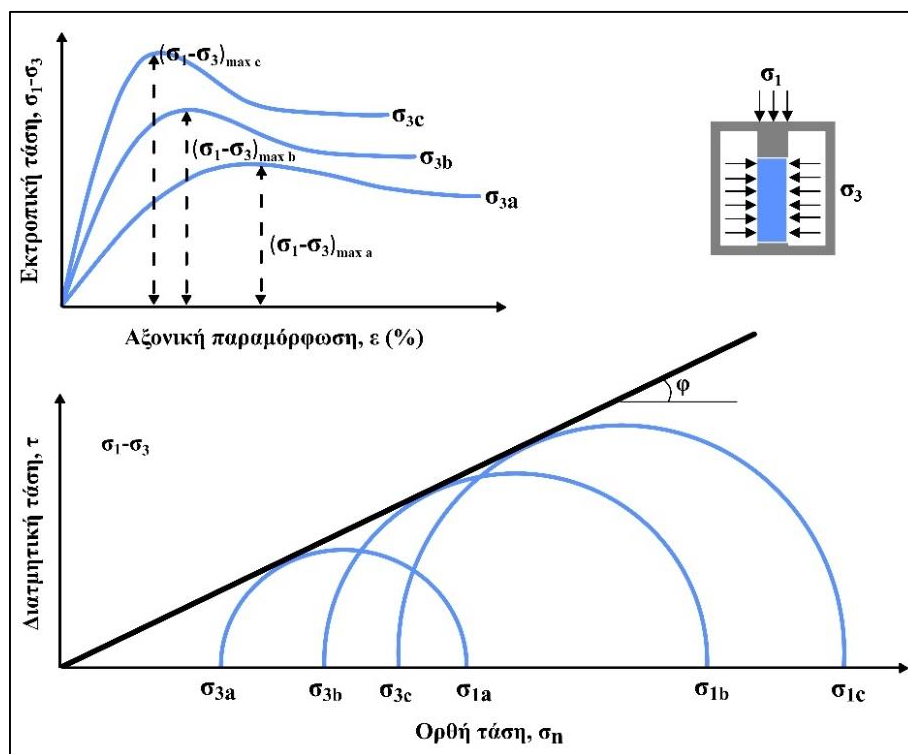
$$A = A_0 / (1 - \varepsilon) \quad (4.20)$$

όπου:

A_0 : αρχική διατομή του δοκιμίου

ε : αξονική παραμόρφωση για το δεδομένο αξονικό φορτίο.

Τα στοιχεία των δοκιμών συνήθως παριστάνονται σε διάγραμμα $\sigma_1 - \sigma_3$ σε συνάρτηση της αξονικής παραμόρφωσης (καμπύλη τάσεων – παραμορφώσεων). Από την καμπύλη αυτή εκτιμάται η μέγιστη εκτροπική τάση ($\sigma_1 - \sigma_3$)_{max}. Ακόμη ένας τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων είναι οι κύκλοι Mohr. Για κάθε μία δοκιμή σχεδιάζονται κύκλοι Mohr με τα ζεύγη τιμών (σ_1, σ_3) με σκοπό τον προσδιορισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής (Σχήμα 4.33).



Σχήμα 4.33: Διαγράμματα «εκτροπικής τάσης, $\sigma_1 - \sigma_3$ - αξονικής παραμόρφωσης, ϵ (%)» και «διατμητικής τάσης, τ - ορθής τάσης, σ_n ». (τροποποιημένο από Μαρίνος, 2012)

Γενικά, η διατμητική αντοχή του εδάφους είναι συνάρτηση όχι μόνο του μεγέθους της πίεσης που ασκείται σ' αυτό και της πίεσης του νερού των πόρων, αλλά εξαρτάται και από την εντατική κατάσταση που βρισκόταν το έδαφος πριν από τη δοκιμή του. Απ' αυτή τη συμπεριφορά της διατμητικής αντοχής προέκυψε η ανάγκη ανάπτυξης μιας σειράς δοκιμών, οι κυριότερες των οποίων είναι οι ακόλουθες:

1. Ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση και χωρίς αποστράγγιση (Unconsolidated Undrained, UU)
2. Δοκιμή με στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση με μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων (Consolidated Undrained Pore Pressure, CUPP)
3. Δοκιμή με στερεοποίηση και αποστράγγιση (Consolidated Drained, CD)

5. Ανάλυση και παρουσίαση γεωλογικών δεδομένων

5.1. Γενικά

Αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου είναι η ανάλυση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής έρευνας με βάση το νέο μεγάλο πλήθος των διαθέσιμων γεω-δεδομένων. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, χρησιμοποιείται αποτελεσματικά η τεχνικογεωλογική βάση δεδομένων που παρουσιάζεται αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία που αναλύονται και παρουσιάζονται εδώ, αφορούν στις ακόλουθες γεωλογικές ενότητες όπως περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 4.1.3, από τη νεότερη στην παλαιότερη (Kockel et al. 1978):

1. Τεχνητές επιχώσεις - Αρχαιολογικό στρώμα
2. Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας
3. Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας
 - i. «Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά»
 - ii. «Σειρά ερυθρών αργίλων»

Η διαδικασία που ακολουθείται εστιάζει σε πρώτη φάση στην ανάλυση ενός σημαντικού όγκου γεωλογικών και υδρογεωλογικών δεδομένων, μη διαθέσιμων έως σήμερα. Έπειτα ακολουθεί το στάδιο της επεξεργασίας και συσχέτισης των δεδομένων. Στη συνέχεια, με την ταυτόχρονη χρήση διαφορετικών λογισμικών κι επιστημονικών εργαλείων πραγματοποιείται η δημιουργία πλήθους παραγόμενων αποτελεσμάτων με τη μορφή θεματικών χαρτών, στατιστικών κατανομών, διαγραμμάτων και τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων. Η ανάλυση και παρουσίαση των γεωλογικών κι υδρογεωλογικών δεδομένων πραγματοποιείται τόσο συνολικά για την περιοχή έρευνας, όσο και για συγκεκριμένες περιοχές οι οποίες εμφανίζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και κρίνεται σκόπιμο να εξεταστούν περαιτέρω.

Οι θεματικοί χάρτες που παρουσιάζονται στη συνέχεια, έχουν το πλεονέκτημα να προβάλλουν τη γεωλογική πληροφορία με μεγάλη σαφήνεια, διευκολύνοντας έτσι τη διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών κι ενισχύοντας ταυτόχρονα τη γνώση γύρω από το «γεωλογικό υπόβαθρο» της περιοχής έρευνας. Για τη διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών και την υλοποίηση των θεματικών χαρτών, χρησιμοποιούνται δεδομένα εισόδου που προέρχονται από σημειακή πληροφορία, όπως το πάχος και το βάθος του εκάστοτε σχηματισμού σε κάθε γεώτρηση, πάντα με τη χρήση της γεωτεχνικής βάσης δεδομένων. Αυτά εισάγονται σε περιβάλλον GIS και με τη χρήση της μεθόδου παρεμβολής *topo-to-raster*, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.3, δημιουργούνται συνεχείς επιφάνειες με χωρική εκτίμηση τιμών για τις θέσεις όπου δεν υπάρχουν δεδομένα γεωτρήσεων.

Στο επόμενο βήμα, κατασκευάζονται θεματικοί χάρτες στους οποίους προβάλλεται η κατανομή των λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας ανά 5 m, μέχρι το βάθος των 20 m. Για τη δημιουργία αυτών των χαρτών, λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό επικράτησης των εδαφικών γεωυλικών ανά 5 m. Μ' αυτόν τον τρόπο, προσδιορίζεται σημειακά η πληροφορία σε σχέση με το επικρατέστερο υλικό που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των θεματικών χαρτών μέχρι το βάθος των 20 m. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που μια γεώτρηση αποτελείται από «αμμώδη άργιλο» για βάθος από 5 έως 7 m και από «αργιλώδη άμμο» για βάθος από 7 έως 10 m, τότε για το συνολικό βάθος από 5 έως 10 m θεωρείται ότι επικρατούν τα αδρόκοκκα υλικά. Επιπλέον, την κατασκευή των συγκεκριμένων χαρτών, συνοδεύουν θηκογράμματα που παρουσιάζουν το ποσοστό συμμετοχής των λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών με ακόμη μεγαλύτερη λεπτομέρεια ανά 0.5 m.

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των εξεταζόμενων γεωλογικών σχηματισμών διερευνάται σύμφωνα με τα υδρογεωλογικά στοιχεία που προέκυψαν από το σύνολο των διαθέσιμων ερευνητικών εργασιών. Αυτά χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών που εξετάζονται με τη δημιουργία πλήθους διαγραμμάτων διακύμανσης της υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους για το σύνολο της περιοχής έρευνας. Μάλιστα, στην περίπτωση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, τα γεωυλικά κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε λεπτόκοκκα και αδρόκοκκα, με σκοπό την πλέον λεπτομερή διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών. Ακόμη, η διερεύνηση της πιεζομετρίας, ο προσδιορισμός της διεύθυνσης ροής του υπόγειου νερού και η διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού πραγματοποιείται για συγκεκριμένες θέσεις εντός της περιοχής έρευνας.

5.2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που περιγράφεται στις επόμενες παραγράφους στοχεύει στην αναλυτική διερεύνηση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής έρευνας όπως προέκυψε από την αποτελεσματική διαχείριση των πρωτογενών δεδομένων.

Σε πρώτο στάδιο, αναπτύσσεται ένα σύνολο από θεματικούς χάρτες που παρουσιάζουν την:

- κατανομή του πάχους των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας
- κατανομή του βάθους των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας και απεικόνιση ισοβαθών καμπύλων
- κατανομή των υλικών για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας στα βάθη: 0-5, 5-10, 10-15 και 15-20 m.

Η τελευταία κατηγορία χαρτών ενισχύεται περαιτέρω με τη δημιουργία θηκογραμμάτων τα οποία παρουσιάζουν τη συμμετοχή των λεπτόκοκκων κι αδρόκοκκων υλικών με λεπτομέρεια ανά 0.5 m. Ακόμη, δημιουργείται ένα σύνολο από κοκκομετρικές καμπύλες με λεπτομέρεια ανά 5 m μέχρι το βάθος των 25 m για το σύνολο των εξεταζόμενων εδαφικών σχηματισμών σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τις κοκκομετρικές αναλύσεις με κόσκινα.

Έπειτα, ακολουθεί η δημιουργία των τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων και μηκοτομών με σκοπό την ανάδειξη των επιτόπου γεωλογικών χαρακτηριστικών όπως η στρωματογραφία, η διακύμανση της λιθολογίας, η διάταξη των δομικών στοιχείων και η αποτύπωση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των γεωλογικών μοντέλων και θεματικών χαρτών προέρχονται από τις αναλυτικές περιγραφές των γεωλογικών σχηματισμών στα μητρώα των διαθέσιμων γεωτρήσεων.

Αναφορικά με τις υδρογεωλογικές συνθήκες, τα πρωτογενή δεδομένα εισόδου που αναλύονται, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες.

- Η πρώτη κατηγορία δεδομένων περιλαμβάνει τις τιμές των συντελεστών υδροπερατότητας όπως προέκυψαν από τις δοκιμές υδροπερατότητας που διενεργήθηκαν στις γεωτρήσεις. Αυτά χρησιμοποιήθηκαν στη δημιουργία διαγραμμάτων διακύμανσης της υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους των των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, συνολικά για την περιοχή έρευνας.
- Η δεύτερη κατηγορία αφορά σε δεδομένα προερχόμενα από μετρήσεις στάθμης των υπόγειων υδάτων, οι οποίες αξιοποιήθηκαν με σκοπό τη δημιουργία πιεζομετρικών χαρτών καθώς και διαγραμμάτων διακύμανσης της στάθμης του υπόγειου νερού σε συγκεκριμένες περιοχές.

5.3. Γεωλογικές συνθήκες

5.3.1 Θεματικοί χάρτες γεωλογικής πληροφορίας

5.3.1.1 Γενικά

Η γεωλογική διερεύνηση μιας αστικής περιοχής συχνά απαιτεί μεγάλο όγκο γεωχωρικών πληροφοριών. Προϋπόθεση για την ερμηνεία αυτών των δεδομένων είναι η ανάλυσή τους με τη χρήση γεωχωρικών τεχνολογιών, όπως τα GIS που περιγράφονται εκτενώς στο κεφάλαιο 3. Αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως κατά τον αστικό χωροταξικό σχεδιασμό κυρίως μέσω της ανάπτυξης θεματικών χαρτών. Η δημιουργία θεματικών χαρτών γεωλογικής πληροφορίας είναι ένα από τα σημαντικότερα και πιο συχνά χρησιμοποιούμενα εργαλεία υποστήριξης της διαδικασίας λήψης

αποφάσεων. Παρόλα αυτά, ο αριθμός των επιστημονικών άρθρων και ερευνητικών εργασιών που περιγράφουν μεθόδους και τεχνικές που χρησιμοποιούνται με σκοπό την κατάρτιση αυτών των χαρτών, είναι μικρότερος του αναμενόμενου. Μάλιστα, οι περισσότερες έρευνες αναφέρονται στη χαρτογράφηση του βραχώδους υποβάθρου και έμμεσα στον προσδιορισμό του πάχους και του βάθους των υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών.

Οι παραδοσιακές τεχνικές χαρτογράφησης του βραχώδους υποβάθρου συζητούνται από τους Hickin και Kerr (2005), Gao et al. (2006) και Lively et al. (2006), των οποίων οι έρευνες επικεντρώνονται στη χρήση δεδομένων από γεωτρήσεις. Μια πιο εξελιγμένη προσέγγιση συναντάται στην έρευνα των Chung και Rogers (2012) με σκοπό την εκτίμηση του πάχους του εδαφικού καλύμματος γύρω από το Σεντ Λούις συγκρίνοντας δύο γεωστατιστικές μεθόδους χωρικής παρεμβολής, ενώ οι Rytter και Schonhowd (2015) χαρτογράφησαν το ενδεικτικό πάχος των αρχαιολογικών αποθέσεων στο κέντρο του Μπέργκεν της Νορβηγίας. Ακόμη, στην περιοχή του κεντρικού Λονδίνου ο Paul (2016) ασχολήθηκε με τη δημιουργία νέων χαρτών που παρουσιάζουν το πάχος των μετακρητιδικών ιζηματογενών στρωμάτων. Αντίστοιχα, οι Price et al. (2018) προσδιόρισαν το πάχος των εξεταζόμενων σχηματισμών της περιοχής Earls Court με τη δημιουργία θεματικών χαρτών με σκοπό τη διερεύνηση των πιθανών χρήσεων του αστικού υπόγειου χώρου. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και δύο παραδείγματα θεματικών χαρτών που συμπεριλαμβάνονται στην έκθεση των Schokker et al. (2017). Το πρώτο εστιάζει στις διαφορετικές περιόδους εξέλιξης της λεκάνης της Βαλτικής Θάλασσας και στα πάχη των αντίστοιχων μαλακών εδαφών στην περιοχή Suurpelto της Φινλανδίας. Το δεύτερο παρουσιάζει ένα χάρτη κατανομής βάθους ενός επεξεργασμένου κοιτάσματος άνθρακα στη Γλασκώβη, με τις ισοβαθείς καμπύλες να δείχνουν την απόσταση αυτού από την επιφάνεια του εδάφους αναδεικνύοντας τους πιθανούς γεωκινδύνους σε μια μεταβιομηχανική πόλη (BGS © NERC, 2011). Μια άλλη τάση στη δημιουργία αυτών των χαρτών είναι η ανάλυση κύριων συνιστωσών με τη χρήση μηχανικής μάθησης (machine learning) που πραγματεύονται στις έρευνες τους οι Shangguan et al. (2017) και Yan et al. (2020).

Στον Ελλαδικό χώρο, οι Koukis et al. (2005) πραγματοποίησαν τεχνικογεωλογική έρευνα που αφορά στην αξιολόγηση του σεισμικού κινδύνου για την πόλη της Πάτρας. Σ' αυτό το πλαίσιο, δημιούργησαν χάρτες κατανομής του βάθους της άνω επιφάνειας για το στρώμα της μάργας και χάρτη ισοπαχών που απεικονίζει το πάχος των τεχνητών επιχώσεων. Οι Antoniou et al. (2008) έχοντας ως στόχο τη δημιουργία ενός συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών το οποίο διαχειρίζεται γεωτεχνικά δεδομένα, κατασκεύασαν θεματικούς χάρτες που απεικονίζουν την κατανομή του βάθους του Αθηναϊκού σχιστόλιθου καθώς και του πάχους του αρχαιολογικού στρώματος σε συγκεκριμένη περιοχή της Αθήνας.

Στο σημείο αυτό, κι αφού έχει αναλυθεί εκτενώς η μεθοδολογία που εφαρμόζεται στο παρόν κεφάλαιο, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν τα εξής:

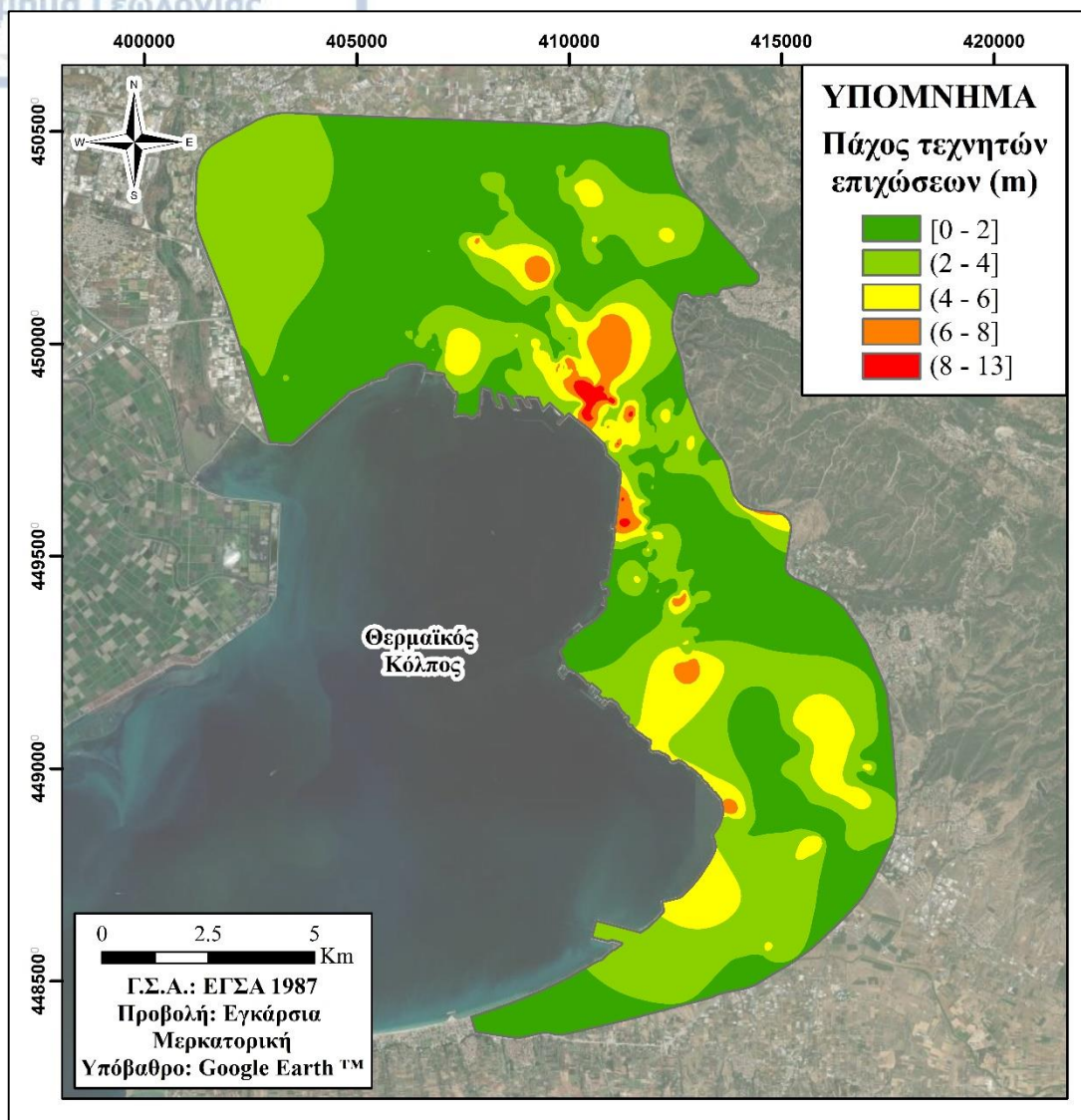
- Στο πλαίσιο της εγγενούς αβεβαιότητας της χωρικής παρεμβολής, αναφέρεται ότι οι θεματικοί χάρτες των εξεταζόμενων εδαφικών σχηματισμών παρέχουν κατά θέσεις μια εκτίμηση των τιμών των δεδομένων που εξετάζονται κατά περίπτωση. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ο εκάστοτε γεωλογικός σχηματισμός που διερευνάται – εδώ ως προς την κατανομή πάχους, βάθους και γεωυλικών - ενδέχεται να συναντηθεί και σε θέσεις όπου δεν εμφανίζεται πάνω στον χάρτη.
- Οι θεματικοί χάρτες παρέχουν μια ευρεία επισκόπηση των γεωλογικών χαρακτηριστικών και των πιθανών γεωκινδύνων, προσφέροντας πληροφορίες για τις γενικές συνθήκες της περιοχής έρευνας. Ωστόσο, η ετερογένεια που παρουσιάζουν τα γεωυλικά ως προς την κοκκομετρία και τη σύστασή τους, τόσο σε βάθος, όσο και σε οριζόντια διεύθυνση καθιστούν αναγκαία τη διεξαγωγή επιτόπου γεωτεχνικών ερευνών ανά περιοχή ενδιαφέροντος.
- Οι πληροφορίες που προκύπτουν από τη δημιουργία θεματικών χαρτών χρησιμεύουν ως πολύτιμο εργαλείο για πρόδρομες εκτιμήσεις στον αρχικό σχεδιασμό τεχνικών έργων και συνεπώς δεν υποκαθιστούν τη λεπτομερή γεωτεχνική έρευνα.

5.3.1.2 Χάρτες κατανομής πάχους εμφάνισης σχηματισμών

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι χάρτες κατανομής πάχους των γεωλογικών σχηματισμών που απαντώνται στην περιοχή έρευνας, όπως προέκυψε από τις γεωλογικές περιγραφές στα μητρώα των γεωτρήσεων. Σημειώνεται ότι το πάχος των γεωλογικών σχηματισμών που παρουσιάζεται στους χάρτες αφορά σε εκτίμηση του απόλυτου πάχους του εκάστοτε σχηματισμού κατά θέσεις και όχι στο πάχος από την επιφάνεια του εδάφους.

Πάχος τεχνητών επιχώσεων

Σύμφωνα με το Σχήμα 5.1, το πάχος των τεχνητών επιχώσεων κυμαίνεται μεταξύ 0 και 7 m, σχεδόν για ολόκληρη την περιοχή έρευνας. Υψηλότερες τιμές, συμπεριλαμβανομένου και του μέγιστου πάχους των 13 m, εμφανίζονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της πόλης, εντός των Τειχών στο ιστορικό κέντρο και την παράκτια περιοχή της πόλης, στη νέα παραλία. Το σημαντικό πάχος των τεχνητών επιχώσεων σε αυτές τις περιοχές οφείλεται τόσο στη διαμόρφωση της ρυμοτομίας κατά τα ιστορικά χρόνια, όσο και σε λοιπές επεμβάσεις (οχύρωση πόλης, διαμόρφωση του θαλάσσιου μετώπου, λιμενικά έργα κ.λπ.).

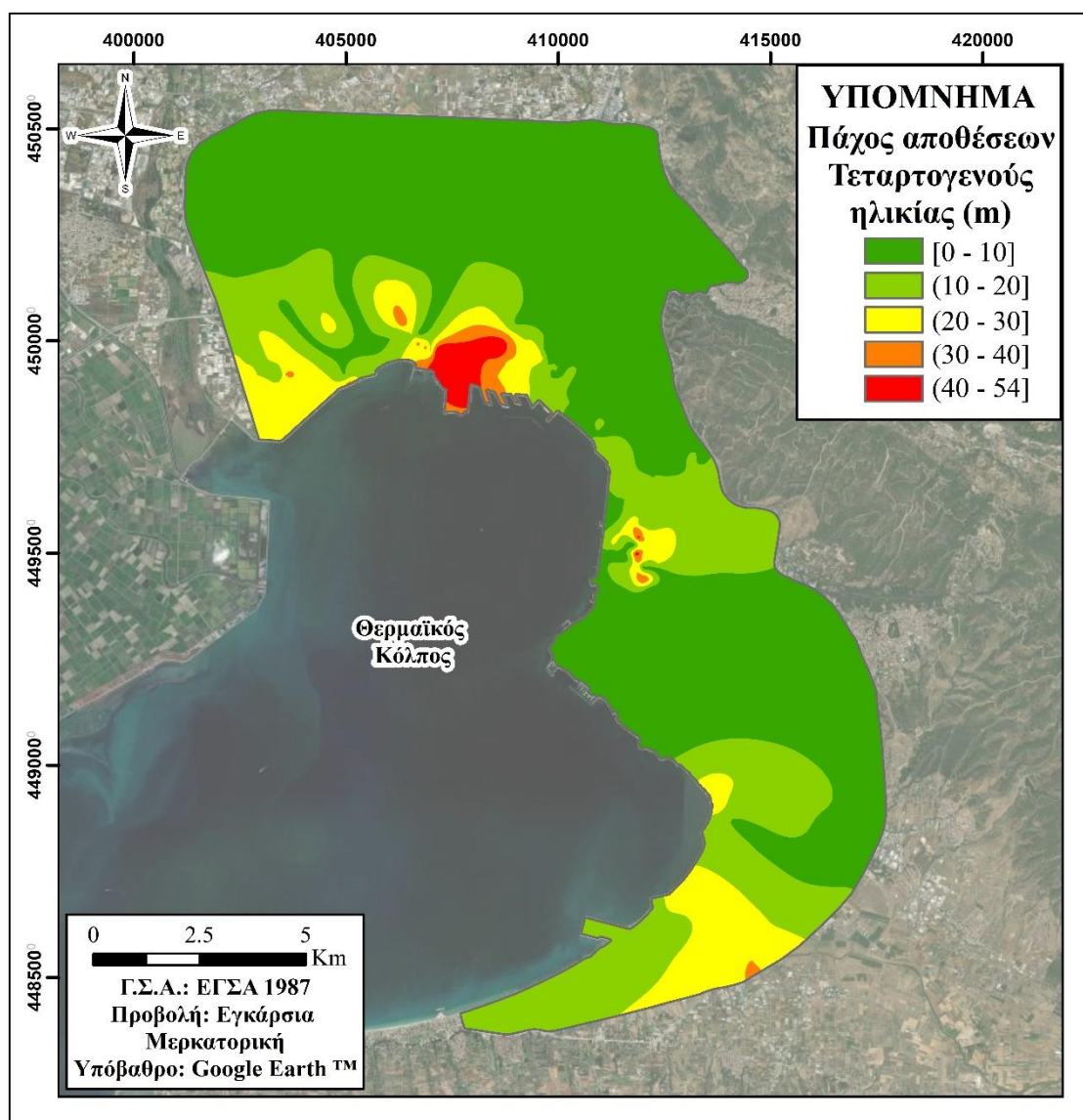


Σχήμα 5.1: Χάρτης κατανομής πάχους τεχνητών επιχώσεων

Πάχος αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Το πάχος των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας αντιστοιχεί σε υψηλότερες τιμές (Σχήμα 5.2), οι οποίες κυμαίνονται από 0 έως 20 m για το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής έρευνας. Σημαντικό πάχος αυτών των αποθέσεων (>40 m), εμφανίζεται κυρίως στην περιοχή του λιμανιού της Θεσσαλονίκης όπου επικρατούν αμμώδεις άργιλοι και ιλύες, καστανού χρώματος, με ενστρώσεις ιλυώδους άμμου. Ακόμη, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η περιοχή, ανατολικά του αστικού κέντρου με κυμαινόμενο πάχος από 10 έως 54 m. Αυτή αποτελεί μια ευρεία έκταση όπου αναπτύσσονται πρόσφατες ποτάμιες αποθέσεις κατά τη διεύθυνση Α-Δ. Πρόκειται για αμμώδεις αργίλους έως αργιλώδεις άμμους με χαλίκια πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης. Το

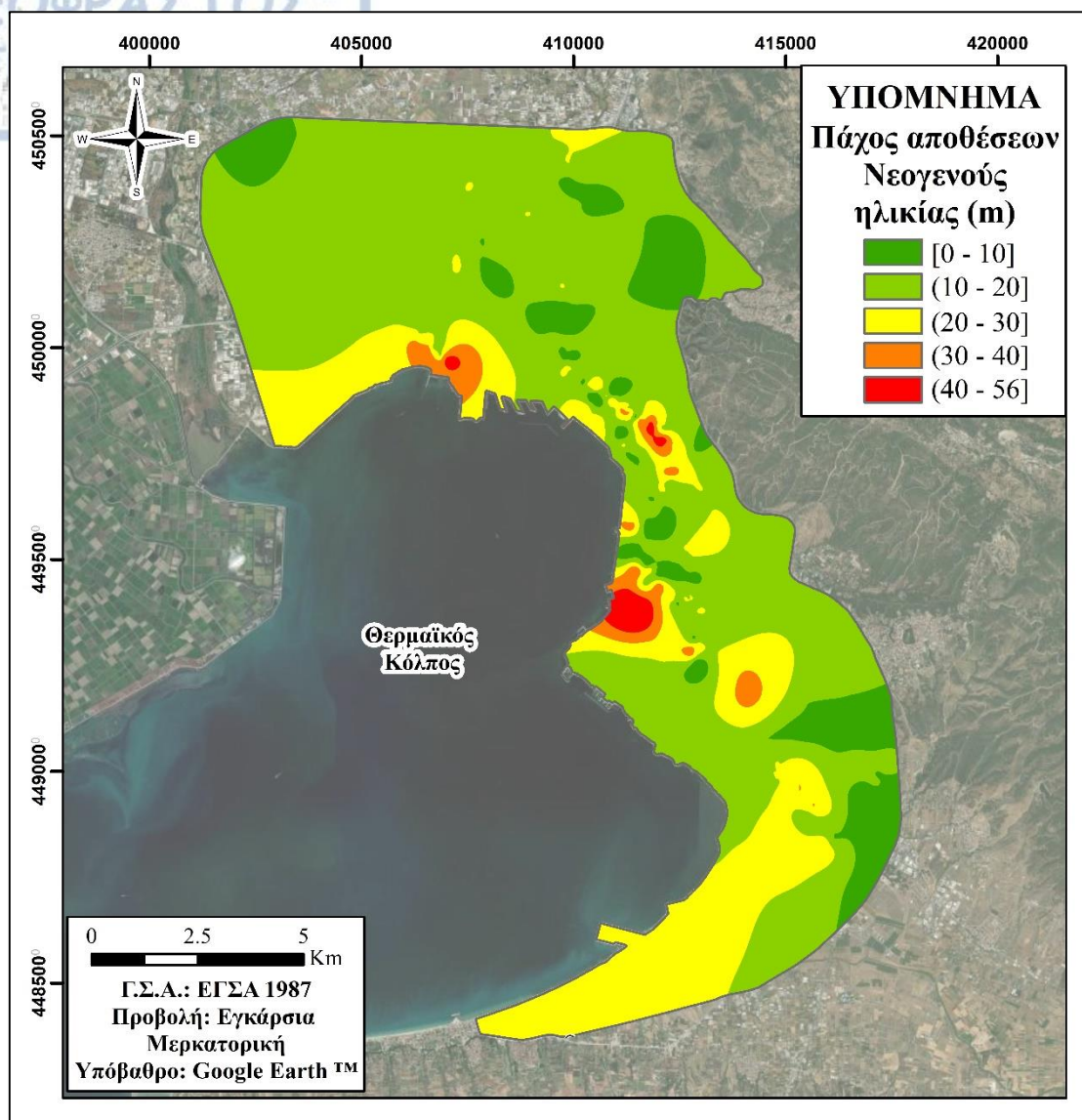
μέγιστο πάχος (54 m), σύμφωνα με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις εμφανίζεται στην περιοχή της Δελφών, μεταξύ των οδών Ψυχάρη και Πέτρου Συνδίκου.



Σχήμα 5.2: Χάρτης κατανομής πάχους αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Πάχος αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας

Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται το ελάχιστο πάχος των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας, δεδομένου ότι η πλειονότητα των γεωτρήσεων δεν ξεπερνά σε βάθος τα 30 με 40 m. Αυτό, υπερβαίνει τα 20 m και μπορεί να φτάσει το μέγιστο εύρος τιμών (από 40 έως 56 m) σε ορισμένες περιοχές, όπως πλησίον του λιμανιού της Θεσσαλονίκης και σε διάφορες περιοχές ανατολικά του ιστορικού κέντρου πόλης όπως τα πανεπιστήμια, η Ανάληψη, η Μαρτίου, το Μέγαρο Μουσικής όπου το πάχος των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας ξεπερνάει τα 40 και φτάνει έως τα 60 m στη Σοφούλη.



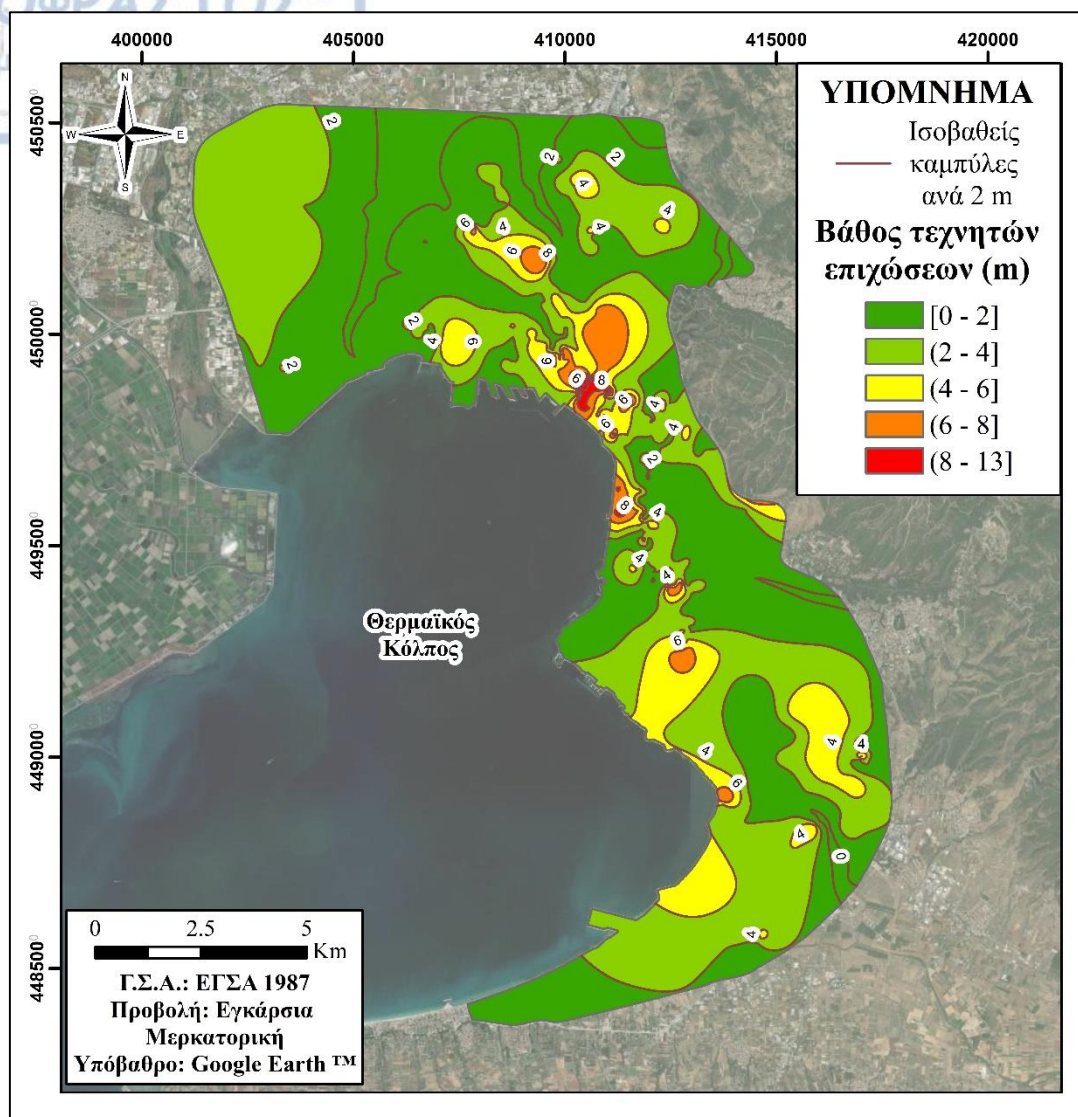
Σχήμα 5.3: Χάρτης κατανομής πάχους αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας

5.3.1.3 Χάρτες κατανομής βάθους εμφάνισης σχηματισμών

Αντίστοιχοι χάρτες κατανομής με αυτούς που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, παρουσιάζονται ακολούθως με σκοπό την κατανομή του βάθους εμφάνισης των εξεταζόμενων γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας.

Βάθος τεχνητών επιχώσεων

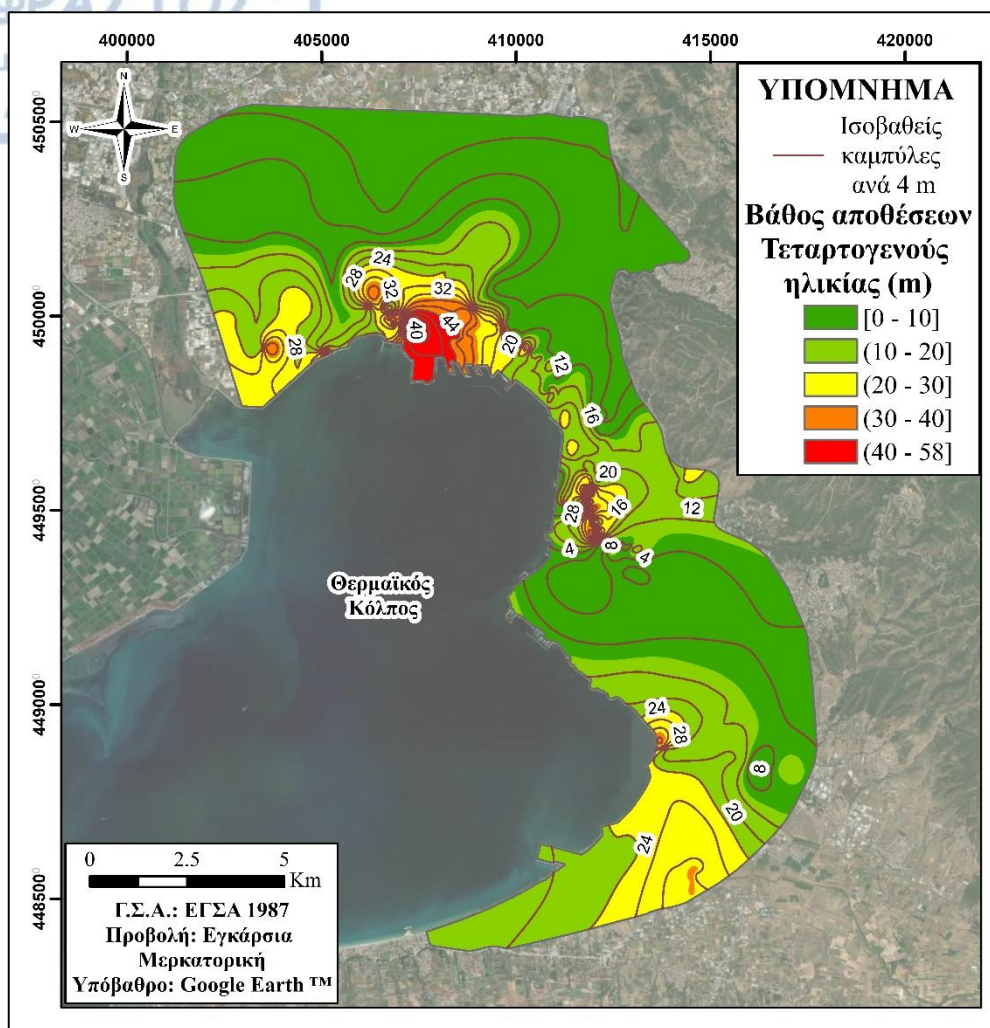
Η κατανομή του βάθους των τεχνητών επιχώσεων αναπαρίσταται στο Σχήμα 5.4 όπου προβάλλονται και οι ισοβαθείς ανά 2 m. Ο χάρτης αυτός έρχεται σε συμφωνία με τις τιμές πάχους που παρουσιάζονται στον χάρτη του αντίστοιχου σχηματισμού (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.4: Χάρτης κατανομής βάθους εμφάνισης τεχνητών επιχώσεων

Βάθος αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

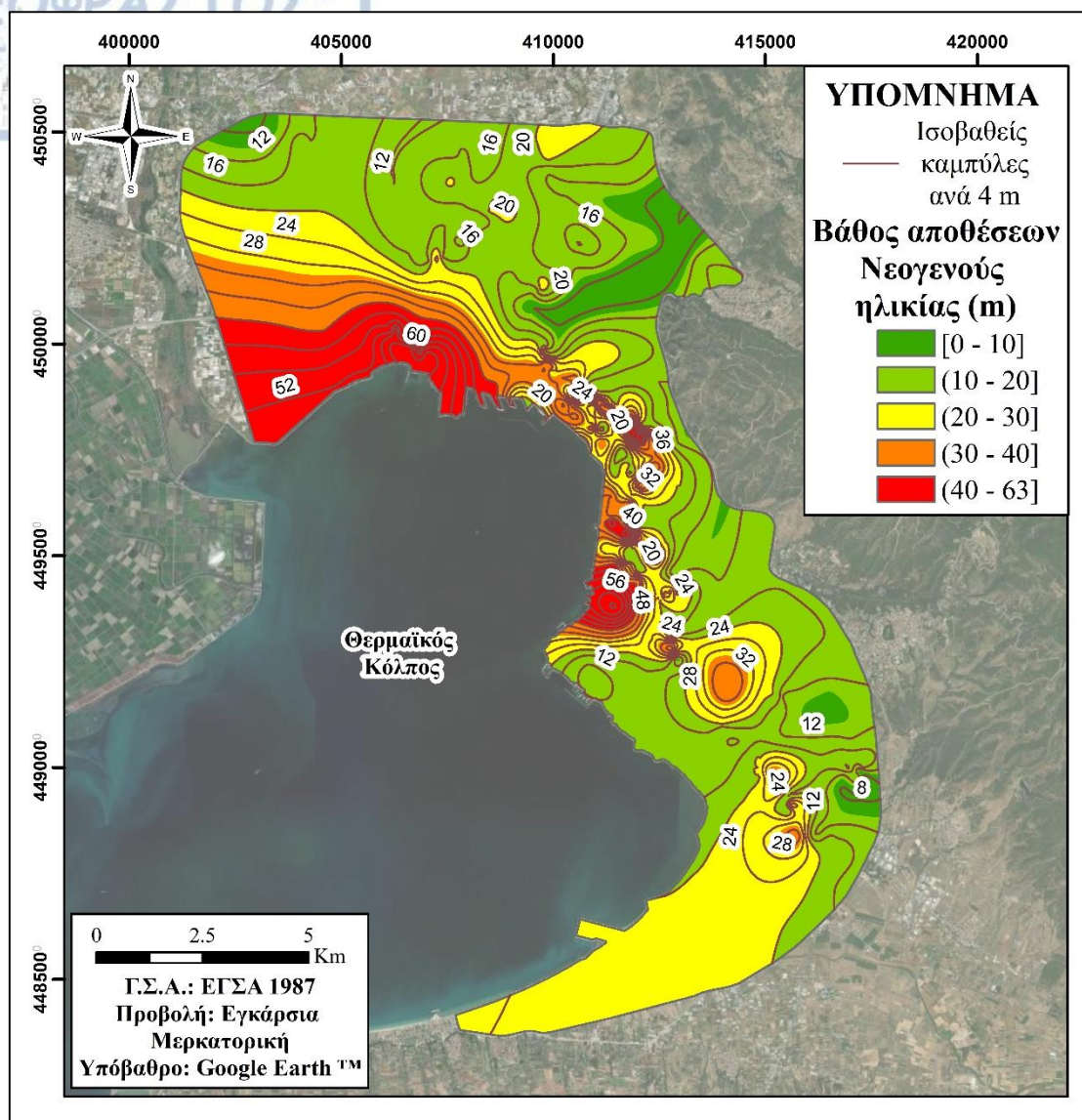
Για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας, χαμηλότερες τιμές βάθους, από 0 έως 20 m, παρατηρούνται στα βόρεια και νοτιοανατολικά τμήματα της περιοχής έρευνας (Σχήμα 5.5). Το βάθος των Τεταρτογενών αποθέσεων συμπίπτει με το πάχος του ίδιου σχηματισμού, όπως φαίνεται από την παρόμοια απεικόνιση στον αντίστοιχο χάρτη (Σχήμα 5.2). Συγκεκριμένα, η χωρική μεταβλητότητα του βάθους φτάνει σε υψηλότερες τιμές (30 έως 50 m) στο δυτικό άκρο της πόλης και ιδιαίτερα στις περιοχές των Αμπελοκήπων, της Μενεμένης και των παλαιών σφαγείων. Αντίστοιχη εικόνα παρατηρείται και στην περιοχή της Ανάληψης, όπου οι ισοβαθείς προσεγγίζουν η μία την άλλη και το μέγιστο βάθος των Τεταρτογενών αποθέσεων φτάνει μέχρι και τα 58 m. Τέλος, στις περιοχές του Καλοχωρίου και πλησίον του αεροδρομίου οι ιλυώδεις-αμμώδεις άργιλοι έως αργιλώδεις-ιλυώδεις άμμοι, φθάνουν μέχρι τα 38 και 31 m αντίστοιχα.



Σχήμα 5.5: Χάρτης κατανομής βάθους εμφάνισης αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Βάθος αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας

Ο χάρτης πάχους των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας (Σχήμα 5.6) απεικονίζει δύο ευρύτερες περιοχές στο δυτικό κι ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας, στα οποία παρατηρούνται σημαντικά βάθη (>30 m). Για το δυτικό τμήμα, υψηλές τιμές παρατηρούνται στις περιοχές παλαιών σφαγείων και Λαχανόκηπων. Για την περιοχή του Καλοχωρίου το βάθος εμφάνισης των Νεογενών αποθέσεων δε θεωρείται αντιπροσωπευτικό καθώς το δίκτυο γεωτρήσεων στη συγκεκριμένη περιοχή δεν είναι ιδιαίτερα πυκνό. Στο κεντρικό κι ανατολικό τμήμα εντοπίζονται περιοχές όπως τα Πανεπιστήμια (κατά μήκος της Εγνατίας οδού), η Ανάληψη, η Μαρτίου και η Σοφούλη όπου τα βάθη των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας κυμαίνονται από 30 έως 63 m. Στην περιοχή της Πυλαίας συναντώνται επίσης σημαντικά βάθη, χωρίς ωστόσο να ξεπερνούν τα 34 m.



Σχήμα 5.6: Χάρτης κατανομής βάθους εμφάνισης αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας

5.3.1.4 Χάρτες κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών

Η κατάταξη του εδάφους είναι ένας τρόπος με τον οποίο ταξινομούνται οι διάφοροι τύποι σε ομάδες ή υποομάδες για τη συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών του (Das, 2013). Πριν από το σχεδιασμό και την κατασκευή οποιουδήποτε έργου, κρίνεται απαραίτητο να αποσαφηνιστούν οι κατηγορίες των εδαφικών σχηματισμών καθώς και τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους τα οποία επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από το σχήμα, το μέγεθος, τη διάταξη και τη μικροσκοπική δομή των εδαφικών σωματιδίων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα για τον Γεωτεχνικό Σχεδιασμό.

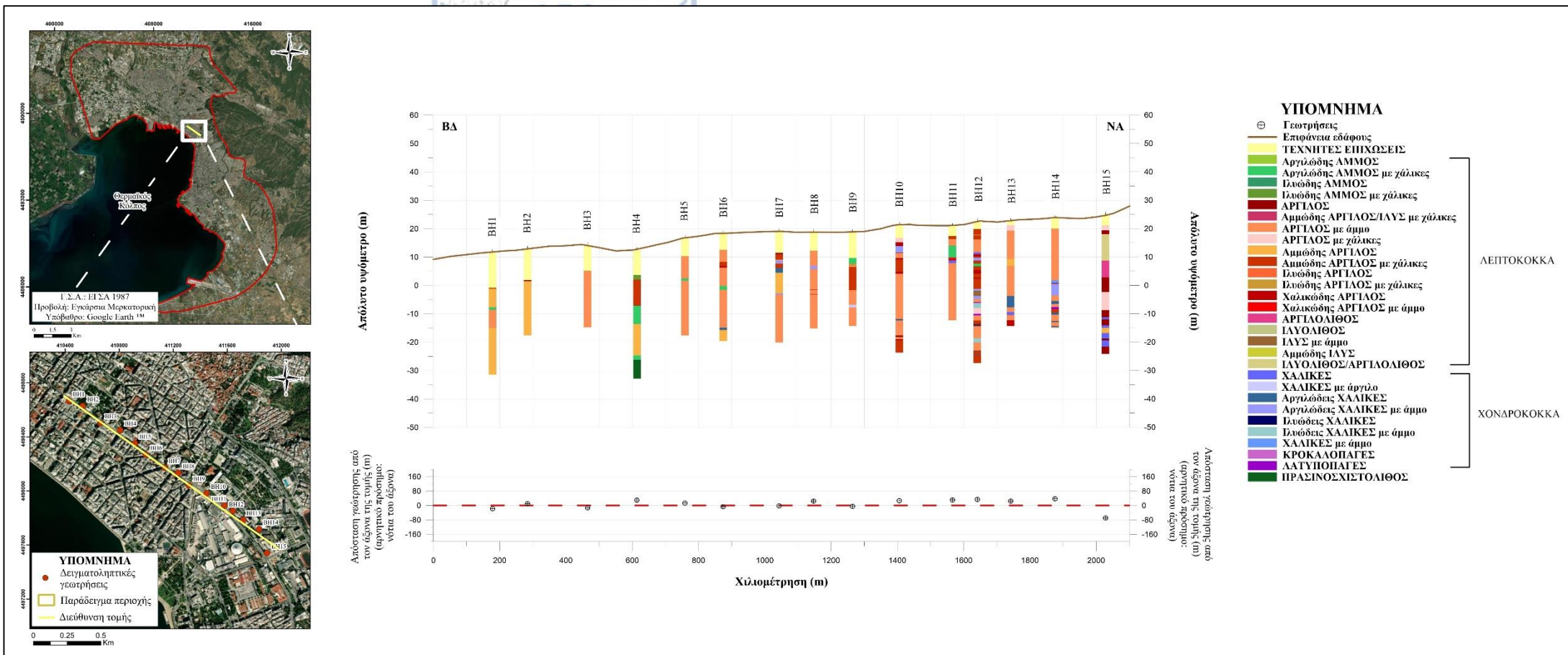
Στο παρόν υποκεφάλαιο, πραγματοποιείται μια πρώτη γενική διάκριση σχετικά με τη σύσταση των υλικών. Εδώ, ο γεωλογικός χαρακτηρισμός των σχηματισμών, γίνεται με βάση την επικράτηση των λεπτόκοκκων ή των αδρόκοκκων υλικών. Οι περιγραφές που παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1

έχουν προκύψει από τον χαρακτηρισμό των περιγραφόμενων οριζόντων όπως δίνεται στα μητρώα των γεωτρήσεων. Οι ορίζοντες ομαδοποιούνται και χαρακτηρίζονται με βάση το επικρατέστερο γεωυλικό στη σύστασή τους. Για παράδειγμα, περιγραφές όπως «αμμώδης άργιλος με χάλικες» και «χαλικώδης άργιλος με άμμο» ομαδοποιούνται και χαρακτηρίζονται ως αργιλικός ορίζοντας ή αργιλική στρώση με βάση το επικρατέστερο υλικό. Από τη συγκεκριμένη ομαδοποίηση, είναι ικανή η διάκριση της φύσης των υλικών με βάση την επικράτηση της ιλύος, της αργίλου, της άμμου ή των χαλίκων. Η κατηγοριοποίηση των εδαφικών σχηματισμών βάσει σύστασης και κοκκομετρίας κρίνεται απαραίτητη, λόγω της έντονης ετερογένειας που παρουσιάζουν κατά τόπους οι εξεταζόμενοι σχηματισμοί. Αυτό είναι ευδιάκριτο στο Σχήμα 5.7 όπου προβάλλεται η πληροφορία της αναλυτικής σύστασης των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας με βάση το επικρατέστερο υλικό κατά μήκος μίας δεδομένης περιοχής στο ιστορικό κέντρο της πόλης. Σημειώνεται ότι η πρωτογενής πληροφορία της λεπτομερούς σύστασης-περιγραφής υπάρχει μέσα στη βάση δεδομένων και είναι διαθέσιμη προς χρήση σε άλλες πιθανές εφαρμογές ή με σκοπό την άμεση πλοήγηση εντός αυτής.

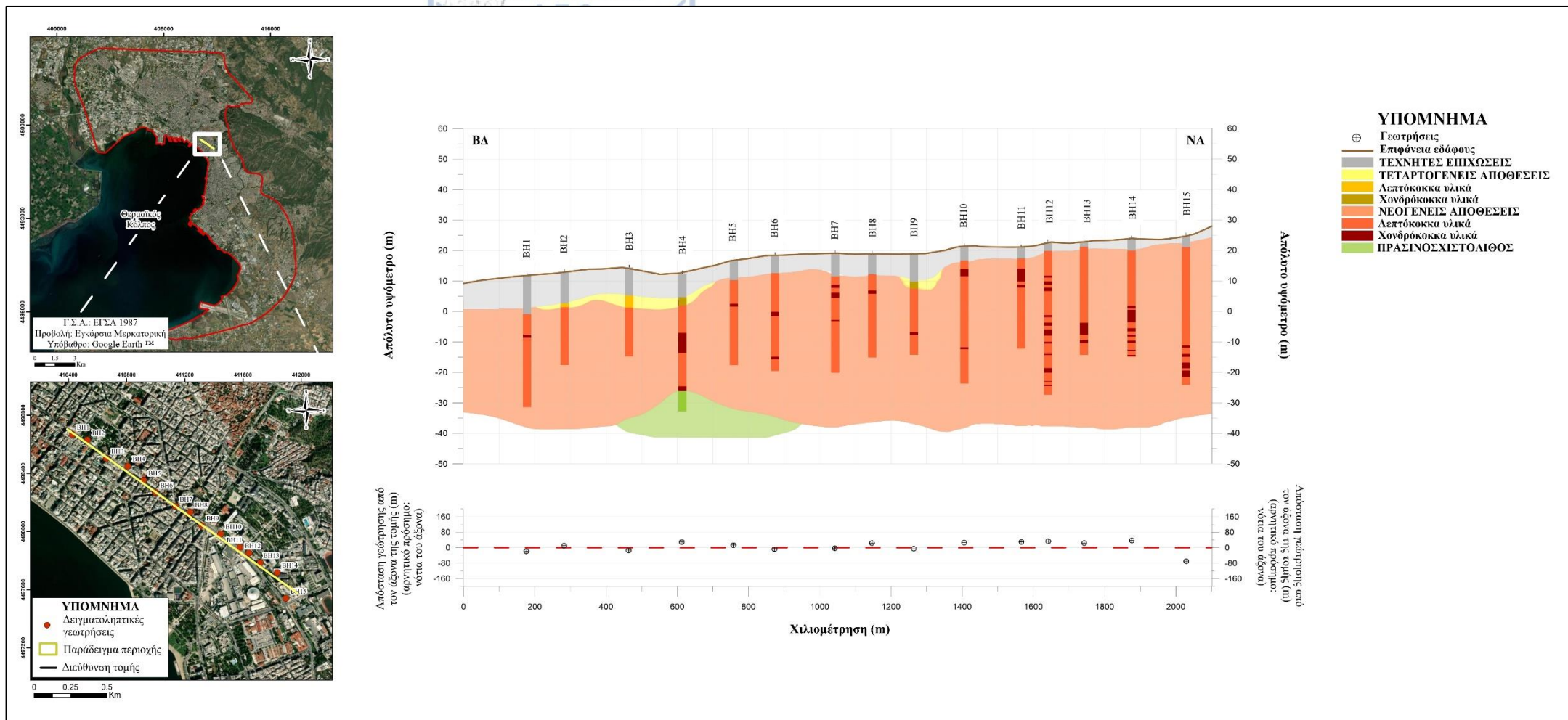
Πίνακας 5.1: Ομαδοποίηση σχηματισμών με βάση την κοκκομετρία και το επικρατέστερο υλικό

Χαρακτηρισμός βάσει κοκκομετρίας	Γενική γεωλογική σύσταση με βάση το επικρατέστερο υλικό	Αναλυτική γεωλογική σύσταση με βάση το επικρατέστερο υλικό
Λεπτόκοκκοι σχηματισμοί	Αργιλικός ορίζοντας/ Αργιλική στρώση	ΑΡΓΙΛΟΣ
		ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο
		ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες
		Αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ
		Αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες
		Χαλικώδης ΑΡΓΙΛΟΣ
		Χαλικώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο
		Ιλυώδης ΑΡΓΙΛΟΣ
		Ιλυώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο
		Ιλυώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες
		Μαργαϊκή ΑΡΓΙΛΟΣ
		Αργιλόλιθος
		Μάργα
		ΙΛΥΣ
		ΙΛΥΣ με άμμο

Αδρόκοκκοι σχηματισμοί	Ιλυώδης ορίζοντας/ Ιλυώδης στρώση	ΙΛΥΣ με άργιλο
		ΙΛΥΣ με χάλικες
		Αμμώδης ΙΛΥΣ
		Αμμώδης ΙΛΥΣ με χάλικες
		Μαργαϊκή ΙΛΥΣ
		Ιλυόλιθος
	Αμμώδης ορίζοντας/ Αμμώδης στρώση	ΑΜΜΟΣ
		ΑΜΜΟΣ με άργιλο
		ΑΜΜΟΣ με χάλικες
		Αργιλώδης ΑΜΜΟΣ
		Αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες
		Ιλυώδης ΑΜΜΟΣ
		Ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες
		Ψαμμίτης
	Χαλικώδης ορίζοντας/ Χαλικώδης στρώση	ΧΑΛΙΚΕΣ
		ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο
		ΧΑΛΙΚΕΣ με άργιλο
		Αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ
		Αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο
		Ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ
		Ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο
		Λατυποπαγές
		Ψηφιδοπαγές



Σχήμα 5.7: Παράδειγμα ενδεικτικής τομής όπου παρουσιάζεται η αναλυτική γεωλογική σύσταση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας με βάση το επικρατέστερο υλικό

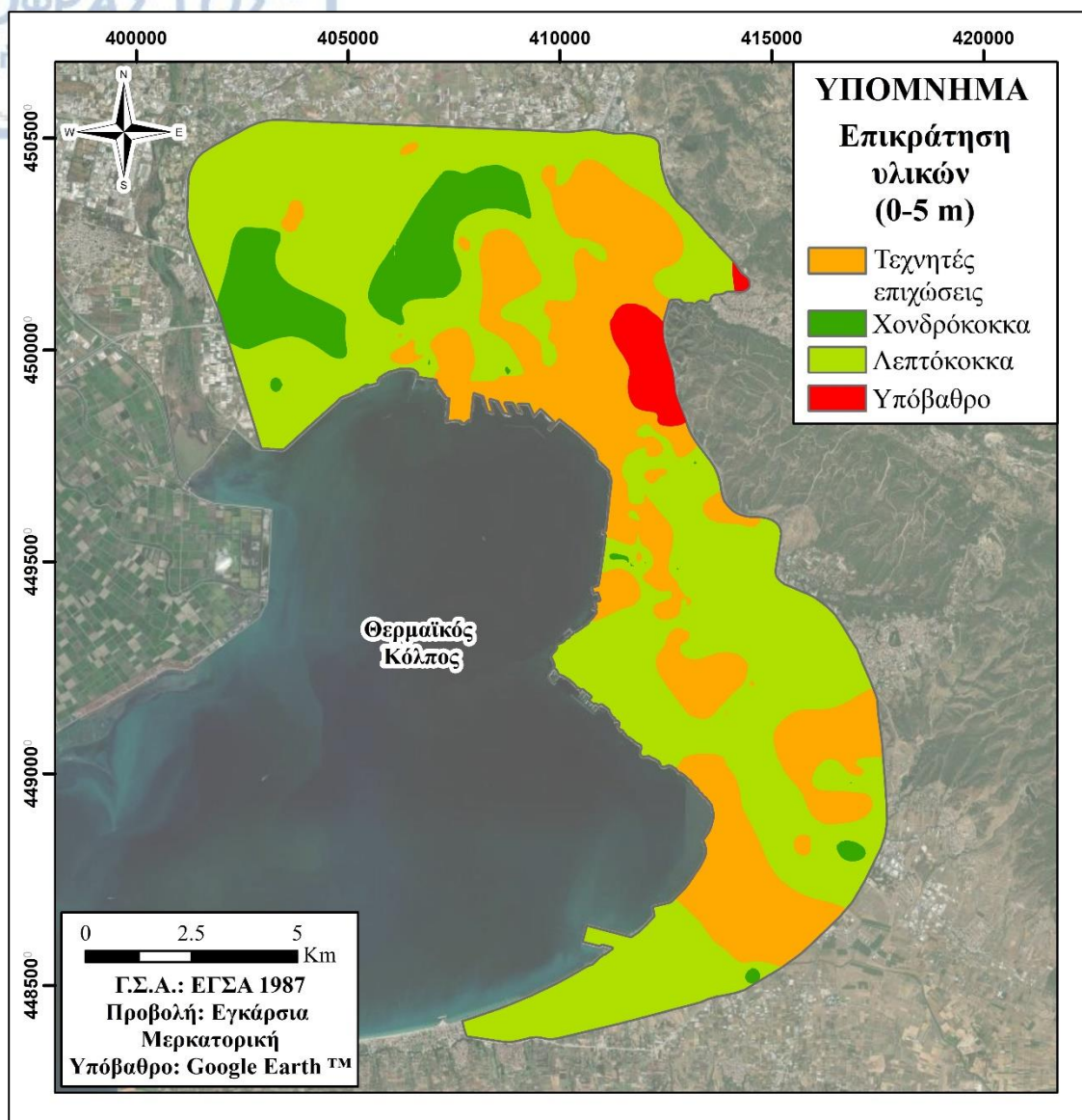


Σχήμα 5.8: Παράδειγμα ενδεικτικής τομής όπου παρουσιάζεται η ομαδοποίηση των υλικών σύμφωνα με τη γεωλογική σύσταση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι χάρτες κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για τα εξής βάθη: 0-5, 5-10, 10-15 και 15-20 m. Σ' αυτούς προβάλλεται και η πληροφορία σχετικά με τη διακύμανση των τεχνητών επιχώσεων καθώς και του βραχώδους υποβάθρου σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία από τα μητρώα των γεωτρήσεων. Σημειώνεται ότι η παρούσα διδακτορική διατριβή επικεντρώνεται στους εδαφικούς σχηματισμούς της λεκάνης Θεσσαλονίκης κι επομένως τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την εμφάνιση του υποβάθρου δεν είναι επαρκή. Συνεπώς, η κατανομή του βραχώδους υποβάθρου δεν θεωρείται αντιπροσωπευτική καθώς η έκτασή του στα διάφορα βάθη ενδέχεται να είναι πιο εκτεταμένη και να εμφανίζεται και σε άλλες περιοχές στη διεύθυνση Β.ΒΑ-Ν.ΝΔ ή/και με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στα ανατολικά και κεντρικά όρια των χαρτών.

Βάθος 0-5 m

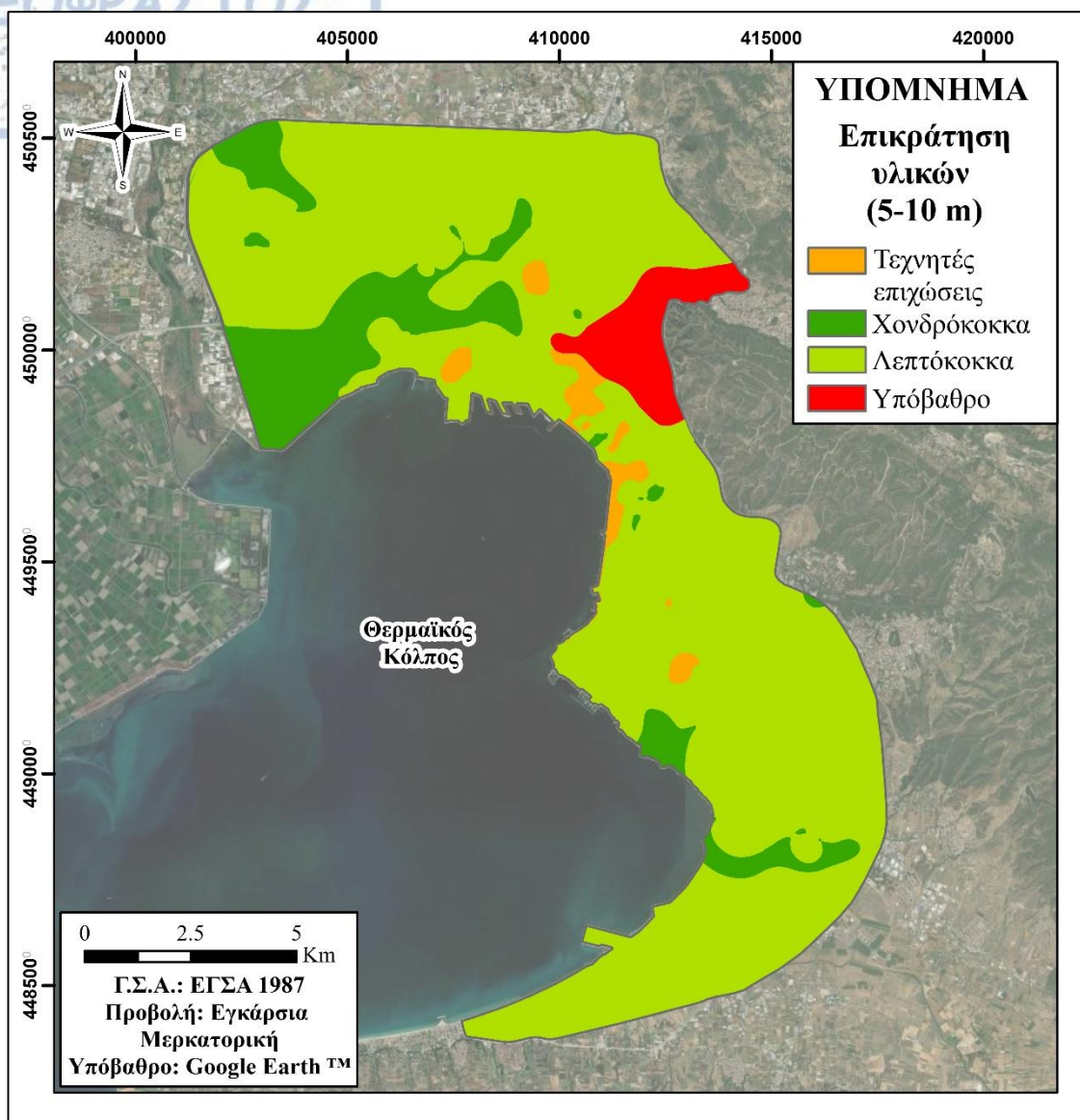
Αξιολογώντας το χάρτη κατανομής με βάση την επικράτηση των γεωυλικών για τα πρώτα 5 m (Σχήμα 5.9), διαπιστώνεται ότι οι τεχνητές επιχώσεις καταλαμβάνουν σημαντική έκταση. Εντοπίζονται κατά κύριο λόγο στην περιοχή του ιστορικού κέντρου, βόρεια-βορειοανατολικά αυτού και στα ανατολικά-νοτιοανατολικά της πόλης. Οι λεπτόκοκκοι σχηματισμοί καταλαμβάνουν επίσης μεγάλη έκταση στην περιοχή έρευνας κι επικρατούν έναντι των χονδρόκοκκων που περιορίζονται στο δυτικό άκρο της. Το βραχώδες υπόβαθρο, εμφανίζεται επιφανειακά σε μια μικρή έκταση στα βορειοανατολικά και συγκεκριμένα στην περιοχή των Συκεών, Μετεώρων, Αγ. Παύλου και Πεύκων.



Σχήμα 5.9: Χάρτης κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για βάθη 0-5 m

Επικράτηση υλικών για βάθος 5-10 m

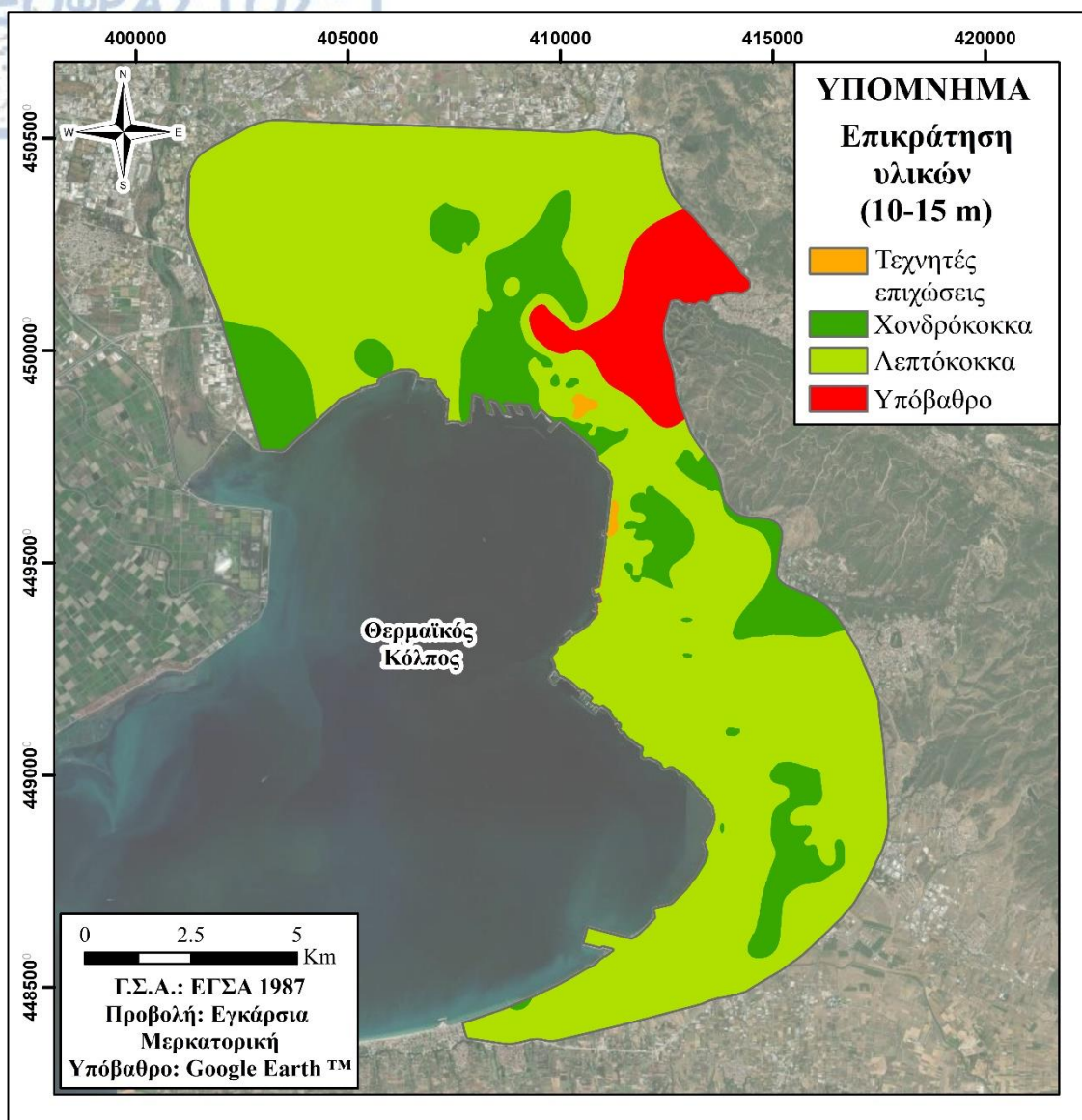
Από το σχήμα 5.10 προκύπτει ότι από τα 5 έως τα 10 m, οι τεχνητές επιχώσεις εμφανίζονται πολύ περιορισμένες σε σχέση με τα μικρότερα βάθη. Αναφορικά με την κατανομή των λεπτόκοκκων υλικών, αυτά εξακολουθούν να καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με τα αδρόκοκκα που εμφανίζονται εκτός από το δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας και στα ανατολικά, στην περιοχή της Νέας Κρήνης και κατά μήκος του ρέματος της Θέρμης. Το υπόβαθρο συναντάται σε μεγαλύτερη έκταση καλύπτοντας τμήμα των περιοχών Νεάπολης και Πολίχνης.



Σχήμα 5.10: Χάρτης κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για βάθη 5-10 m

Επικράτηση υλικών για βάθος 10-15 m

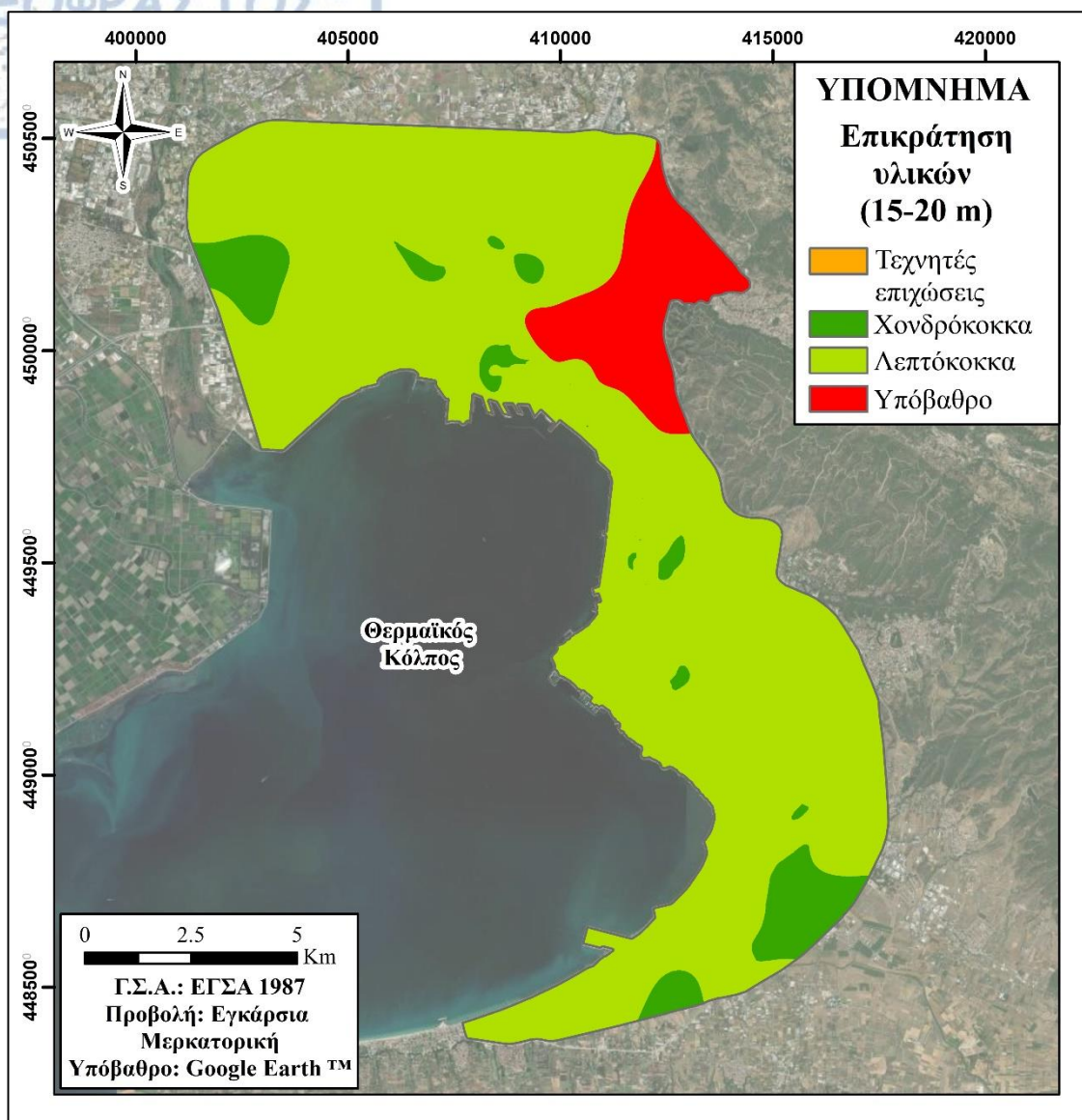
Ο χάρτης του σχήματος 5.11 υποδεικνύει την περιορισμένη έκταση των τεχνητών επιχώσεων σε δύο μικρές περιοχές στο ιστορικό κέντρο της πόλης και στη νέα παραλία. Επιπλέον, για τα βάθη από 10 έως 15 m, τα χονδρόκοκκα υλικά παρατηρούνται σε μεγαλύτερη έκταση και περισσότερες περιοχές (Καλοχώρι, Ελευθέριο Κορδελιό, Μενεμένη, Σταυρούπολη, Αμπελόκηποι, Πολίχνη, Κάτω Τούμπα, Τριανδρία, Πυλαία και Θέρμη), σε σύγκριση με την κατανομή τους στα μικρότερα βάθη. Ωστόσο, τα λεπτόκοκκα υλικά εξακολουθούν να κυριαρχούν στην περιοχή έρευνας. Τέλος, το βραχώδες υπόβαθρο καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση κι εμφανίζεται στο εξής και σε ένα τμήμα της Ευκαρπίας.



Σχήμα 5.11: Χάρτης κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για βάθη 10-15 m

Επικράτηση υλικών για βάθος 15-20 m

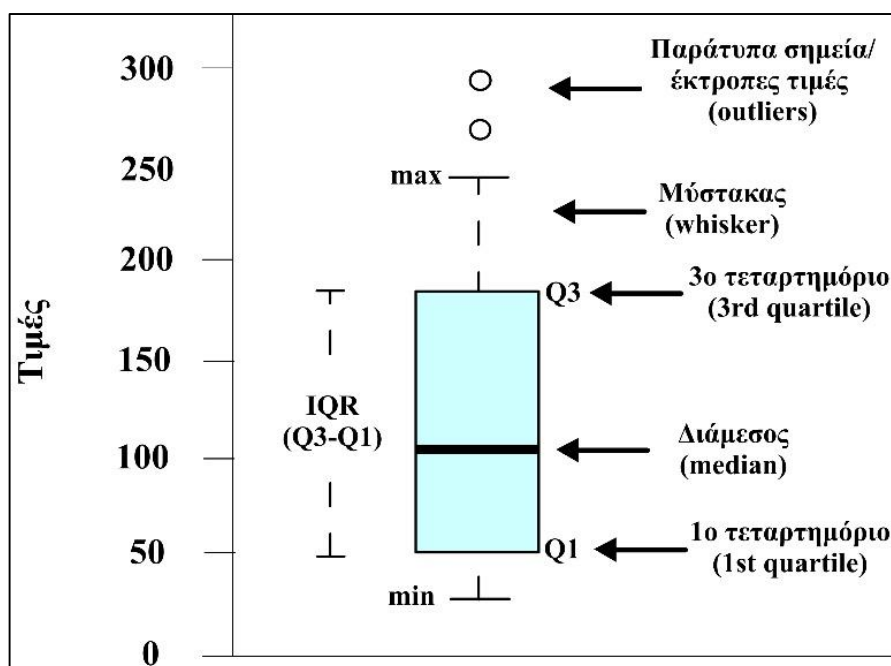
Για τα βάθη από 15 έως 20 m, ο χάρτης κατανομής του σχήματος 5.12 υποδεικνύει τη σαφή επικράτηση των λεπτόκοκκων υλικών έναντι των χονδρόκοκκων που εμφανίζονται κατά τόπους με μεγαλύτερη έκταση στις περιοχές Ν. Ιωνία και Θέρμη. Ακόμη, διευρυμένη, σε σχέση με τα προηγούμενα βάθη, εμφανίζεται η παρουσία του υποβάθρου στο βορειοανατολικό τμήμα, ενώ οι τεχνητές επιχώσεις, όπως είναι αναμενόμενο έπειτα κι από τη διερεύνηση του πάχους και βάθους τους, απουσιάζουν πλήρως.



Σχήμα 5.12: Χάρτης κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για βάθη 15-20 m

Με σκοπό τη λεπτομερή σύγκριση μεταξύ των συνόλων δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και των χαρτών κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών, δημιουργήθηκαν θηκογράμματα (boxplots) στα οποία παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταξύ μιας μεταβλητής κατηγορίας και μιας αριθμητικής μεταβλητής. Η αριθμητική μεταβλητή αντιστοιχεί στο ποσοστό επικράτησης και η μεταβλητή κατηγορία αναφέρεται στα λεπτόκοκκα και αδρόκοκκα υλικά αντίστοιχα. Τα θηκογράμματα, όπως προτάθηκαν από τον Tukey (1977), είναι γραφήματα τα οποία απεικονίζουν, συγκεντρωτικά, τη διάμεσο, τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή, το πρώτο και το τρίτο τεταρτημόριο, καθώς και τις έκτροπες τιμές. Επομένως, μέσω της διαμέσου, προσδιορίζεται, άμεσα, η θέση των δεδομένων, ενώ η διασπορά τους δίνεται μέσω του ενδοτεταρτημοριακού εύρους (IQR), δηλαδή του μήκους του κουτιού. Όσο μεγαλύτερο είναι αυτό το εύρος, τόσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά του μεσαίου 50% των δεδομένων. Τέλος, η ύπαρξη των ακραίων τιμών προσδιορίζεται μέσω των

μυστάκων, δηλαδή συγκεκριμένων αποστάσεων που υπολογίζονται ως εξής: $\max = Q_3 + 1.5 \times IQR$ και $\min = Q_1 - 1.5 \times IQR$ (Σχήμα 5.13). Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ανάμεσα στη μέγιστη και στην ελάχιστη τιμή, τόσο πιο διασκορπισμένα είναι τα δεδομένα.



Σχήμα 5.13: Παράδειγμα θηκογράμματος

Στο σχήμα 5.14 παρουσιάζονται συνολικά τα θηκογράμματα που δημιουργήθηκαν ανά 0.5m και αντιστοιχούν στους χάρτες κατανομής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών, Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, για βάθη από 0 έως 20m. Παρακάτω, δίνεται η ερμηνεία αυτών των θηκογραμμάτων με σκοπό τη λεπτομερή διερεύνηση του ποσοστού συμμετοχής των λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών στα αντίστοιχα βάθη.

Χάρτης κατανομής λεπτόκοκκων-αδρόκοκκων υλικών από 0 έως 5 m.

- *Θηκογράμματα για βάθη 0-0.5, 0.5-1 και 1-1.5 m*

Σχεδόν το σύνολο των τιμών αντιστοιχεί στο 0, τόσο για τα λεπτόκοκκα, όσο και για τα αδρόκοκκα με κάποιες λίγες τιμές να είναι πάνω από το 3^ο τεταρτημόριο. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στα συγκεκριμένα βάθη επικρατούν οι τεχνητές επιχώσεις και συνεπώς τα ποσοστά επικράτησης των δύο υλικών είναι μηδενικά έως αμελητέα.

- *Θηκογράμματα για βάθη 1.5-2, 2-2.5, 2.5-3, 3-3.5, 3.5-4, 4-4.5 και 4.5-5 m*

Σχεδόν το σύνολο των τιμών είναι 0 για τα χονδρόκοκκα. Στην περίπτωση των λεπτόκοκκων οι τιμές εκτείνονται από 0 έως 100 (%). Αυτές υποδηλώνουν μεγάλη εξάπλωση και συνεπώς τα αντίστοιχα ποσοστά συμμετοχής των λεπτόκοκκων υλικών ποικίλλουν στα συγκεκριμένα βάθη. Η τιμή της διαμέσου επίσης μεταβάλλεται ως εξής:

Για τα βάθη 1.5-2, 2-2.5, 2.5-3, 3-3.5, 3.5-4, median=0,

για το βάθος 4-4.5 m, median=60 και

για το βάθος 4.5-5 m, median=100

Η αξιολόγηση των θηκογραμμάτων που αναφέρονται στα προαναφερθέντα βάθη, έρχεται σε συμφωνία με το χάρτη κατανομής των σχηματισμών από 0 έως 5 m βάθος, όπου παρατηρείται σαφώς η επικράτηση των λεπτόκοκκων, σε σχέση με τα αδρόκοκκα υλικά, σε όλη την έκταση της περιοχής έρευνας.

Χάρτης κατανομής λεπτόκοκκων-αδρόκοκκων υλικών από 5 έως 20 m.

- *Θηκογράμματα για βάθη 5-5.5, 5.5-6, 6-6.5, 6.5-7, 7-7.5, 8.5-9 και 9.5-10 m*

Το σύνολο των τιμών αντιστοιχεί στο 0 για τα χονδρόκοκκα. Παρατηρούνται κάποια παράτυπα σημεία που απέχουν αρκετά από τη διάμεσο και είναι μακριά από το μεγαλύτερο σύνολο των δεδομένων.

- *Θηκογράμματα για βάθη 7.5-8, 8-8.5 και 9-9.5 m*

Οι τιμές στα λεπτόκοκκα εκτείνονται από το 0 έως το 100 (%), έχουν μεγάλη εξάπλωση και επομένως τα αντίστοιχα ποσοστά συμμετοχής ποικίλλουν στα συγκεκριμένα βάθη. Η διάμεσος είναι στο 100 για όλες τις περιπτώσεις. Ταυτόχρονα, το ποσοστό επικράτησης των αδρόκοκκων για τα βάθη 7.5-8 και 8-8.5 m κυμαίνεται από 0 έως 50, ενώ το εύρος του θηκογράμματος περιορίζεται από 0 έως 20 (%). Και στα δύο βάθη παρατηρούνται παράτυπα σημεία. Για το βάθος 9-9.5 m τα ποσοστά επικράτησης στα χονδρόκοκκα εκτείνονται από 0 έως 90 (%), ενώ το εύρος του θηκογράμματος περιορίζεται από 0 έως 38 (%). Και σ' αυτό το βάθος παρατηρούνται παράτυπα σημεία.

Η αξιολόγηση των θηκογραμμάτων που αναφέρονται στα προαναφερθέντα βάθη, έρχεται σε συμφωνία με το χάρτη κατανομής των σχηματισμών από 5 έως 10 m βάθος, όπου παρατηρείται σαφώς η επικράτηση των λεπτόκοκκων, σε σχέση με τα αδρόκοκκα υλικά, σε όλη την έκταση της περιοχής έρευνας.

- *Θηκογράμματα για βάθη 10-10.5, 10.5-11, 11-11.5, 11.5-12 και 12-12.5 m*

Οι τιμές στα λεπτόκοκκα εκτείνονται από το 0 έως το 100 (%), έχουν μεγάλη εξάπλωση και επομένως τα ποσοστά συμμετοχής ποικίλλουν στα συγκεκριμένα βάθη. Η διάμεσος είναι στο 100 για όλες τις περιπτώσεις. Στα χονδρόκοκκα το ποσοστό επικράτησης κυμαίνεται από 0 έως 100 (%) εκτός από το βάθος 10-10.5 m, για το οποίο το ποσοστό επικράτησης κυμαίνεται από 0 έως 50 (%). Ακόμη, παρατηρούνται κάποιες έκτροπες τιμές (≥ 60), ενώ το εύρος του θηκογράμματος περιορίζεται από 0 έως 20%.

Για τα υπόλοιπα εξεταζόμενα βάθη δεν παρατηρούνται παράτυπα σημεία και οι τιμές για το εύρος του θηκογράμματος μεταβάλλονται ως εξής:

Για το βάθος 10.5-11m, $IQR=40-0=40\%$,

για τα βάθη 11-11.5 και 11.5-12m, $IQR=60-0=60\%$ και

για τα βάθη 12-12.5 και 13.5-14m, $IQR=80-0=80\%$

- *Θηκογράμματα για βάθη 12.5-13 και 13-13.5 m*

Οι τιμές στα λεπτόκοκκα και αδρόκοκκα υλικά κυμαίνονται από το 0 έως το 100%. Ταυτόχρονα, εξαιτίας της έκτασης των θηκογραμμάτων παρατηρούνται τα εξής:

- Στα λεπτόκοκκα, το 3^ο τεταρτημόριο συμπίπτει με τη διάμεσο (100%) και τη μεγαλύτερη τιμή (max).
- Στα αδρόκοκκα, το 1^ο τεταρτημόριο συμπίπτει με τη διάμεσο (0%) και τη μικρότερη τιμή (min).

- *Θηκογράμματα για βάθη 14-14.5 και 14.5-15 m*

Και στις δύο περιπτώσεις, το εύρος των τιμών για τα λεπτόκοκκα εμφανίζεται σαφώς πιο περιορισμένο από τα προηγούμενα βάθη, τουλάχιστον ως προς το εύρος του θηκογράμματος ($IQR=100-60=40$ για 14-14.5 m και $IQR=100-30=70$ για 14.5-15 m). Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση των μυστάκων οι οποίοι εκτείνονται μέχρι το 0 που είναι και η μικρότερη τιμή. Η τιμή της διαμέσου παραμένει στο 100. Για τα αδρόκοκκα, στο βάθος 14-14.5 m οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 50 (%), με $IQR=20$ και την παρουσία κάποιων παράτυπων σημείων (≥ 60). Για το βάθος 14.5-15 m σχεδόν το σύνολο των τιμών για τα χονδρόκοκκα υλικά είναι 0 με αντίστοιχη παρουσία έκτροπων τιμών.

Σύμφωνα με την αξιολόγηση των θηκογραμμάτων που αναφέρονται στα προαναφερθέντα βάθη, καθώς και την κατανομή των σχηματισμών στον χάρτη για βάθη από 10 έως 15 m, προκύπτει εμφανώς πιο έντονη παρουσία στα χονδρόκοκκα υλικά σε σχέση με αυτή των χαρτών για τα βάθη 0-5 m και 5-10 m, όπου η επικράτηση των λεπτόκοκκων είναι σαφής.

- *Θηκογράμματα για βάθη 10-15.5, 16-16.5, 16.5-17 και 17-17.5 m*

Το σύνολο των τιμών είναι 0 για τα χονδρόκοκκα υλικά, με παρουσία παράτυπων τιμών, ενώ το εύρος των λεπτόκοκκων στο σύνολό τους εμφανίζεται ακόμη πιο περιορισμένο από τα προηγούμενα βάθη. Πιο συγκεκριμένα:

Για το βάθος 15-15.5 m, οι τιμές κυμαίνονται από 40 έως 100 (%) με $median=100$, επικράτηση τιμών του μεσαίου 50% των δεδομένων (IQR) από 100 έως 70% και παρουσία έκτροπων τιμών ($\leq 20\%$).

Για το βάθος 16-16.5 m, οι τιμές κυμαίνονται από 80 έως 100 (%) με $median=100$, επικράτηση τιμών του μεσαίου 50% των δεδομένων (IQR) από 100 έως 90% και παρουσία έκτροπων τιμών ($\leq 70\%$).

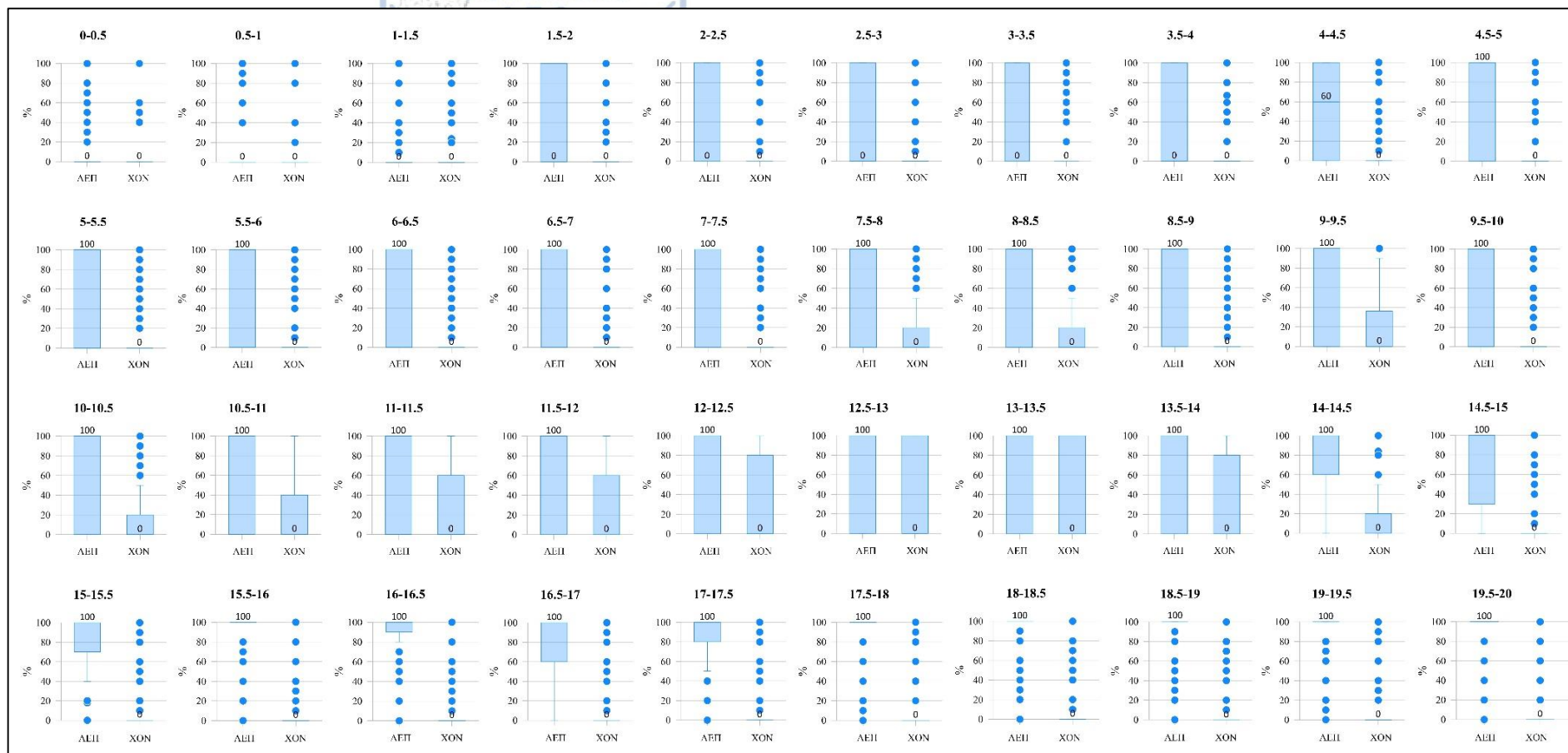
Για το βάθος 16.5-17 m, οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 100 (%) με median=100, επικράτηση τιμών του μεσαίου 50% των δεδομένων (IQR) από 100 έως 60% και παρουσία έκτροπων τιμών.

Για το βάθος 17-17.5 m, οι τιμές κυμαίνονται από 50 έως 100 (%) με median=100, επικράτηση τιμών του μεσαίου 50% των δεδομένων (IQR) από 100 έως 80% και παρουσία έκτροπων τιμών ($\leq 40\%$).

- *Θηκογράμματα για βάθη 15.5-16, 17.5-18, 18-18.5, 18.5-19, 19-19.5 και 19.5-20 m*

Το σύνολο των τιμών είναι 0 για τα χονδρόκοκκα υλικά και αντίστοιχα το σύνολο των τιμών για τα λεπτόκοκκα υλικά είναι 100. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούνται παράτυπα σημεία.

Από την αξιολόγηση των θηκογραμμάτων για τα συγκεκριμένα βάθη, και τον αντίστοιχο χάρτη κατανομής για βάθη από 15 έως 20 m, παρατηρείται σαφής επικράτηση των λεπτόκοκκων έναντι των χονδρόκοκκων, σε όλη την έκταση της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 5.14: Θηκογράμματα κατανομής ποσοστού συμμετοχής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, ανά 0.5 m για βάθη από 0 έως 20 m

Στο σχήμα 5.15 παρουσιάζονται συνολικά τα θηκογράμματα που δημιουργήθηκαν ανά 0.5 m και αντιστοιχούν στους χάρτες κατανομής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών για βάθη από 0 έως 20 m. Παρακάτω, δίνεται η ερμηνεία αυτών των θηκογραμμάτων με σκοπό την άμεση και λεπτομερή διερεύνηση του ποσοστού συμμετοχής των λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών Τεταρτογενούς ηλικίας στα αντίστοιχα βάθη.

- *Θηκογράμματα για βάθη 0-0.5, 0.5-1, 1-1.5, 1.5-2, 2-2.5, 2.5-3, 3-3.5, 3.5-4, 4-4.5, 4.5-5, 5-5.5, 5.5-6, 6-6.5, 6.5-7, 7-7.5, 7.5-8, 8-8.5, 8.5-9, 9-9.5, 9.5-10, 10-10.5, 10.5-11, 11-11.5, 11.5-12, 12-12.5, 12.5-13, 13-13.5, 13.5-14, 14-14.5, 14.5-15, 15-15.5, 15.5-16, 16-16.5, 16.5-17, 17-17.5 και 17.5-18 m*

Οι τιμές, τόσο για τα λεπτόκοκκα όσο και για τα αδρόκοκκα υλικά, κυμαίνονται από 0 έως 100 (%), ενώ ταυτόχρονα εξαιτίας της έκτασης των θηκογραμμάτων και γενικά του μεγάλου εύρους στις τιμές, παρατηρούνται τα εξής:

- Στα λεπτόκοκκα, το 3^ο τεταρτημόριο συμπίπτει με τη διάμεσο (100%) και τη μεγαλύτερη τιμή (max).
- Στα αδρόκοκκα, το 1^ο τεταρτημόριο συμπίπτει με τη διάμεσο (0%) και τη μικρότερη τιμή (min).

- *Θηκογράμματα για βάθη 18-18.5 και 19.5-20 m*

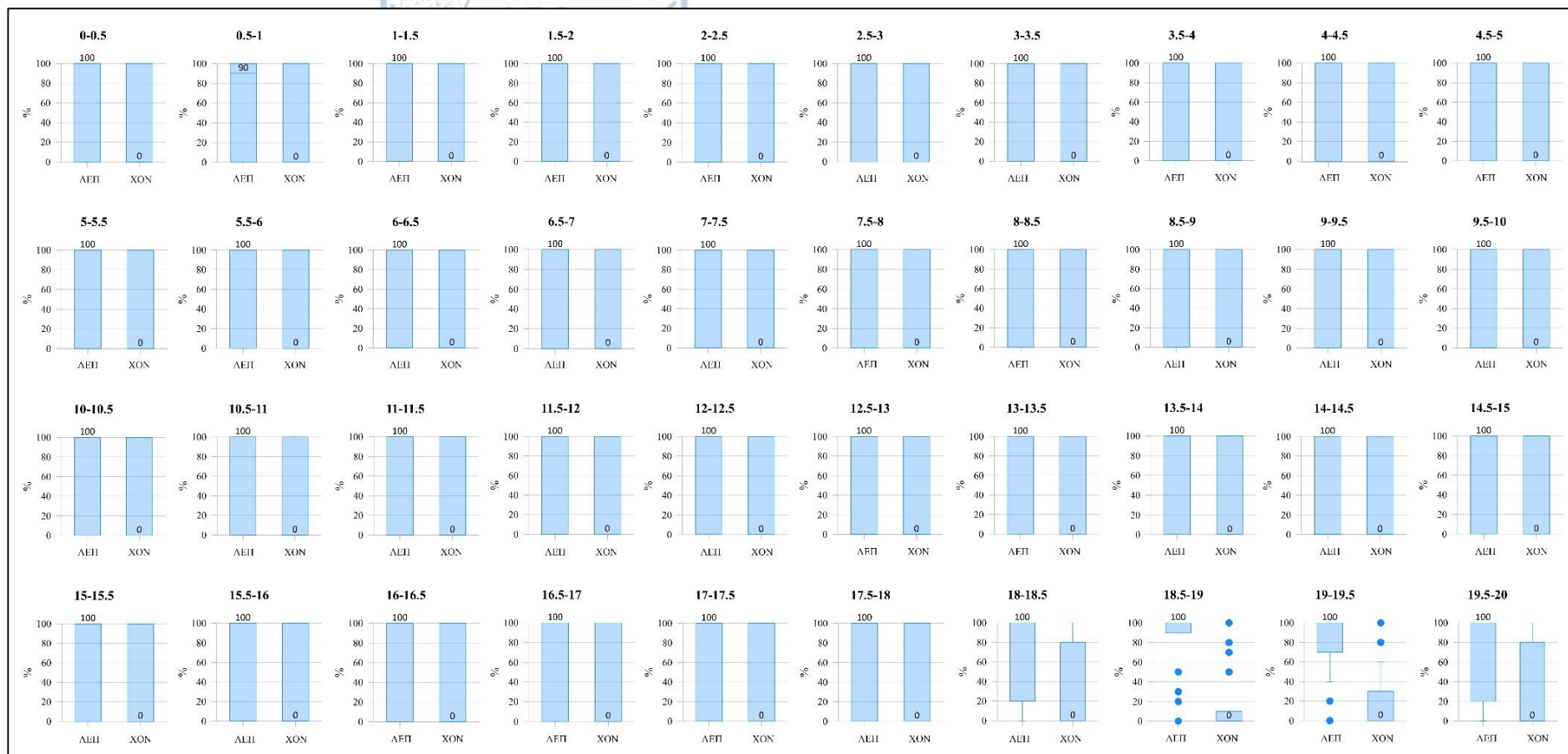
Στα λεπτόκοκκα οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 100 (%) με median=100 και επικράτηση τιμών του μεσαίου 50% των δεδομένων (IQR) από 100 έως 20%. Στα αδρόκοκκα οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 100 (%) με median=0 και επικράτηση τιμών του μεσαίου 50% των δεδομένων (IQR) από 80 έως 0%.

- *Θηκογράμματα για βάθη 18.5-19 και 19-19.5 m*

Οι τιμές, τόσο στα λεπτόκοκκα όσο και στα αδρόκοκκα υλικά, εμφανίζονται σαφώς πιο περιορισμένες σε σχέση με τα υπόλοιπα βάθη, τουλάχιστον ως προς το εύρος του θηκογράμματος. Πιο συγκεκριμένα:

Για το βάθος 18.5-19 m, οι τιμές στα λεπτόκοκκα κυμαίνονται από 90 έως 100 (%), με median=100 και παρουσία έκτροπων τιμών (≤ 50). Για τα αδρόκοκκα οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 10 (%), με median=0 και παρουσία έκτροπων τιμών (≥ 50).

Για το βάθος 19-19.5m, οι τιμές στα λεπτόκοκκα κυμαίνονται από 40 έως 100 (%) με median=100, με επικράτηση τιμών του μεσαίου 50% των δεδομένων (IQR) από 100 έως 70 και παρουσία παράτυπων σημείων (≤ 20). Για τα αδρόκοκκα οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 60 (%), με median=0, επικράτηση τιμών του μεσαίου 50% των δεδομένων (IQR) από 300 έως 0 και παρουσία παράτυπων σημείων (≥ 80).



Σχήμα 5.15: Οηκογράμματα κατανομής ποσοστού συμμετοχής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας, ανά 0.5 m για βάθη από 0 έως 20 m

Στο σχήμα 5.16 παρουσιάζονται συνολικά τα θηκογράμματα που δημιουργήθηκαν ανά 0.5m και αντιστοιχούν στους χάρτες κατανομής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών για βάθη από 0 έως 20 m. Παρακάτω, δίνεται η ερμηνεία αυτών των θηκογραμμάτων με σκοπό την άμεση και λεπτομερή διερεύνηση του ποσοστού συμμετοχής των λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών Νεογενούς ηλικίας στα αντίστοιχα βάθη.

- *Θηκογράμματα για βάθη 0-0.5 και 0.5-1 m*

Οι τιμές, τόσο για τα λεπτόκοκκα όσο και για τα αδρόκοκκα υλικά, κυμαίνονται από 0 έως 100 (%), ενώ ταυτόχρονα εξαιτίας της έκτασης των θηκογραμμάτων και γενικά του μεγάλου εύρους στις τιμές του μεσαίου 50% των δεδομένων (IQR), παρατηρούνται τα εξής:

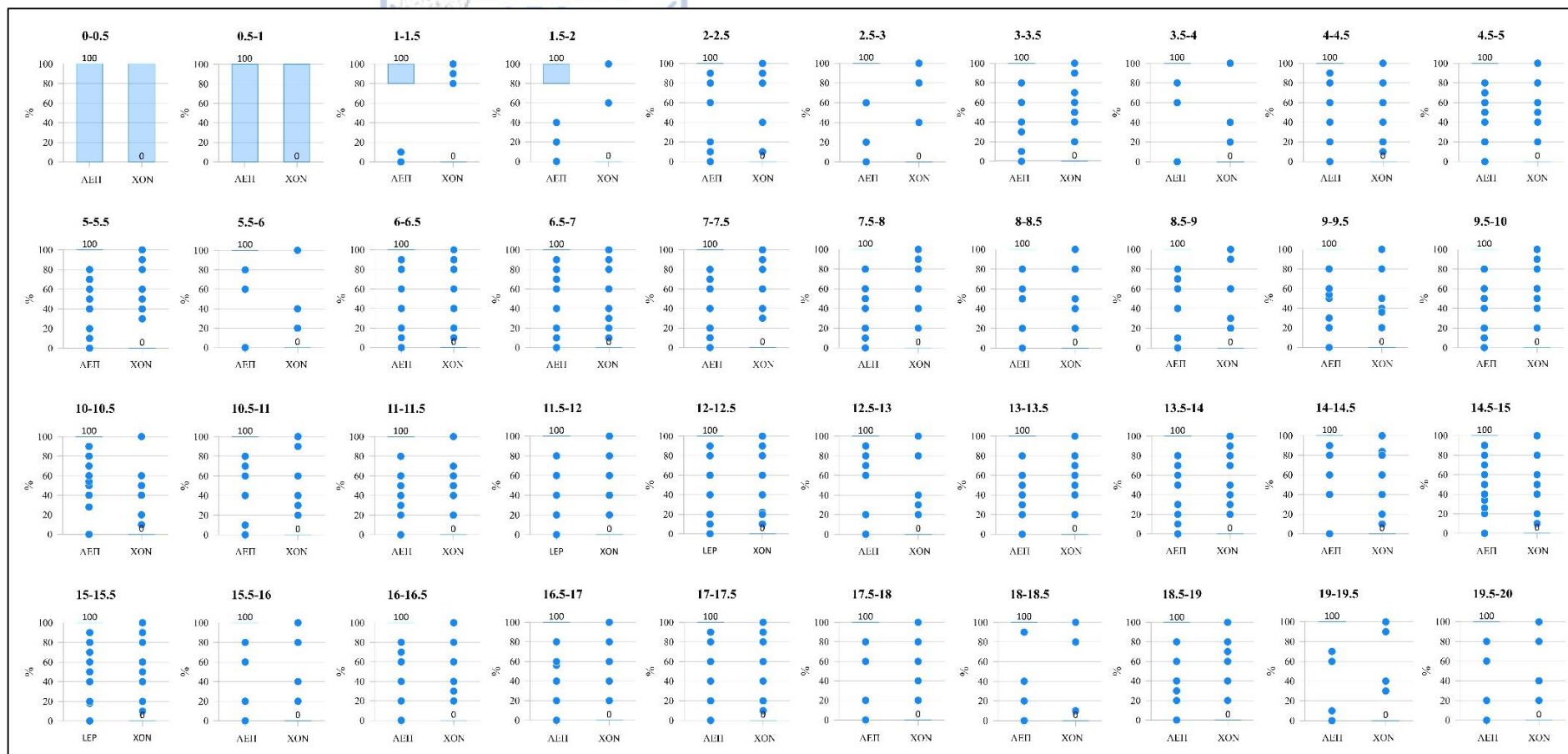
- Στα λεπτόκοκκα, το 3^ο τεταρτημόριο συμπίπτει με τη διάμεσο (100%) και τη μεγαλύτερη τιμή (max).
- Στα αδρόκοκκα, το 1^ο τεταρτημόριο συμπίπτει με τη διάμεσο (0%) και τη μικρότερη τιμή (min).

- *Θηκογράμματα για βάθη 1-1.5 και 1.5-2m*

Οι τιμές για τα λεπτόκοκκα κυμαίνονται από 80 έως 100 (%). Επίσης, απουσιάζουν οι μύστακες και συνεπώς το 1^ο τεταρτημόριο ταυτίζεται με τη μικρότερη τιμή (min). Στα χονδρόκοκκα, το σύνολο των δεδομένων είναι 0. Έκτροπες τιμές παρατηρούνται και στις δύο περιπτώσεις.

- *Θηκογράμματα για βάθη 2-2.5, 2.5-3, 3-3.5, 3.5-4, 4-4.5, 4.5-5, 5-5.5, 5.5-6, 6-6.5, 6.5-7, 7-7.5, 7.5-8, 8-8.5, 8.5-9, 9-9.5, 9.5-10, 10-10.5, 10.5-11, 11-11.5, 11.5-12, 12-12.5, 12.5-13, 13-13.5, 13.5-14, 14-14.5, 14.5-15, 15-15.5, 15.5-16, 16-16.5, 16.5-17, 17-17.5, 17.5-18, 18-18.5, 18.5-19, 19-19.5 και 19.5-20 m*

Σχεδόν το σύνολο των τιμών είναι 0 για τα αδρόκοκκα και αντίστοιχα το σύνολο των τιμών για τα λεπτόκοκκα είναι 100. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούνται έκτροπες τιμές.



Σχήμα 5.16: Θηκογράμματα κατανομής ποσοστού συμμετοχής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας, ανά 0.5 m για βάθη από 0 έως 20 m

5.3.2 Κοκκομετρική ανάλυση

Η κοκκομετρική ανάλυση αφορά στη μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν από την κοκκομετρική διαβάθμιση, με σκοπό την ταξινόμηση των εδαφών. Η κοκκομετρική διαβάθμιση υπολογίζεται εργαστηριακά, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.3.3, και τα αποτελέσματα αυτής παρουσιάζονται στις λεγόμενες κοκκομετρικές καμπύλες. Στο παρόν υποκεφάλαιο, πραγματοποιείται περαιτέρω διάκριση των υλικών σχετικά με την κοκκομετρική διαβάθμισή τους, σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα των γεωτρήσεων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ανά 5m οι κοκκομετρικές καμπύλες των εξεταζόμενων γεωυλικών με σκοπό τη συγκριτική αξιολόγησή τους με τους χάρτες κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για τα αντίστοιχα βάθη. Στα μητρώα των γεωτρήσεων δεν δίνονται οι κατατάξεις των αραιόμετρων και συνεπώς το σύνολο των κοκκομετρικών καμπύλων που προβάλλονται στα επόμενα σχήματα σταματά στο όριο ιλύος-αργίλου ($d=0.002\text{ mm}$).

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των τεχνητών επιχώσεων καθώς και των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για βάθος 0-15 m.

Από την αξιολόγηση των διαγραμμάτων για βάθος 0-15 m (σχήμα 5.17) προκύπτει ότι:

- για τις τεχνητές επιχώσεις επικρατούν τα αδρόκοκκα υλικά (άμμος, χάλικες). Συγκεκριμένα ο σχηματισμός αυτός αποτελείται κατά κύριο λόγο από χαλίκια κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο, χαλαρή ιλυώδη έως αργιλώδη άμμο με κυμαινόμενο ποσοστό χαλίκων έως κατά θέσεις ιλυώδεις αμμοχάλικο.
- Αναφορικά με τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, αυτές αποτελούνται κατά βάση από υλικά αμμώδους σύστασης. Ο σχηματισμός αποτελείται κυρίως από ιλυώδεις άμμους με κυμαινόμενα ποσοστά χαλικιών και ιλυώδεις χάλικες με άμμο.
- Παρόμοια εικόνα παρουσιάζουν και οι κοκκομετρικές καμπύλες των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας για το συγκεκριμένο βάθος.

Για το βάθος 5-10 m (σχήμα 5.18):

- Οι τεχνητές επιχώσεις αποτελούνται από υλικό κακής κοκκομετρικής διαβάθμισης. Εδώ επικρατούν κατά κύριο λόγο τα χαλίκια και η άμμος, ενώ, παρότι περιορισμένη, είναι εμφανής και η παρουσία λεπτόκοκκων στοιχείων.
- Οι αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, χαρακτηρίζονται από την έντονη παρουσία τόσο των αδρόκοκκων, όσο και των λεπτόκοκκων υλικών. Πρόκειται για σχηματισμούς που αποτελούνται από αμμώδεις αργίλους και αργίλους με άμμο, αμμώδεις ιλύες και αργιλώδεις-ιλυώδεις άμμους με κυμαινόμενο ποσοστό χαλικιών.

Σύμφωνα με το σχήμα 5.19, για βάθος 10-15 m:

- Οι τεχνητές επιχώσεις αποτελούνται εξ ολοκλήρου από αδρόκοκκα υλικά και συγκεκριμένα από λεπτά χαλίκια και άμμο ποικίλης κοκκομετρίας.
- Αναφορικά με τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις, οι κοκκομετρικές καμπύλες προσδιορίζουν την επικράτηση εδαφών όπως τα αμμοχάλικα, η ιλυώδης άμμος και η αργιλώδης-αμμώδης ιλύς.

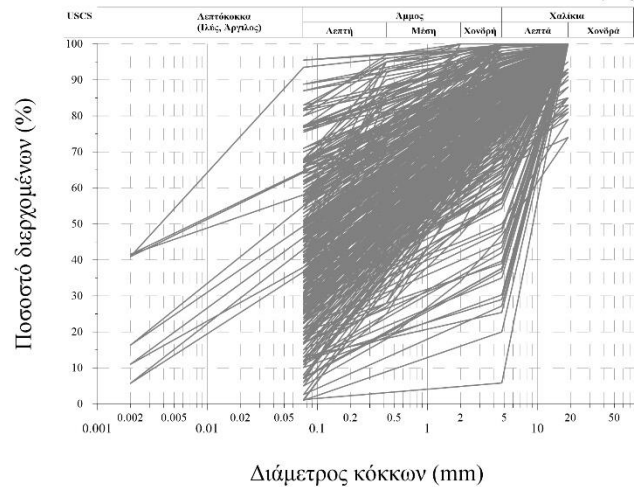
Για τα βάθη 15-20 m και 20-25 m, έχουν προσδιοριστεί οι κοκκομετρικές καμπύλες των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, οι οποίες παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ. Τα διαγράμματα για την κοκκομετρική διαβάθμιση των δύο σχηματισμών είναι παρόμοια για τα αντίστοιχα βάθη. Για τις τεχνητές επιχώσεις δεν δημιουργούνται κοκκομετρικές καμπύλες, καθώς σ' αυτά τα βάθη δεν εμφανίζεται ο συγκεκριμένος σχηματισμός.

Συνολικά, από τα διαγράμματα που προέκυψαν από την κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα παρατηρείται ότι για βάθη μεγαλύτερα των 10-15 m, τόσο στις αποθέσεις Τεταρτογενούς, όσο και στις αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας, οι κλίσεις των κοκκομετρικών καμπύλων χαρακτηρίζουν εδάφη καλής κοκκομετρικής διαβάθμισης. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει την ύπαρξη ανομοιομορφίας ως προς τη διάταξη των κόκκων και συνεπώς ευνοεί την αύξηση της διατμητικής αντοχής αυτών των αποθέσεων με το βάθος.

Βάθος: 0-5 m
(801 δοκιμές)

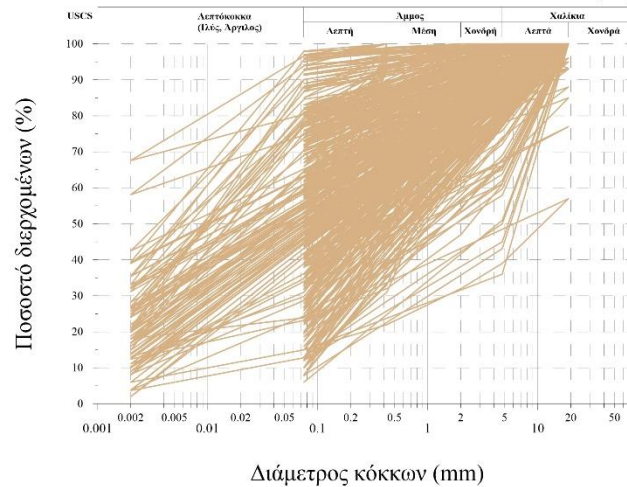
Τεχνητές επιχώσεις

196 δοκιμές



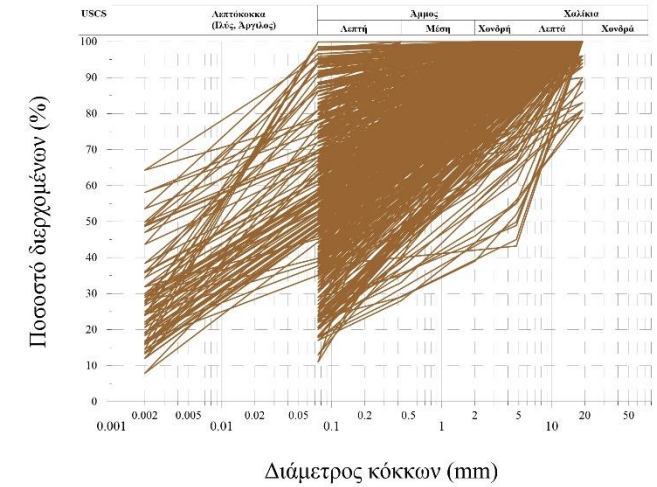
Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

260 δοκιμές



Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας

345 δοκιμές

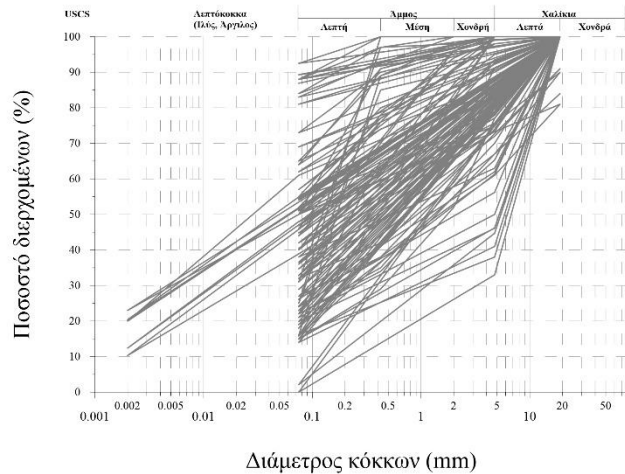


Σχήμα 5.17: Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 0-5 m

Βάθος: 5-10 m
(1132 δοκιμές)

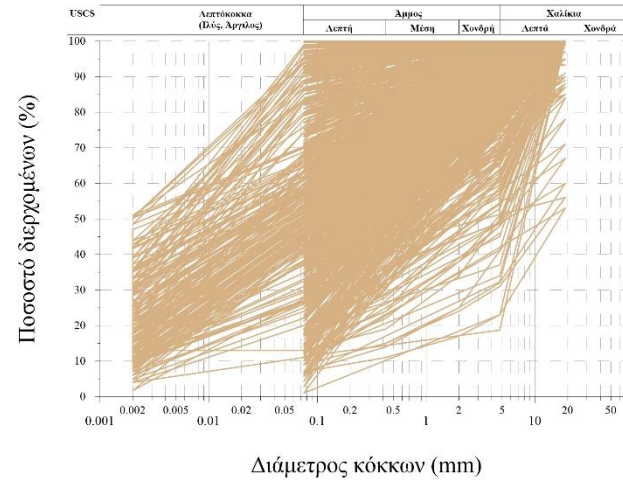
Τεχνητές επιχώσεις

75 δοκιμές



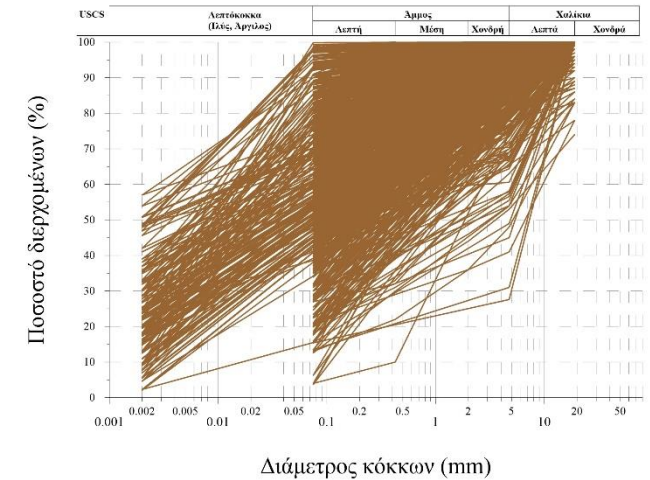
Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

476 δοκιμές



Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας

581 δοκιμές

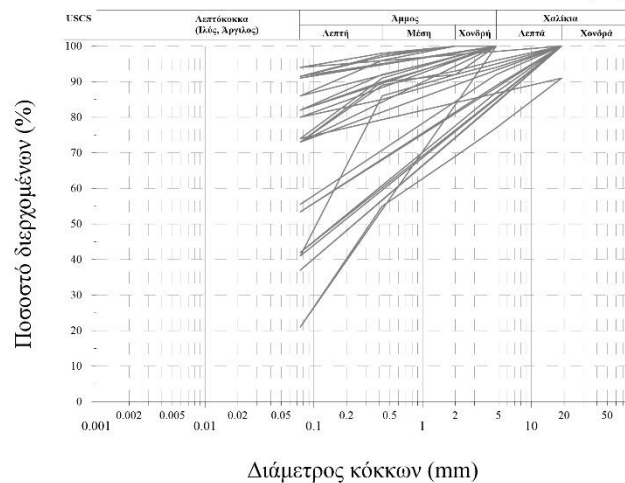


Σχήμα 5.18: Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 5-10 m

Βάθος: 10-15 m
(984 δοκιμές)

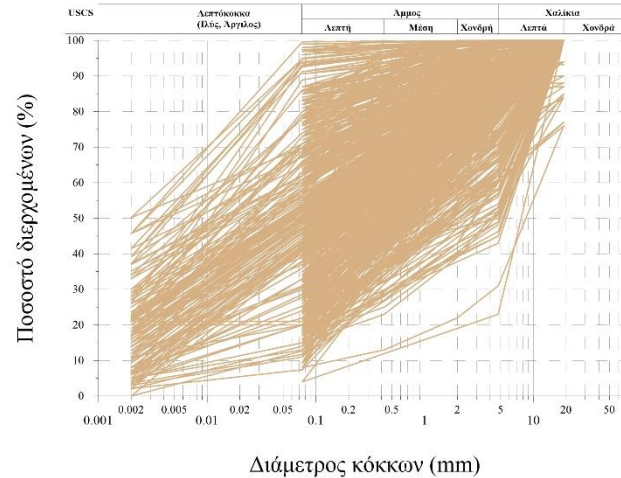
Τεχνητές επιχώσεις

17 δοκιμές



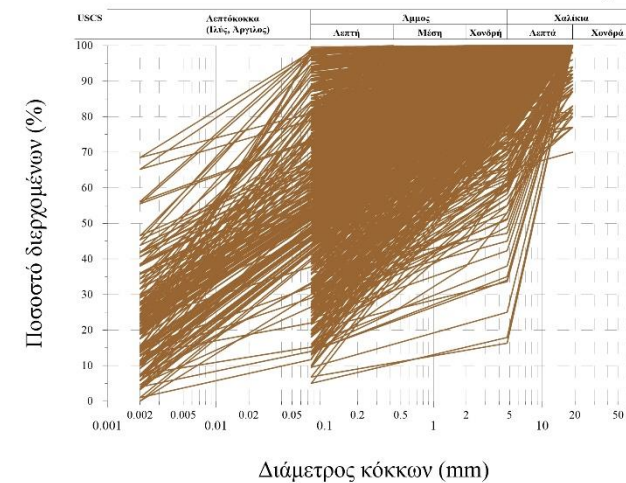
Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

374 δοκιμές



Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας

593 δοκιμές



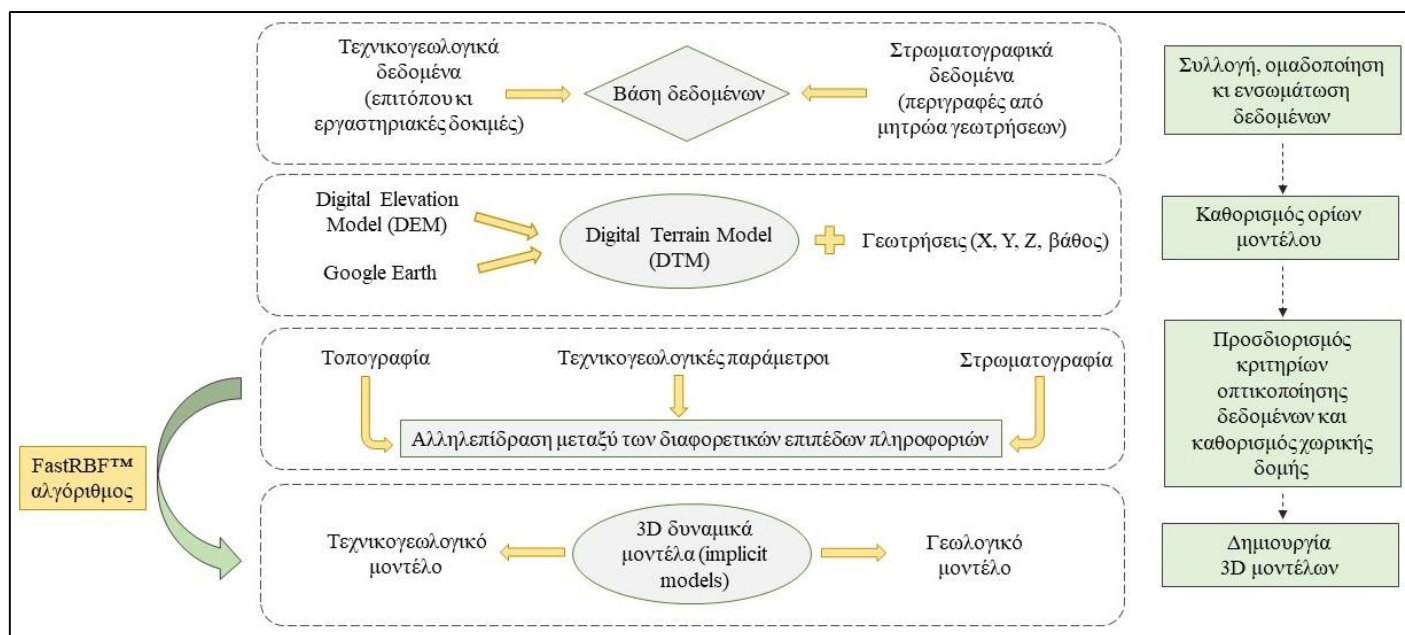
Σχήμα 5.19: Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 10-15 m

Τις τελευταίες δεκαετίες, το πεδίο της τρισδιάστατης γεωλογικής μοντελοποίησης σε αστικές περιοχές έχει υποστεί ραγδαίες εξελίξεις. Πρόκειται για ένα αντικείμενο που χρησιμοποιείται ευρέως κι έχει ως βασικό στόχο τη διερεύνηση των επιφανειακών και υπόγειων συνθηκών με σκοπό αφενός τον προσδιορισμό των γεωκινδύνων, και αφετέρου την ασφαλή ανάπτυξη των πόλεων. Η επιλογή των μεθόδων μοντελοποίησης εξαρτάται από τον χαρακτήρα και το δίκτυο των διαθέσιμων δεδομένων, καθώς και από τη γεωλογική πολυπλοκότητα της υπό μοντελοποίηση περιοχής (Caumon et al., 2009; Royse, 2010; Pellerin et al., 2014; Jørgensen et al., 2015; Wang et al., 2016; Martin and Boisvert, 2017).

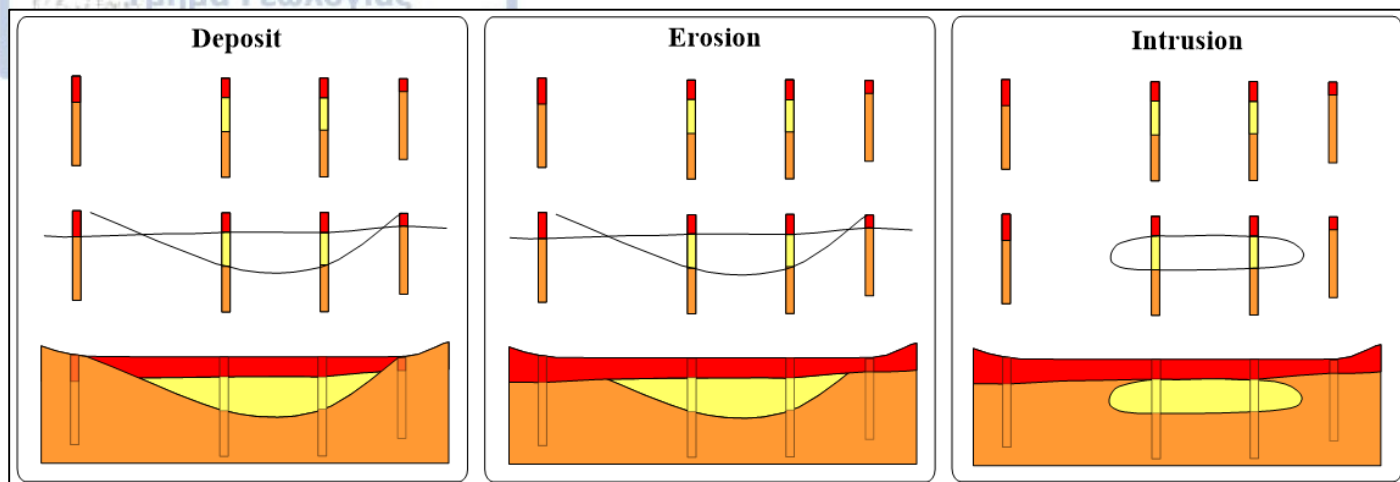
Στην παρούσα διατριβή, η τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Leapfrog Works (Seequent Limited). Το λογισμικό χρησιμοποιεί μια μαθηματική μέθοδο που ονομάζεται παρεμβολή για την παραγωγή δυναμικών μοντέλων, γνωστά ως «implicit models» (Baynes και Parry, 2022). Η παρεμβολή ως μέθοδος, περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3 και αναφέρεται στην διαδικασία με την οποία εκτιμάται η τιμή μίας παραμέτρου που δεν είναι γνωστή σε ένα σημείο ενδιαφέροντος, αλλά είναι γνωστή σε άλλα σημεία. Το Leapfrog Works χρησιμοποιεί το FastRBF™, έναν μαθηματικό αλγόριθμο που αναπτύχθηκε από συναρτήσεις ακτινικής βάσης (Radial Basis Function - RBF), επιταχύνοντας τη διαδικασία κατασκευής γεωλογικών μοντέλων κι επιτρέποντας ταυτόχρονα τη δυναμική ενημέρωσή τους (Cowan et al., 2003; Hillier et al., 2014). Το Leapfrog Works είναι ένα ισχυρό εργαλείο τρισδιάστατης απεικόνισης του υπεδάφους που μετατρέπει τα πολύπλοκα - σε πολλές περιπτώσεις - δεδομένα, σε σαφή κι εύκολα στην ερμηνεία τους μοντέλα. Το λογισμικό, εκτός από την οπτικοποίηση και τη διαχείριση χωρικών δεδομένων επιτρέπει και τη μοντελοποίηση υπόγειων υποδομών όπως είναι οι σήραγγες.

Για τη δημιουργία των διάφορων μοντέλων στο Leapfrog Works, ακολουθείται μια συγκεκριμένη διαδικασία, η οποία περιγράφεται συνοπτικά στο Σχήμα 5.20. Σε πρώτη φάση προσδιορίζονται τα διαθέσιμα δεδομένα ούτως ώστε να καθοριστεί η περίμετρος του κάθε μοντέλου. Καθορίζεται έτσι η πλευρική έκταση της εκάστοτε υπό έρευνα περιοχής και παράλληλα εισάγεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους με σκοπό να προσδιοριστεί το υψόμετρο και τα όρια του μοντέλου ως προς τον άξονα z. Στη συνέχεια, εισάγονται οι γεωτρήσεις στο χώρο και προβάλλονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί εντός αυτών. Έπειτα ακολουθεί η διαδικασία της τρισδιάστατης μοντελοποίησης ξεκινώντας με τη δημιουργία των διεπιφανειών των γεωλογικών σχηματισμών. Για την κατασκευή των διεπιφανειών χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά εργαλεία παρεμβολής που ονομάζονται

«Intrusion», «Erosion» και «Deposit». Πρόκειται για διαφορετικές λειτουργικές διαδικασίες που δίνουν εναλλακτικά γραφικά αποτελέσματα (Σχήμα 5.21). Συγκεκριμένα, το εργαλείο «Deposit» δημιουργεί επιφάνειες που επεκτείνονται πλευρικά, με χαρακτηριστική φυλλώδη μορφή. Οι επιφάνειες επαφής αυτού του τύπου δεν «κόβουν» παλαιότερες επιφάνειες κι αντίστοιχα οι νεότεροι όγκοι που καθορίζονται κατά τη μοντελοποίηση, εμφανίζονται πάνω σε παλαιότερους. Οι επιφάνειες διάβρωσης δημιουργούνται με το εργαλείο «Erosion». Είναι παρόμοιες με τις αποθέσεις που δημιουργούνται με το εργαλείο «Deposit», αλλά αποκόπτουν άλλες επιφάνειες επαφής στην παλαιότερη πλευρά της επιφάνειας επαφής διάβρωσης. Το εργαλείο «Intrusion» δημιουργεί δομές περιορισμένης έκτασης με πιο στρογγυλό σχήμα, ακολουθώντας τα στρωματογραφικά δεδομένα (π.χ. φακοί, μαγματικές διεισδύσεις κ.α.). Και στις τρεις περιπτώσεις, η μοντελοποίηση βασίζεται στην απόδοση παραμέτρων που καθορίζονται από τον χρήστη και περιγράφουν τη χωρική κατανομή των υπό μοντελοποίηση σχηματισμών, έτσι ώστε να μην υπάρχει κενός χώρος ή επικαλυπτόμενοι όγκοι στο μοντέλο. Συνεπώς, για τη δημιουργία κάθε μοντέλου πρέπει να τηρούνται ορισμένοι βασικοί κανόνες μοντελοποίησης έτσι ώστε να αναπαριστώνται σωστά οι σχέσεις μεταξύ των γεωλογικών διεργασιών.



Σχήμα 5.20: Διάγραμμα ροής που περιγράφει τη διαδικασία της 3D μοντελοποίησης



Σχήμα 5.21: Διαφορετικοί τύποι επιφανειών με τη χρήση των εργαλείων παρεμβολής «Deposit», «Erosion» και «Intrusion» στο Leapfrog Works

Η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα των δεδομένων είναι δύο κρίσιμοι παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα των 3D μοντέλων. Αντίστοιχης σημασίας είναι η επιλογή των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται κατά τη μοντελοποίηση, καθώς και η ερμηνεία του ίδιου του μοντέλου μετά την κατασκευή του. Μια ωφέλιμη προσέγγιση είναι η εξέταση όλων των πιθανών πηγών αβεβαιότητας που σχετίζονται με τη δημιουργία 3D γεωλογικών/τεχνικογεωλογικών μοντέλων και της συμβολής τους. Η αβεβαιότητα μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες συνοψίζονται ως εξής:

1. Αξιοπιστία και ποιότητα δεδομένων (π.χ. διαφορετικές πηγές προέλευσης δεδομένων εισόδου/ακρίβεια των μετρήσεων και δεδομένων εισόδου/ασυνέπεια στην καταγραφή δεδομένων/σφάλματα εγγραφών κατά την είσοδο των τιμών στο λογισμικό)
2. Γεωμετρική μοντελοποίηση (π.χ. απόσταση και κατανομή γεωτρήσεων στο χώρο/προσανατολισμός σε σχέση με βασικές δομές/οριοθέτηση περιοχής μοντέλου με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα/επιλογή κατάλληλου εργαλείου παρεμβολής/εγγενής αβεβαιότητα της παρεμβολής μακριά από γνωστά σημεία/εσωτερική μεταβλητότητα του μοντέλου ανάλογα με την κλίμακα και την έκταση της περιοχής)
3. Εννοιολογική αβεβαιότητα λόγω ελλιπούς γεωλογικής γνώσης ή/και μεροληψίας (Bond et al., 2008; Wellmann et al., 2010).

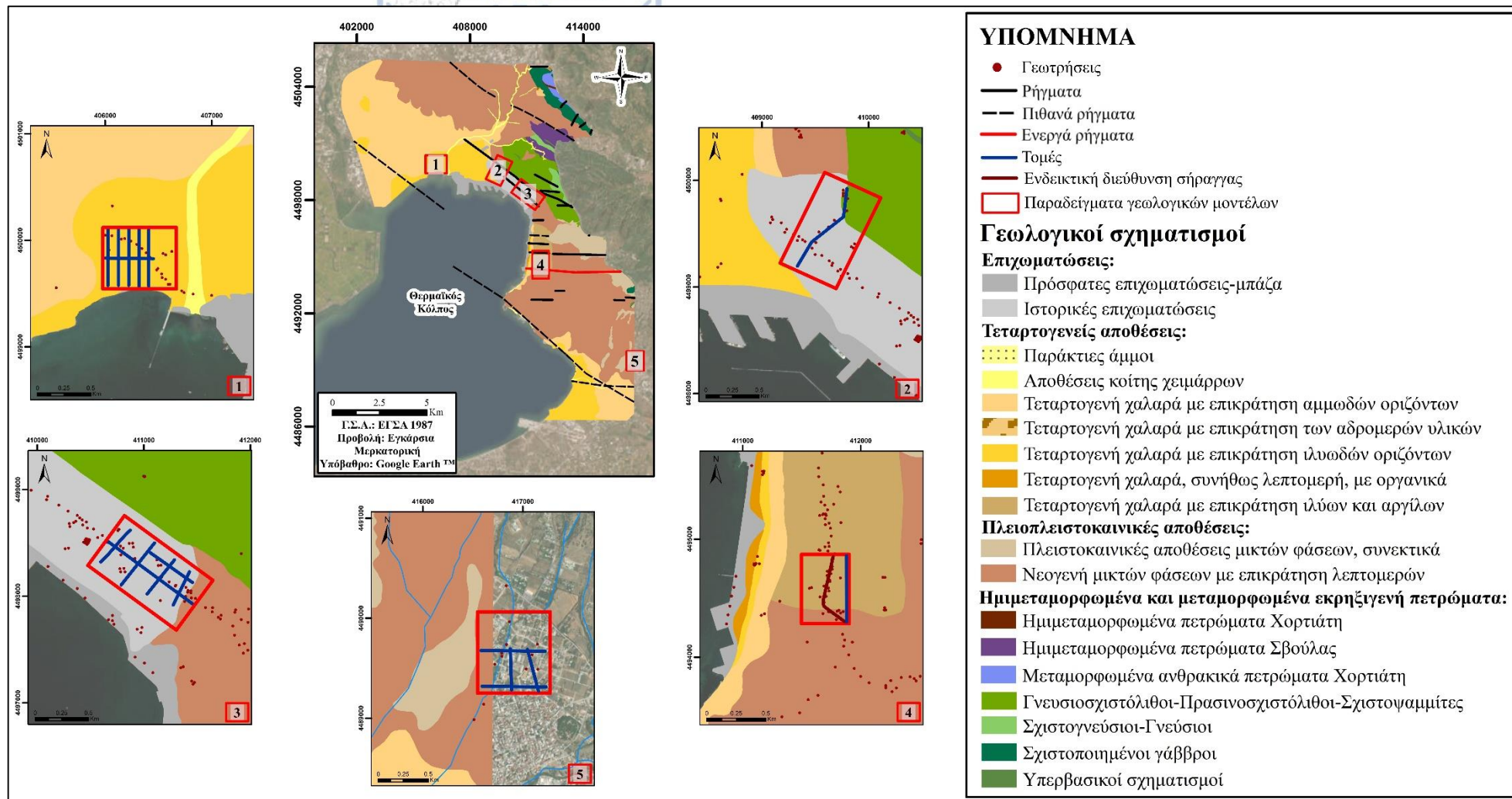
Η αβεβαιότητα της πρώτης κατηγορίας συνδέεται με τη διαχείριση των διαθέσιμων δεδομένων. Πρόκειται για μια χρονοβόρα διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2 της διατριβής και εστιάζει στην αξιολόγηση των δεδομένων εισόδου μέσα από την ταξινόμηση και τη συσχέτισή τους. Οι αβεβαιότητες της δεύτερης κατηγορίας συνδέονται κυρίως με την πυκνότητα των δεδομένων και τη γεωγραφική κατανομή τους. Η συγκεκριμένη κατηγορία περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο

1.2 όπου αναπτύσσεται η θεματική των παραδοχών στις οποίες βασίζεται η παρούσα έρευνα. Τέλος, αναφορικά με την τρίτη κατηγορία, δεν υπάρχει κάποια αντικειμενική μέθοδος για την αποφυγή αυτών των επισφαλών εκτιμήσεων. Πρόκειται για υποκειμενικές ερμηνείες που καθοδηγούνται εν μέρει από τα δεδομένα και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις γνώσεις και την εμπειρία των εμπλεκομένων, με σκοπό την παραγωγή, κατά το δυνατόν, ρεαλιστικών αποτελεσμάτων.

5.3.3.2 Παραδείγματα γεωλογικών μοντέλων

Η επιλογή των περιοχών για την κατασκευή των γεωλογικών μοντέλων γίνεται με σκοπό τόσο την παρουσίαση, όσο και την ανάδειξη πληροφοριών που περιλαμβάνουν την ηλικία των γεωλογικών σχηματισμών, τη στρωματογραφία, τη λιθολογία, τα δομικά στοιχεία (π.χ. ρήγματα), τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά κ.ά. Οι συγκεκριμένες πληροφορίες αποτελούν απαραίτητο υπόβαθρο για τη δημιουργία δισδιάστατων τομών και εν κατακλείδι την ερμηνεία των καταχωρημένων δεδομένων σε περιβάλλον τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Έπειτα από τη δημιουργία των συγκεκριμένων μοντέλων, γίνεται εισαγωγή δεδομένων από επιτόπια έρευνα ή/και εργαστηριακές δοκιμές (N_{SPT} , I_c , q_u κ.λπ.) για την παραγωγή τεχνικογεωλογικών μοντέλων (υποκεφάλαιο 6.7). Στη συνέχεια, αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τον αρχικό σχεδιασμό τεχνικών έργων, σε επίπεδο χάραξης αλλά και πρόδρομης ανάλυσης.

Στο σχήμα 5.22 απεικονίζεται ο τεχνικογεωλογικός χάρτης και πάνω σ' αυτόν προβάλλονται οι περιοχές για τις οποίες κατασκευάζονται τα γεωλογικά μοντέλα. Πρόκειται για πέντε περιοχές, εκ των οποίων η μία τοποθετείται δυτικά της περιοχής έρευνας, οι δύο βρίσκονται στο ιστορικό κέντρο της πόλης και οι υπόλοιπες ανατολικά αυτού. Η επιλογή των συγκεκριμένων περιοχών γίνεται με βάση τη διαθεσιμότητα των δεδομένων αλλά και των πληροφοριών που επιδιώκεται να αναδειχθούν μέσω αυτών. Σ' αυτό το σημείο, κρίνεται απαραίτητο να τονιστεί ότι η κατανομή των δεδομένων στις εκάστοτε περιοχές των μοντέλων είναι άνιση. Ακόμη, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 2, οι περισσότερες γεωτρήσεις δεν ξεπερνούν σε βάθος τα 40 m, γεγονός που καθιστά τα γεωλογικά μοντέλα περισσότερο ακριβή σε μικρότερα βάθη και πιο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Τέλος, στις περιπτώσεις όπου κρίνεται απαραίτητο, η κλίμακα υψομέτρων παρουσιάζεται παραμορφωμένη λόγω της ανάγκης για απεικόνιση μεγαλύτερης λεπτομέρειας. Η παραμόρφωση αναφέρεται ως «vertical exaggeration» και προβάλλεται σε εμφανές σημείο είτε στο υπόμνημα των μοντέλων, είτε συνοδεύοντας τις εκάστοτε τομές.

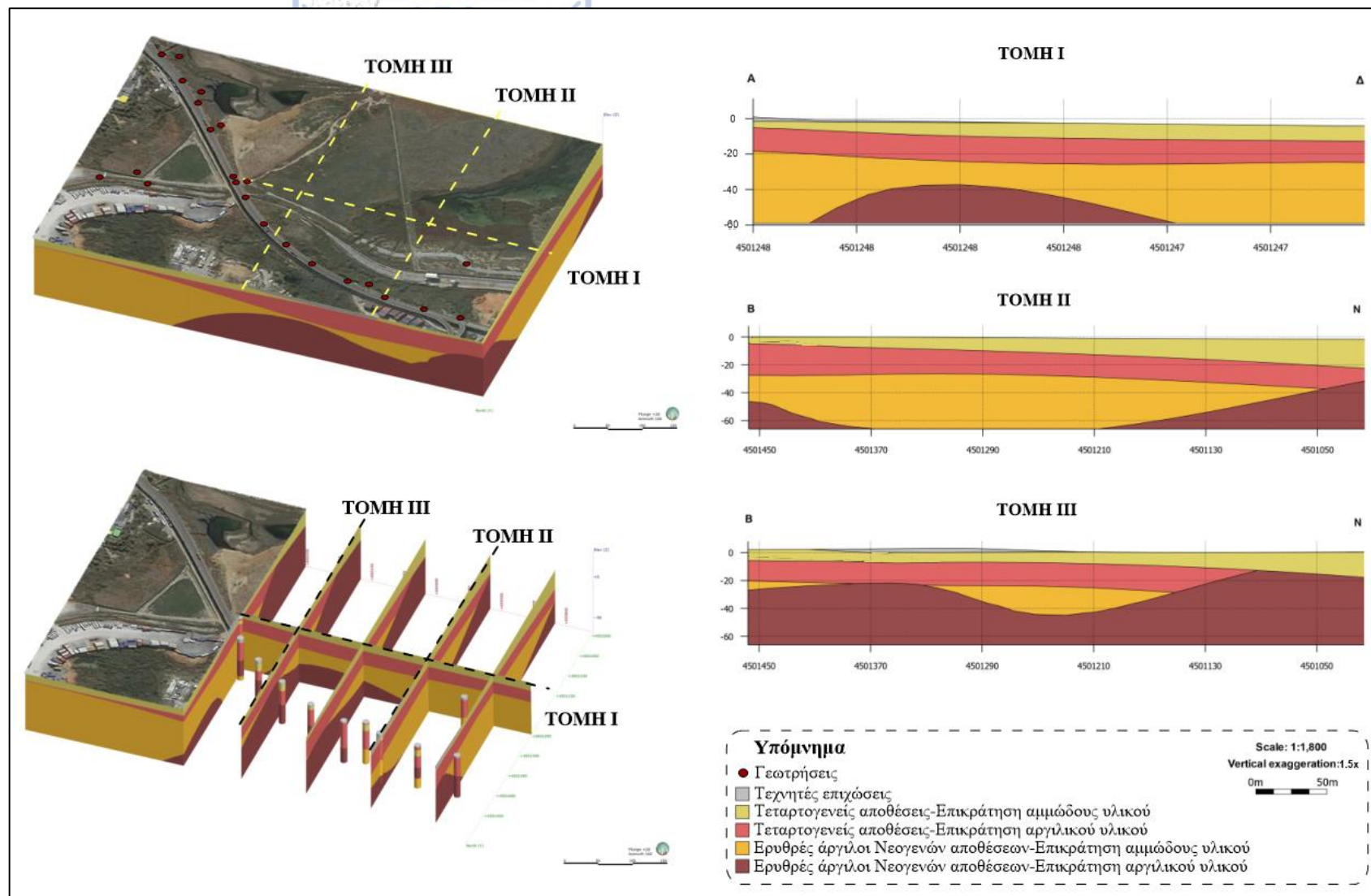


Σχήμα 5.22: Τεχνικογεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας με τις 5 περιοχές για τις οποίες δημιουργούνται 3D γεωλογικά μοντέλα στο Leapfrog Works

Γεωλογικό μοντέλο περιοχής 1

Το τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο του σχήματος 5.23 δείχνει την κατανομή των τύπων λιθολογίας στην εξεταζόμενη περιοχή 1 (σχήμα 5.22) που βρίσκεται δυτικά του λιμανιού της Θεσσαλονίκης. Η συνολική του έκταση είναι 0.32 km^2 και για την κατασκευή του χρησιμοποιούνται 23 γεωτρήσεις. Πρόκειται για πεδινή περιοχή που έχει διαμορφωθεί από τις προσχώσεις του Δενδροποτάμου και του Γαλλικού ποταμού. Τα υψόμετρα στην περιοχή αυτή κυμαίνονται από αρνητικά έως και λίγα μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και αυξάνονται σταδιακά με την αύξηση της απόστασης από τη σημερινή ακτογραμμή.

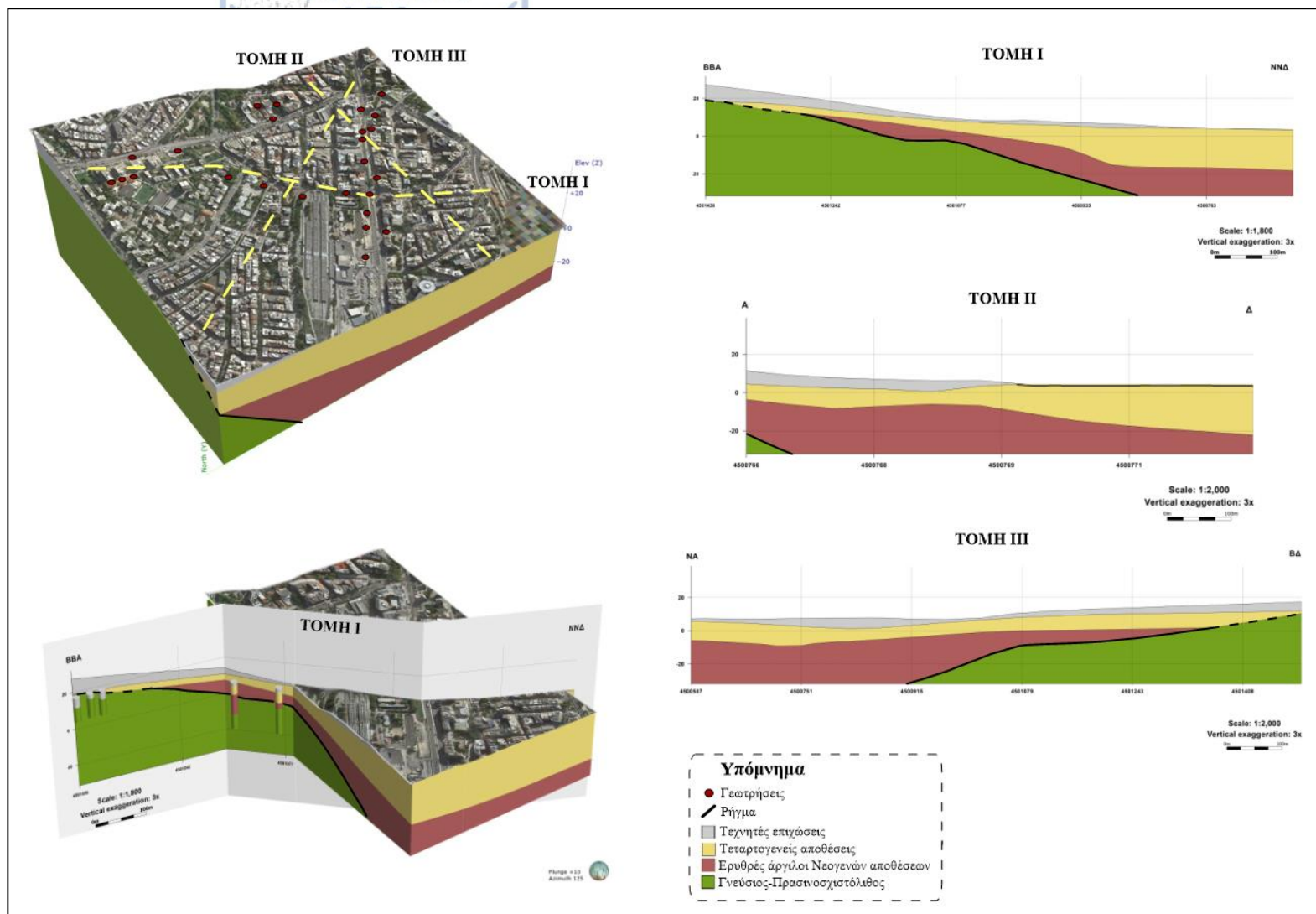
Σύμφωνα με το μοντέλο, επιφανειακά παρατηρείται ένα μικρό στρώμα τεχνητών επιχώσεων μέγιστου πάχους 4 m. Αμέσως μετά ακολουθούν οι αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας με τα αμμώδη υλικά να αποτίθενται πάνω από τα αργιλικά. Στα μεγαλύτερα βάθη συναντώνται οι αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας και συγκεκριμένα οι ερυθρές άργιλοι. Αυτές διακρίνονται περαιτέρω σε δύο κατηγορίες με βάση την επικράτηση του αμμώδους και του αργιλικού υλικού. Από το τρισδιάστατο μοντέλο προέκυψε μια σειρά από δισδιάστατες αναπαραστάσεις του εξεταζόμενου υπεδάφους. Ειδικότερα, στο τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 1» παρουσιάζεται ένα διάγραμμα «φράχτη» (fence diagram) καθώς και τρεις τομές με σκοπό την λεπτομερέστερη αποτύπωση της στρωματογραφίας των γεωλογικών σχηματισμών και της επικράτησης των διάφορων υλικών. Οι δύο απ' αυτές είναι παράλληλες μεταξύ τους κι έχουν προσανατολισμό B-N και η τρίτη τις τέμνει κάθετα με προσανατολισμό A-Δ.



Σχήμα 5.23: Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 1» (βλ. σχήμα 5.22)

Γεωλογικό μοντέλο περιοχής 2

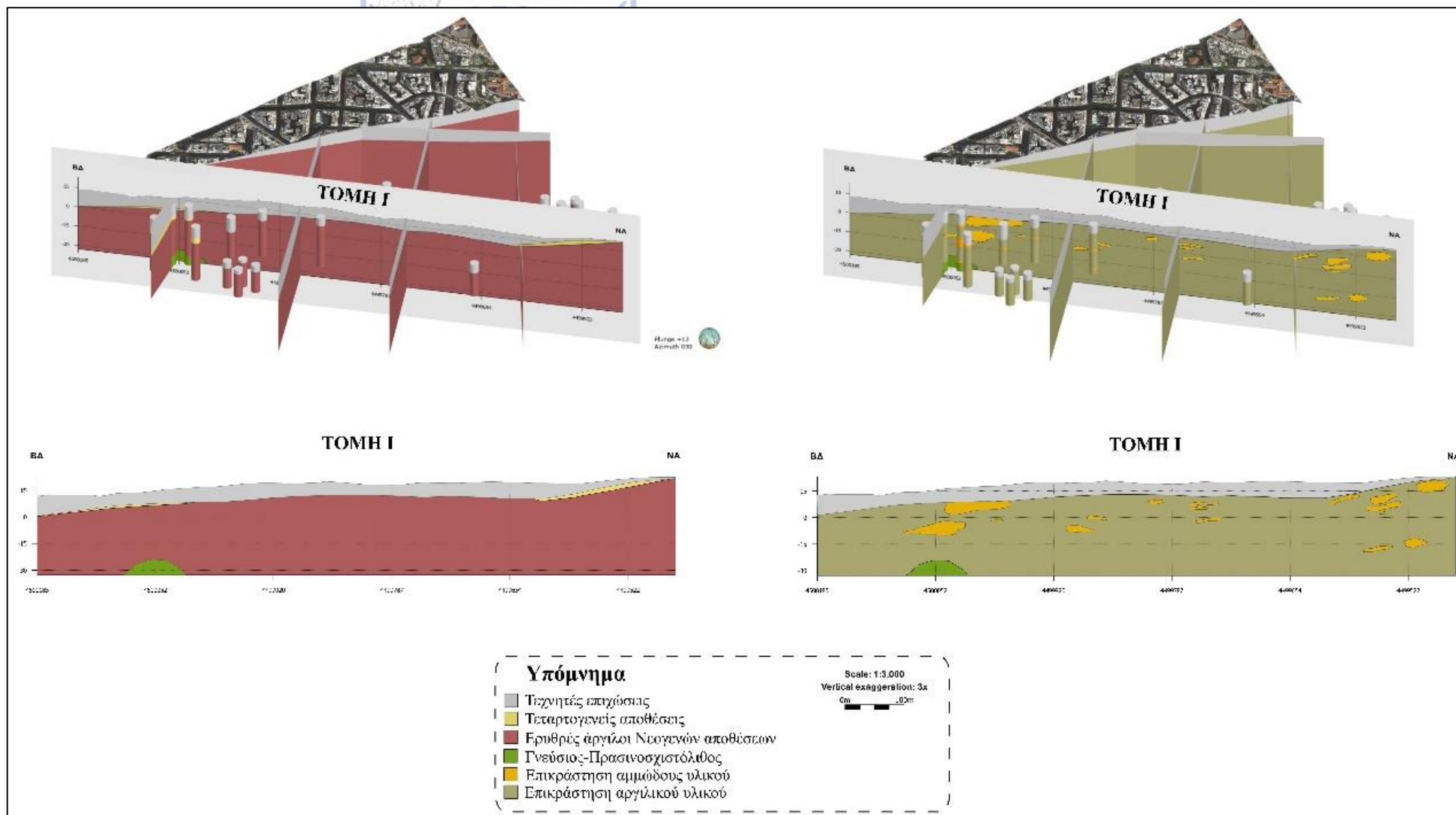
Στο σχήμα 5.22 παρουσιάζεται ακόμη ένα παράδειγμα γεωλογικού μοντέλου εντός της «περιοχής 2» (σχήμα 5.24). Αυτή έχει έκταση 0.61 km^2 και εκτείνεται από τα δικαστήρια έως τη Ξηροκρήνη συμπεριλαμβάνοντας το νέο σιδηροδρομικό σταθμό. Εδώ, παρατηρείται ολόκληρη η στρωματογραφική ακολουθία με τις τεχνητές επιχώσεις στην επιφάνεια, τις Τεταρτογενείς αποθέσεις αμέσως μετά, τις ερυθρές αργίλους Νεογενών αποθέσεων να ακολουθούν και τέλος το βραχώδες υπόβαθρο. Συνολικά χρησιμοποιούνται 25 γεωτρήσεις από τις οποίες διαπιστώνεται ότι το πάχος των τεχνητών επιχώσεων κυμαίνεται από 0.5 έως 8 m. Στις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας παρατηρούνται μεγαλύτερα πάχη τα οποία κυμαίνονται από 0.75 έως 28 m κι από 8.5 έως 40 m αντίστοιχα. Στα ΒΑ της τομής Ι οι γνεύσιοι-πρασινοςχιστόλιθοι εμφανίζονται σε μικρότερα βάθη λόγω της παρουσίας του ρήγματος Αγίου Δημητρίου το οποίο έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς τα ΝΔ.



Σχήμα 5.24: Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 2» (βλ. σχήμα 5.22)

Γεωλογικό μοντέλο περιοχής 3

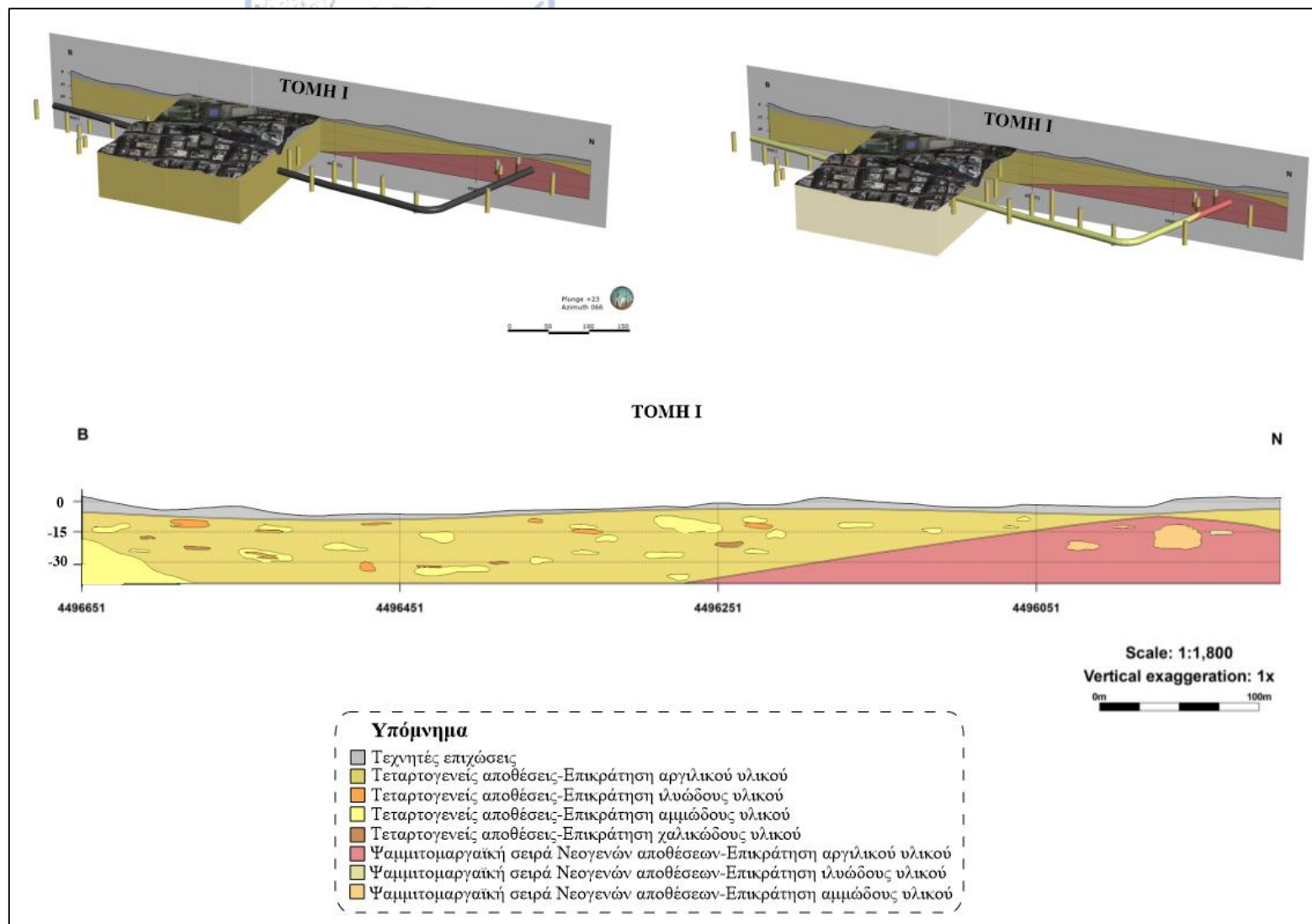
Η «περιοχή 3» του σχήματος 5.22 βρίσκεται στο ιστορικό κέντρο της πόλης. Από το τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο προκύπτει ένα διάγραμμα φράχτη που καλύπτει σχεδόν ολόκληρη την εξεταζόμενη περιοχή (0.37 km^2). Ειδικότερα, από τα δεδομένα 30 γεωτρήσεων, παρατηρείται η επικράτηση των ερυθρών αργίλων και σε πολύ περιορισμένη έκταση οι πιο πρόσφατες αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας (σχήμα 5.25). Σχετικά με τις τεχνητές επιχώσεις, αυτές παρουσιάζουν σημαντικό πάχος κυρίως στο δυτικό και βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής το οποίο φθάνει έως και τα 10.9 m. Το βραχώδες υπόβαθρο εμφανίζεται στη συμβολή των οδών Εγνατίας και Αγίας Σοφίας σε βάθος 38.15 m. Από το αντίστοιχο λιθολογικό μοντέλο της περιοχής, παρατηρείται η σαφής επικράτηση των αργιλικών υλικών τόσο στις Τεταρτογενείς, όσο και στις Νεογενείς αποθέσεις. Τα αμμώδη υλικά εμφανίζονται σε περιορισμένη έκταση με τη μορφή φακοειδών σχημάτων.



Σχήμα 5.25: Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 3» (βλ. σχήμα 5.22)

Γεωλογικό μοντέλο περιοχής 4

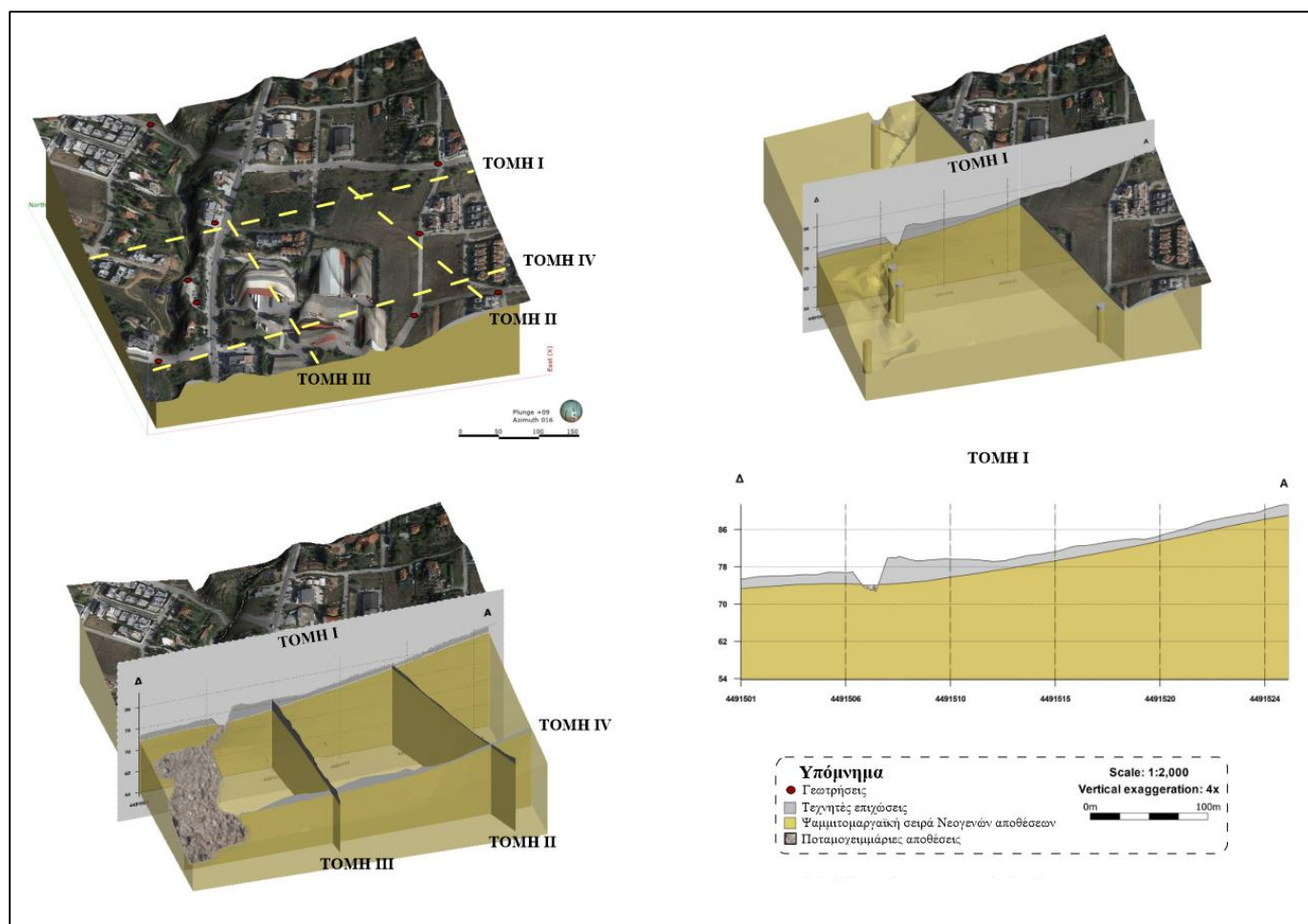
Η «περιοχή 4» του σχήματος 5.22 βρίσκεται ανατολικά του αστικού κέντρου καλύπτοντας έκταση 0.30 km^2 . Εντός αυτής, παρατηρείται ένα τμήμα σήραγγας με ενδεικτική διεύθυνση το οποίο διέρχεται από τους εξεταζόμενους σχηματισμούς, αναδεικνύοντας ακόμη μία δυνατότητα της βάσης δεδομένων με τη χρήση του LeapfrogWorks. Η συγκεκριμένη περιοχή έχει χαρακτηριστεί, στη φάση ερευνών για τα έργα του μετρό, ως «la vallée» που σημαίνει κοιλάδα στη γαλλική γλώσσα, και αποτελεί μια ευρεία έκταση όπου αναπτύσσονται πρόσφατες ποτάμιες αποθέσεις κατά τη διεύθυνση Α-Δ. Από τις 28 γεωτρήσεις που χρησιμοποιούνται συνολικά για την κατασκευή του μοντέλου, διαπιστώνεται η επικράτηση των Τεταρτογενών αποθέσεων έναντι της Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων (σχήμα 5.26). Οι αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας αποτελούνται κυρίως από υλικά αργιλικής σύστασης. Ωστόσο, παρατηρούνται και κάποιοι αμμώδεις ορίζοντες, αλλά και φακοί ποικίλης σύστασης. Τα πάχη αυτών κυμαίνονται από 15 έως 45 m. Η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά των Νεογενών αποθέσεων παρατηρείται σε μικρά βάθη κοντά στην επιφάνεια, στην επαφή με τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας, λόγω της ύπαρξης ρήγματος στην περιοχή Βούλγαρη. Ο σχηματισμός αυτός συναντάται τόσο στα υπερκείμενα, όσο και μέσα στην ίδια τη σήραγγα. Σε αντίθεση με τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας, η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά παρουσιάζει μια λιγότερο σύνθετη δομή λόγω της, σχεδόν εξ ολοκλήρου, επικράτησης των αργιλικών υλικών. Κατά τόπους εμφανίζονται φακοί αμμώδους και ιλυώδους σύστασης μικρής εξάπλωσης. Οι τεχνητές επιχώσεις παρατηρούνται σ' όλη την έκταση της περιοχής και το πάχος τους δεν ξεπερνάει τα 6.5 m.



Σχήμα 5.26: Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 4» (βλ. σχήμα 5.22)

Γεωλογικό μοντέλο περιοχής 5

Το τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο του σχήματος 5.27 αντιστοιχεί στην «περιοχή 5» (σχήμα 5.22) η οποία βρίσκεται στη Θέρμη και καταλαμβάνει έκταση 0.27 km². Συμπληρωματικά του μοντέλου δημιουργούνται τέσσερις τομές, οι οποίες τέμνονται σε διάφορα σημεία δημιουργώντας ένα διάγραμμα φράχτη. Από γεωλογικής άποψης, δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη ετερογένεια στη συγκεκριμένη περιοχή καθώς επιφανειακά εμφανίζονται οι τεχνητές επιχώσεις με μέγιστο πάχος 6.5 m, ενώ σ' όλη την υπόλοιπη έκταση επικρατεί η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά των Νεογενών αποθέσεων. Παρόλα αυτά, ο συνδυασμός μεταξύ της επιφάνειας του ανάγλυφου και των 10 διαθέσιμων γεωτρήσεων επιτρέπει την απεικόνιση της γεωμορφολογίας και την εμφανή παρουσία ενός ρέματος με διεύθυνση BBA-NNΔ. Κατά μήκος αυτού του ρέματος παρατηρούνται πρόσφατες ποταμοχειμνάρια αποθέσεις, οι οποίες αποτυπώνονται επιφανειακά τόσο στο τρισδιάστατο μοντέλο, όσο και στην τομή I της εξεταζόμενης περιοχής.



Σχήμα 5.27: Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο «περιοχής 5» (βλ. σχήμα 5.22)

5.4. Υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών

5.4.1 Γενικά

Στο πεδίο του γεωτεχνικού σχεδιασμού αστικών περιοχών, η ανάλυση της υδρολιθολογικής συμπεριφοράς, της υδροπερατότητας και της πιεζομετρίας καθίσταται αναγκαία και θεωρείται αναπόσπαστο κομμάτι της διερεύνησης των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών.

Η διερεύνηση της ύπαρξης, του τύπου και της δυναμικότητας του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό αντικείμενο, τόσο κατά το στάδιο εκπόνησης των σχετικών προκαταρκτικών και οριστικών γεωλογικών και γεωτεχνικών μελετών, όσο και μετέπειτα κατά τη φάση κατασκευής του έργου. Με την ολοκληρωμένη αξιολόγηση των υδρογεωλογικών συνθηκών, οι ειδικότητες που εμπλέκονται στα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής τεχνικών έργων είναι σε θέση:

- να προσαρμόσουν ή/και κατευθύνουν τις διάφορες γεωτεχνικές εργασίες, κατά το στάδιο της προμελέτης, με σκοπό την αποφυγή υδρογεωλογικά επικίνδυνων περιοχών
- να προτείνουν βέλτιστες λύσεις και τεχνικές για την αντιμετώπιση δυσμενών υδρογεωλογικών συνθηκών κατά την κατασκευή

Επιπλέον, ανεξάρτητα από την τεχνικογεωλογική θεώρηση γεωτεχνικού σχεδιασμού έργων, η πλήρης κατανόηση της εγγενούς υδρογεωλογικής πολυπλοκότητας συνεισφέρει στην ασφαλή αστική ανάπτυξη έναντι εκδήλωσης γεωκινδύνων. Συγκεκριμένα, η σε βάθος διερεύνηση των δυναμικών υδρογεωλογικών συνθηκών μιας περιοχής στοχεύει στην:

- ανάδειξη περιοχών γεωλογικής αβεβαιότητας ως προς τη δυνατότητα εκδήλωσης γεωκινδύνων οι οποίες διερευνώνται περαιτέρω για την ανάλυση και διαχείρισή τους
- καθοδήγηση σχετικά με την εφαρμογή προληπτικών στρατηγικών, βελτιστοποιώντας την αστική ανάπτυξη έναντι γεωκινδύνων

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών ενοτήτων που απαντώνται στην περιοχή έρευνας, όπως προέκυψε από τις γεωλογικές περιγραφές των μητρώων των γεωτρήσεων και την αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων.

Γενικά, οι αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία ως προς την υδρολιθολογική συμπεριφορά τους λόγω της συμμετοχής διαπερατών, ημιπερατών και αδιαπέρατων φάσεων, οι οποίες είναι τοποθετημένες σε στρώσεις και φακούς, πολύ συχνά με προοδευτικές μεταβάσεις, τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια διάταξη. Οι επικρατούσες λιθολογικές φάσεις τους, κυρίως άργιλοι, προσδίδουν γενικώς χαρακτηριστικά αδιαπέρατου σχηματισμού. Στις περιπτώσεις που τα αμμώδη, καθώς και τα κροκαλοπαγή ή/και λατυποπαγή στρώματα εμφανίζονται χωρίς ιλύ ή άργιλο, παρουσιάζουν κάποια περατότητα και μπορούν να διαμορφώσουν υπό πίεση ή και μερικώς υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες μέσα στο

αργιλικό περιβάλλον, εφόσον καταφέρουν τα ακανόνιστα αυτά στρώματα να έχουν κάποια τροφοδοσία. Αναφορικά με τις τεχνητές επιχώσεις, εξετάζονται ξεχωριστά λόγω της ιδιαίτερης λιθολογίας τους, καθώς πρόκειται για ανομοιογενή χαλαρά και πρόσφατα υλικά με μικρή συμύκνωση τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη έως μέση υδροπερατότητα.

5.4.2 Υδρολιθολογική συμπεριφορά των σχηματισμών

Τεχνητές επιχώσεις

Πρόκειται για σχηματισμό που αποτελείται από πρόσφατα υλικά, τα οποία προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως τμήματα τοίχων, αγγεία, πλίνθοι, οστά, υλικά της πυρίκαυστης ζώνης, ξύλα κ.λπ., μέσα σε ιλυώδεις - αργιλώδεις - χαλικώδεις άμμους και προϊόντα αποσάθρωσης. Τα υλικά αυτά, τα οποία είναι κυρίως χαλαρά και ανομοιογενή χαμηλής συμύκνωσης, χαρακτηρίζονται από μεγάλη έως μέση υδροπερατότητα. Κατά κύριο λόγο, συναντώνται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα.

Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις αποτελούνται κατά βάση από τις σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις και τα υλικά χειμάρρειων αποθέσεων. Πρόκειται για σχηματισμούς υψηλής έως μέσης υδροπερατότητας, ενώ και σ' αυτή την περίπτωση η υδρογεωλογική συμπεριφορά τους καθορίζεται από το ποσοστό των λεπτοκόκκων υλικών, που συμμετέχουν στη δομή τους. Χαρακτηρίζονται, κυρίως από υψηλή έως πολύ υψηλή υδροπερατότητα, λόγω της επικράτησης των αδρόκοκκων υλικών. Ωστόσο, κατά θέσεις, η παρουσία αργιλικού υλικού έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της περατότητας.

Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας

- *Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά*

Η εν λόγω ενότητα αποτελείται κυρίως από σχηματισμούς χαμηλής έως πολύ χαμηλής υδροπερατότητας. Οι αμιγώς αργιλικοί και μαργαϊκοί σχηματισμοί, θεωρούνται πρακτικά αδιαπέρατοι, και μόνο οι στρώσεις ιλυοαμμώδους σύστασης ευνοούν την ανάπτυξη περιορισμένης υδροφορίας, χαρακτηριζόμενες ως χαμηλής υδροπερατότητας. Ενδιάμεση συμπεριφορά έχουν λιθολογικοί τύποι που περιλαμβάνουν συνδυασμούς των παραπάνω. Από τους ημιβραχώδεις σχηματισμούς της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς, οι αργιλόλιθοι και οι ιλυόλιθοι χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή υδροπερατότητα έως πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Οι αμμώδεις μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, χαρακτηρίζονται από χαμηλή υδροπερατότητα, με πολύ μικρή δυνατότητα κυκλοφορίας νερού, λόγω του περιορισμένου δευτερογενούς πορώδους τους.

• *Ερυθρές Άργιλοι*

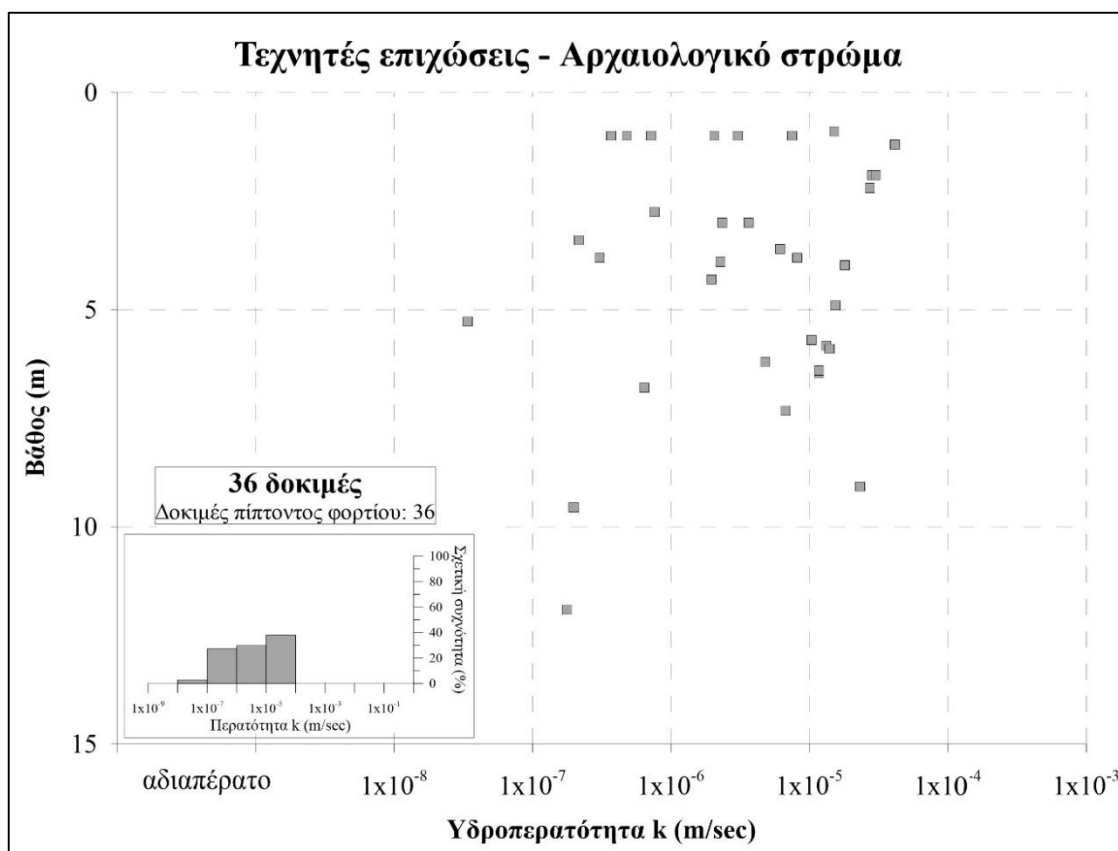
Οι Ερυθρές Άργιλοι χαρακτηρίζονται γενικά από χαμηλή υδροπερατότητα και η υδρογεωλογική συμπεριφορά τους καθορίζεται από το ποσοστό των λεπτοκόκκων υλικών, που συμμετέχουν στη δομή τους.

5.4.3 Δοκιμές υδροπερατότητας

Τα υδρογεωλογικά στοιχεία που προέκυψαν από το σύνολο των διαθέσιμων ερευνητικών εργασιών χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών που εξετάζονται. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών υδροπερατότητας, που εκτελέστηκαν στις τεχνητές επιχώσεις, καθώς και στους σχηματισμούς των Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων. Στην περίπτωση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, τα γεωυλικά κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε λεπτόκοκκα και αδρόκοκκα, με σκοπό την πλέον λεπτομερή διερεύνηση της υδροπερατότητας.

Τεχνητές επιχώσεις

Οι τιμές της υδροπερατότητας των τεχνητών επιχώσεων, κυμαίνονται από 3.41×10^{-8} m/sec έως 4.13×10^{-5} m/sec με μέση τιμή 9.85×10^{-6} m/sec. (Σχήμα 5.28).

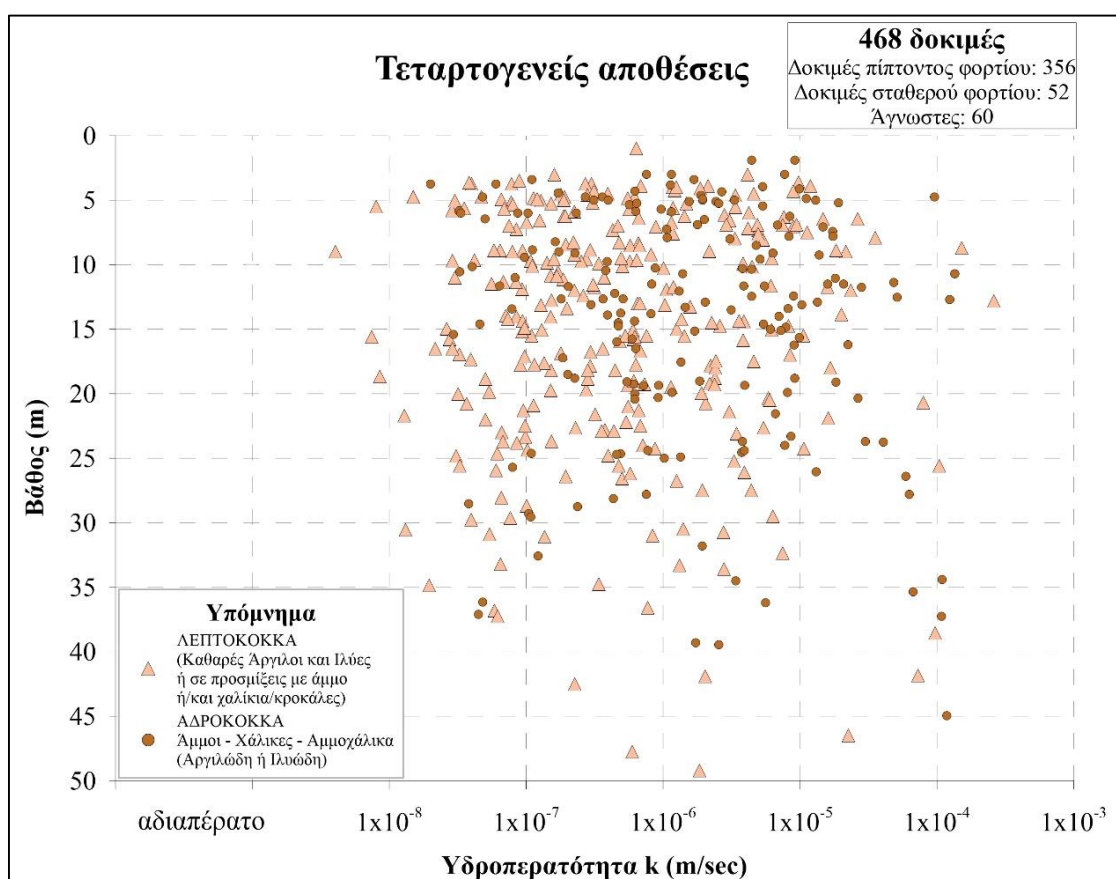


Σχήμα 5.28: Διάγραμμα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους των τεχνητών επιχώσεων

Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

Οι τιμές των υδροπερατοτήτων για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, κυμαίνονται από 1.0×10^{-7} m/sec έως 1.0×10^{-5} m/sec για βάθη μικρότερα από 30 m και μέση τιμή 7.5×10^{-6} m/sec, συνολικά για τις μετρήσεις (Σχήμα 5.29). Στο σχήμα 5.30 παρουσιάζονται τα διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους των διάφορων γεωυλικών (λεπτόκοκκα και αδρόκοκκα) των Τεταρτογενών αποθέσεων. Από τα διαγράμματα εξάγεται ότι οι τιμές των υδροπερατοτήτων στην πλειονότητα τους κυμαίνονται από 4.04×10^{-9} m/sec έως 2.61×10^{-4} m/sec για τα λεπτόκοκκα γεωυλικά (άργιλος, ιλύς με παρουσία ή όχι άμμου/χαλίκων) και για τα αδρόκοκκα υλικά από 2.94×10^{-8} m/sec έως 1.35×10^{-4} m/sec.

Γενικά, η υδροπερατότητα μειώνεται με το βάθος λόγω της διαγένεσης, αλλά αυτή η μείωση είναι ακανόνιστη για το σύνολο των εδαφικών σχηματισμών.



Σχήμα 5.29: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

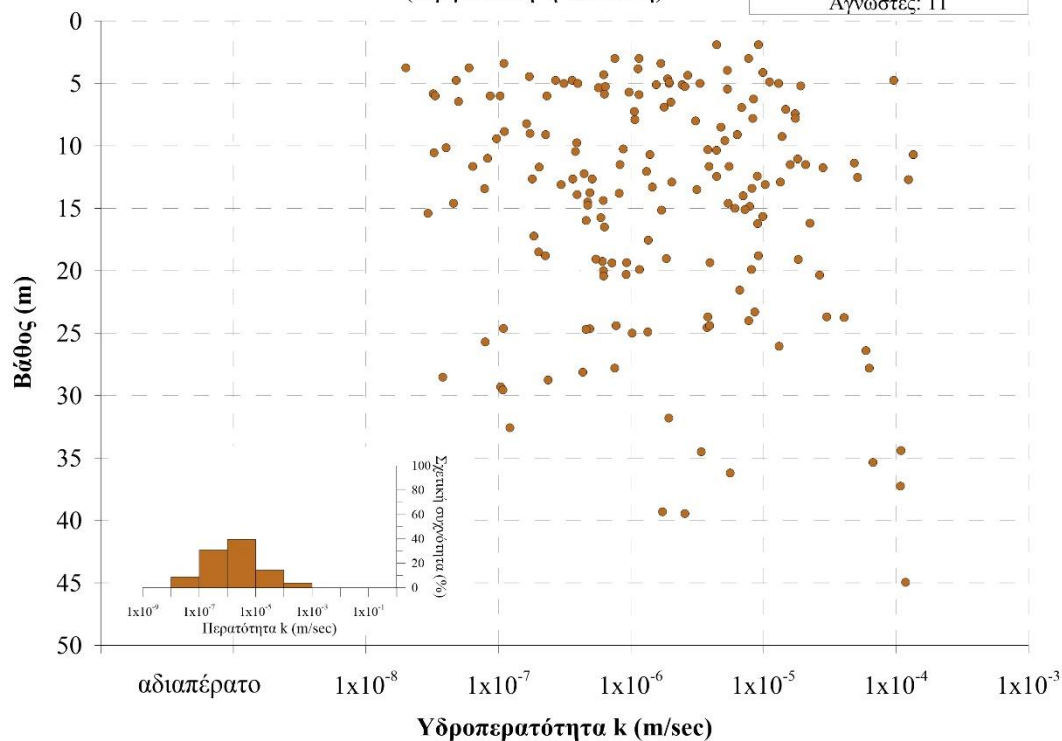
Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα
(Αργιλώδη ή Ιλυώδη)

181 δοκιμές

Δοκιμές πείπτοντος φορτίου: 151
Δοκιμές σταθερού φορτίου: 19
Άγνωστες: 11



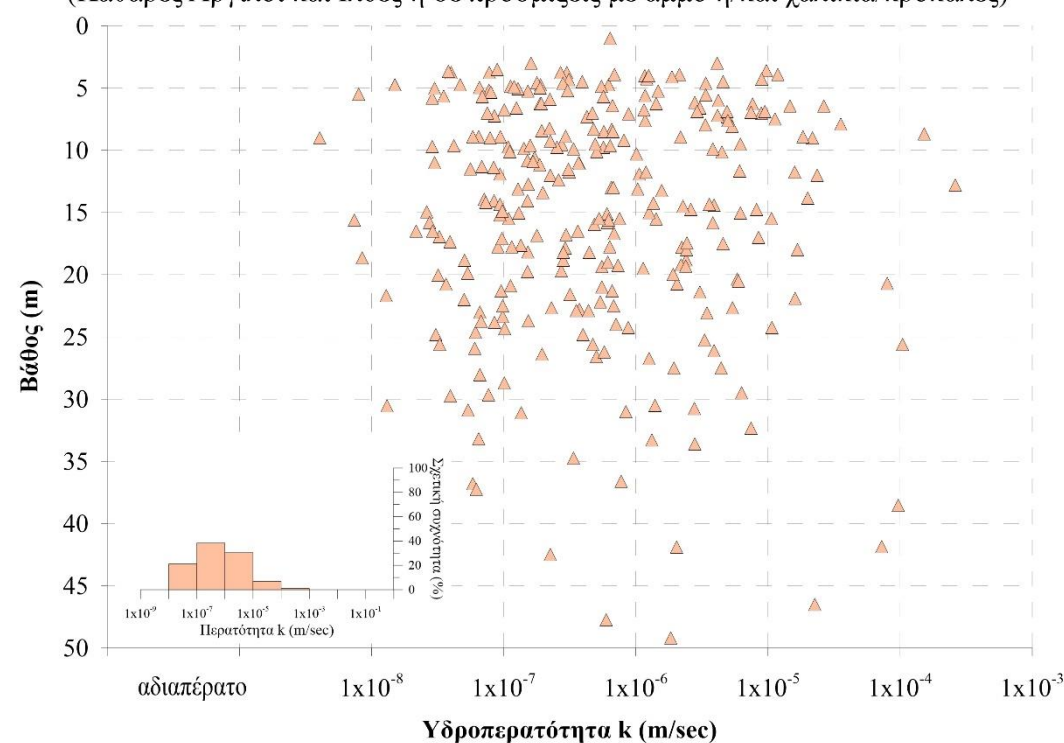
Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)

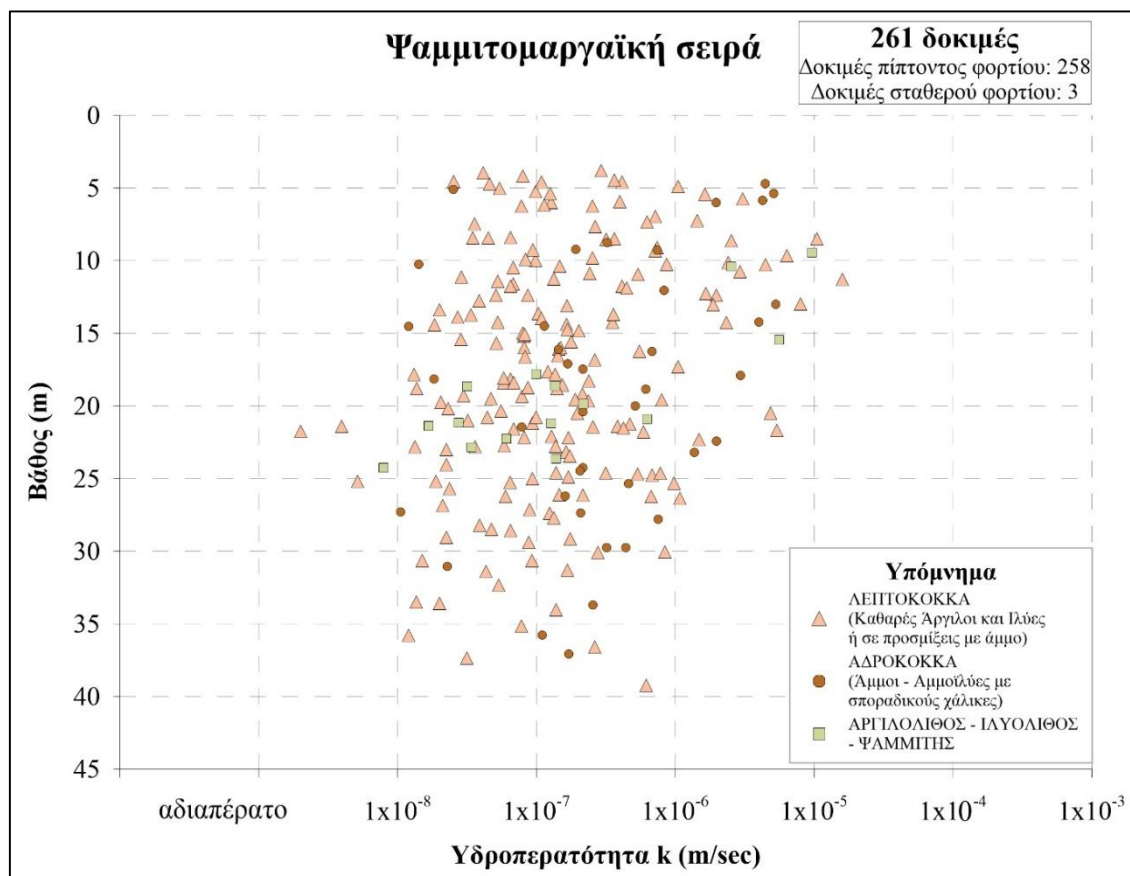
287 δοκιμές

Δοκιμές πείπτοντος φορτίου: 205
Δοκιμές σταθερού φορτίου: 33
Άγνωστες: 49



Σχήμα 5.30: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπεραιτότητας (k) συναρτήσεως του βάθους για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Οι τιμές των υδροπερατοτήτων της «ψαμμιτομαργαϊκής σειράς», κυμαίνονται από 2.00×10^{-9} m/sec (πρακτικά αδιαπέρατο) έως 6.35×10^{-5} m/sec με την πλειονότητα των μετρήσεων να κυμαίνονται από 1.0×10^{-8} m/s έως 1.0×10^{-6} m/s (Σχήμα 5.31) χαρακτηρίζοντας ένα σχηματισμό χαμηλής έως πολύ χαμηλής υδροπερατότητας.



Σχήμα 5.31: Διάγραμμα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους της «ψαμμιτομαργαϊκής σειράς» Νεογενών αποθέσεων

Στο σχήμα 5.32 δίνονται διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους των διαφόρων γεωυλικών της «ψαμμιτομαργαϊκής σειράς». Αξιολογώντας τα εν λόγω διαγράμματα προκύπτει ότι οι τιμές των υδροπερατοτήτων για τις αργίλους ή τις ιλύες με παρουσία ή όχι άμμου παρουσιάζουν μια μέση τιμή της τάξης του 6.22×10^{-7} m/sec, ενώ για τις άμμους και τις αμμοιούδες οι τιμές κυμαίνονται από 1.05×10^{-8} m/sec έως 1.13×10^{-5} m/sec, με μέση τιμή 1.04×10^{-6} m/sec. Για σχηματισμούς όπως ο αργιλόλιθος, ο ιλυόλιθος κι ο ψαμμίτης οι τιμές κυμαίνονται από 7.92×10^{-9} m/sec έως 9.66×10^{-6} m/sec (Παράρτημα ΙΙΙ).

Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

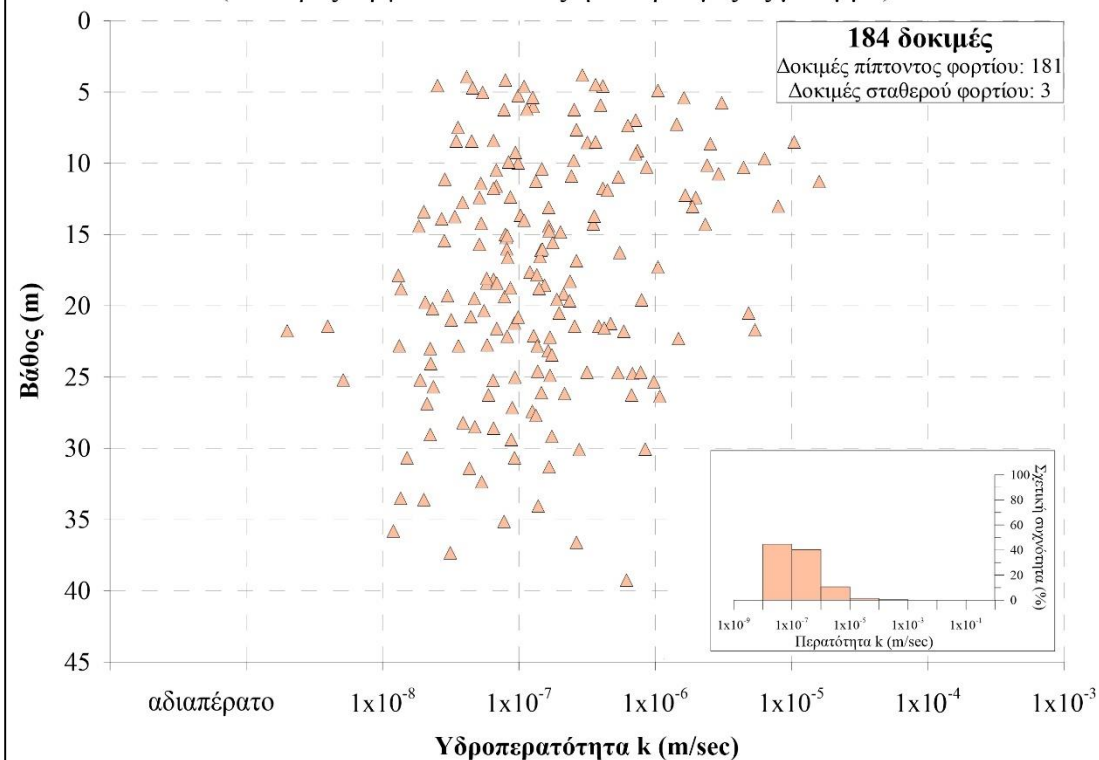
ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο)

184 δοκιμές

Δοκιμές πίπτοντος φορτίου: 181

Δοκιμές σταθερού φορτίου: 3



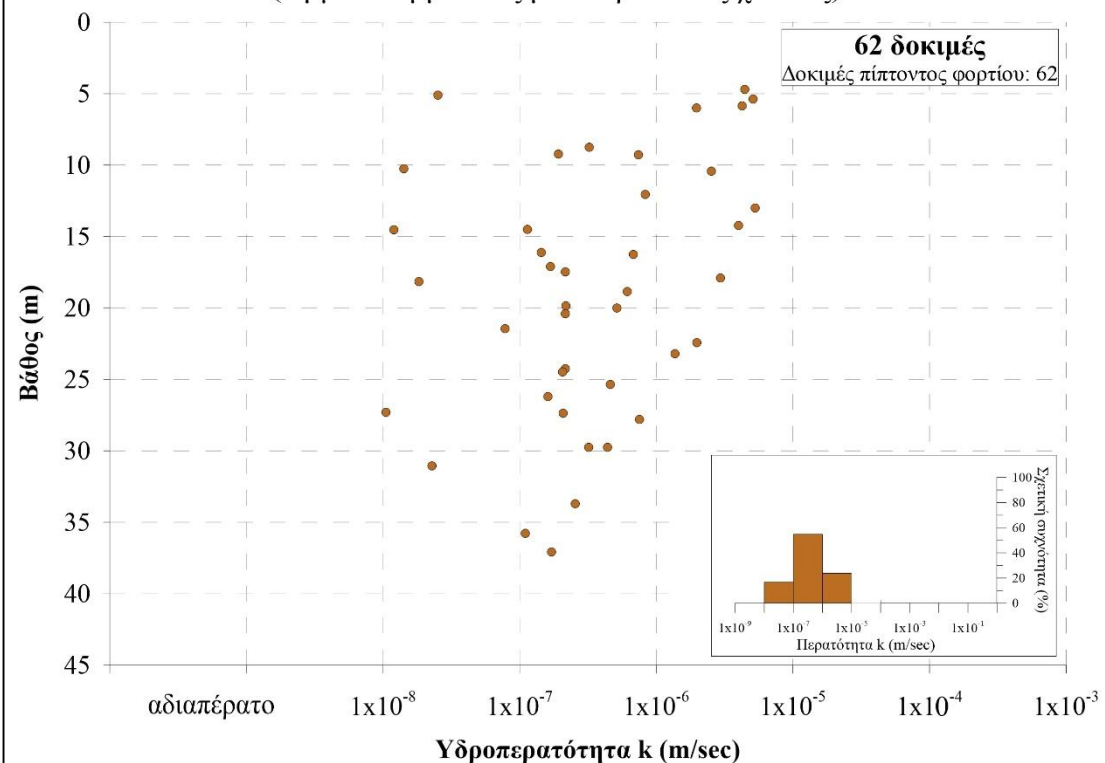
Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

(Άμμοι - Αμμοίλνες με σποραδικούς χάλικες)

62 δοκιμές

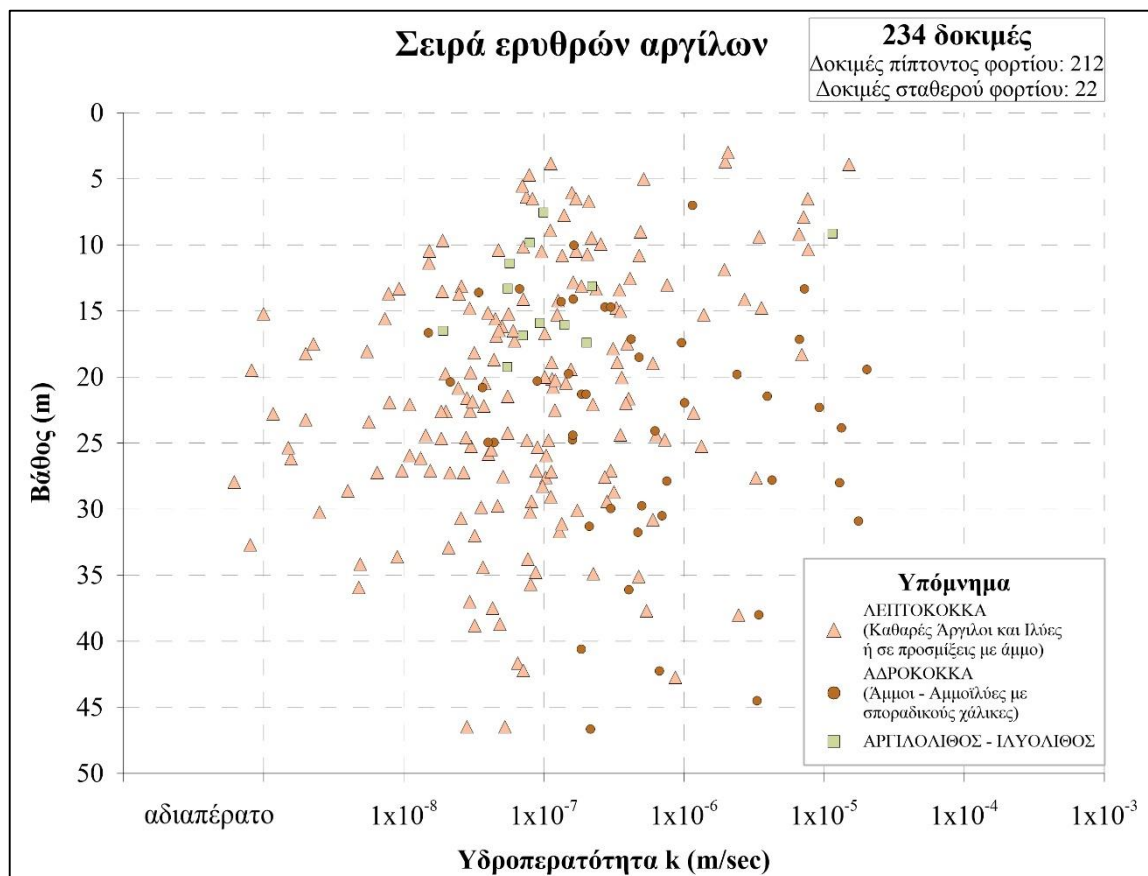
Δοκιμές πίπτοντος φορτίου: 62



Σχήμα 5.32: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της «ψαμμιτομαργαϊκής σειράς» Νεογενών αποθέσεων

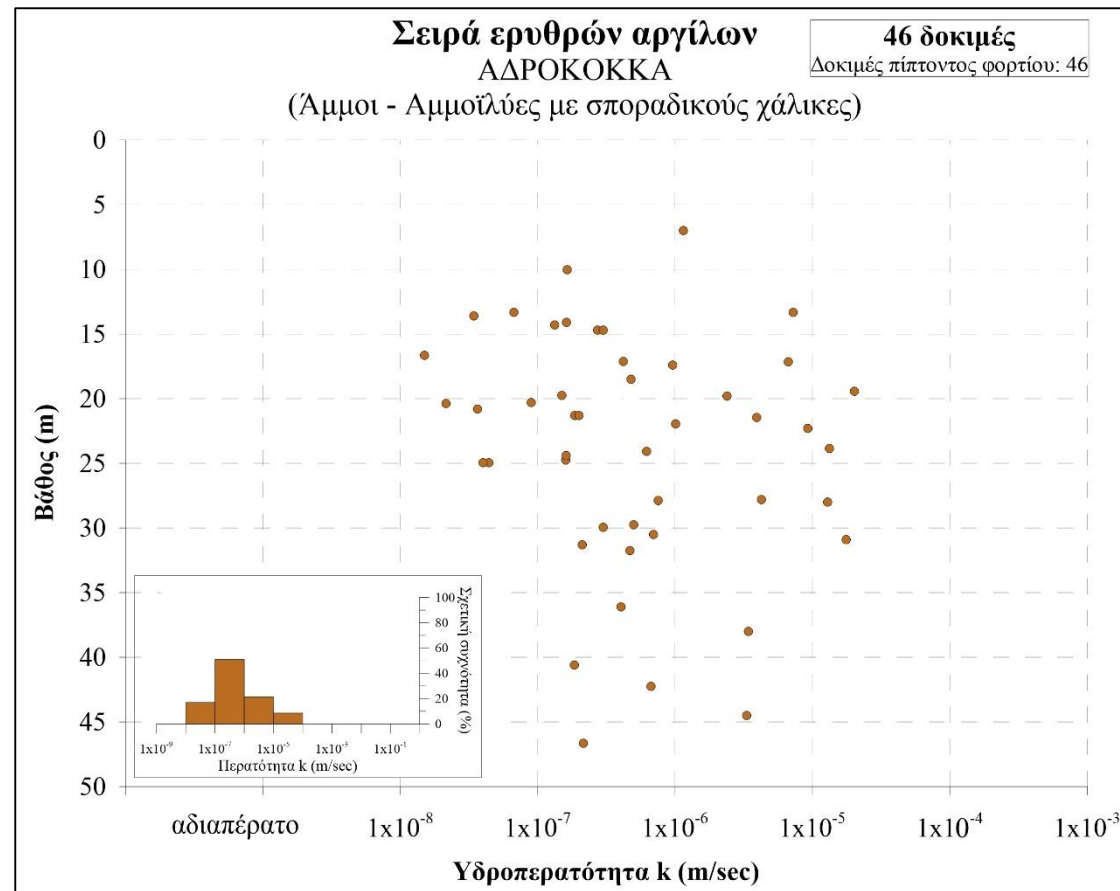
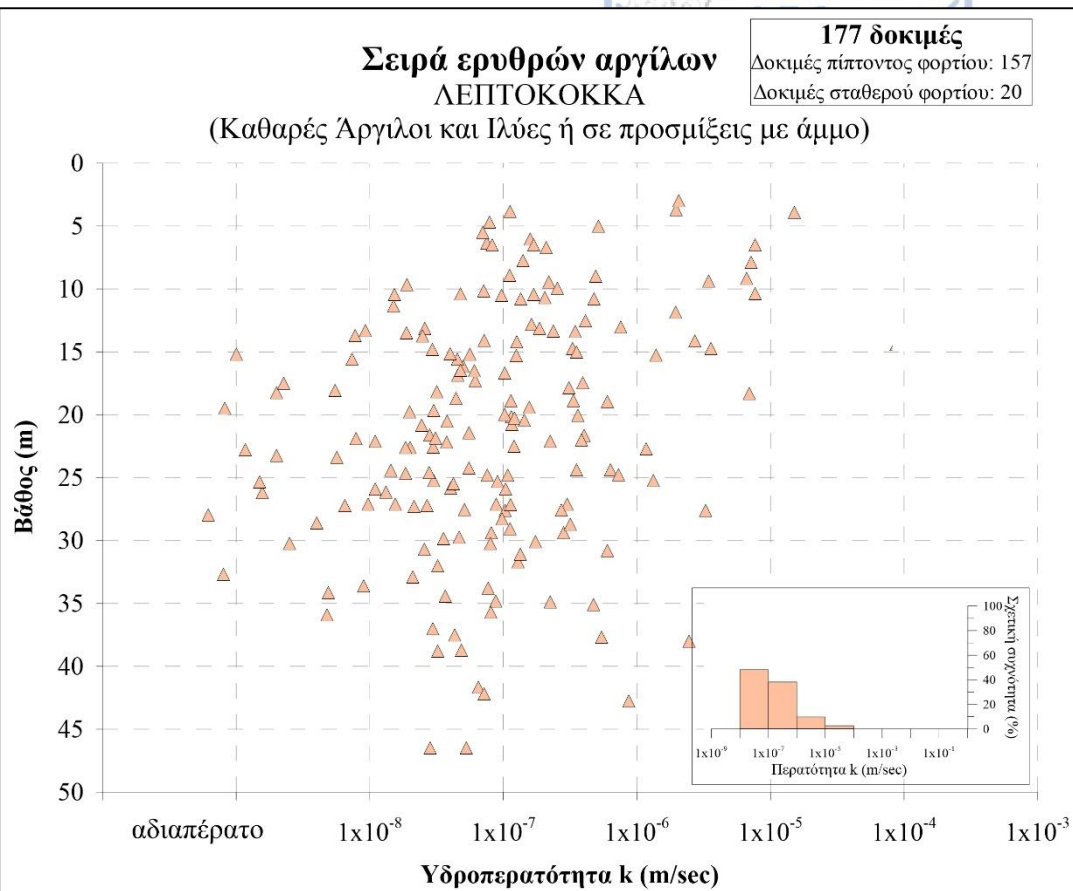
• *Ερυθρές Αργίλοι*

Οι τιμές των υδροπερατοτήτων της «σειράς ερυθρών αργίλων», κυμαίνονται από 6.19×10^{-10} m/sec (πρακτικά αδιαπέρατο) έως 1.51×10^{-5} m/sec με μέση τιμή 5.54×10^{-7} m/sec (Σχήμα 5.33).



Σχήμα 5.33: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους της «σειράς ερυθρών αργίλων» των Νεογενών αποθέσεων

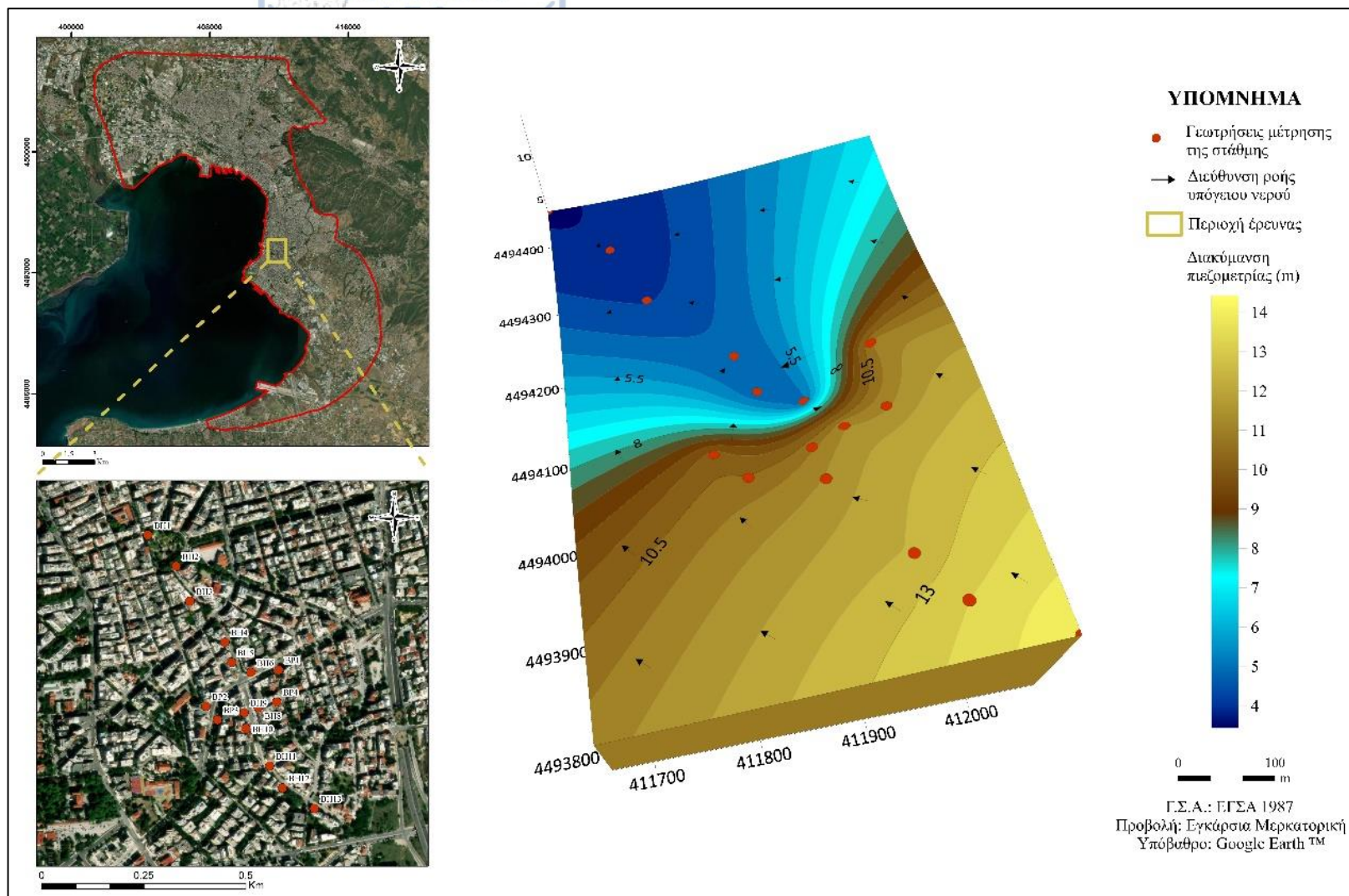
Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το σχήμα 5.34, οι τιμές των υδροπερατοτήτων για τις αργίλους ή τις ιλύες με παρουσία, ή όχι, άμμου κυμαίνονται από το πρακτικά αδιαπέρατο έως 1.51×10^{-5} m/sec, για τα αδρόκοκκα υλικά από 1.5×10^{-8} m/sec έως 2.02×10^{-5} m/sec και για τον αργιλόλιθο, τον ιλυόλιθο και τον ψαμμίτη το εύρος περιορίζεται σε τιμές μεγαλύτερες από 1.91×10^{-8} m/sec και μικρότερες του 2.21×10^{-7} m/sec (Παράρτημα ΙΙΙ).



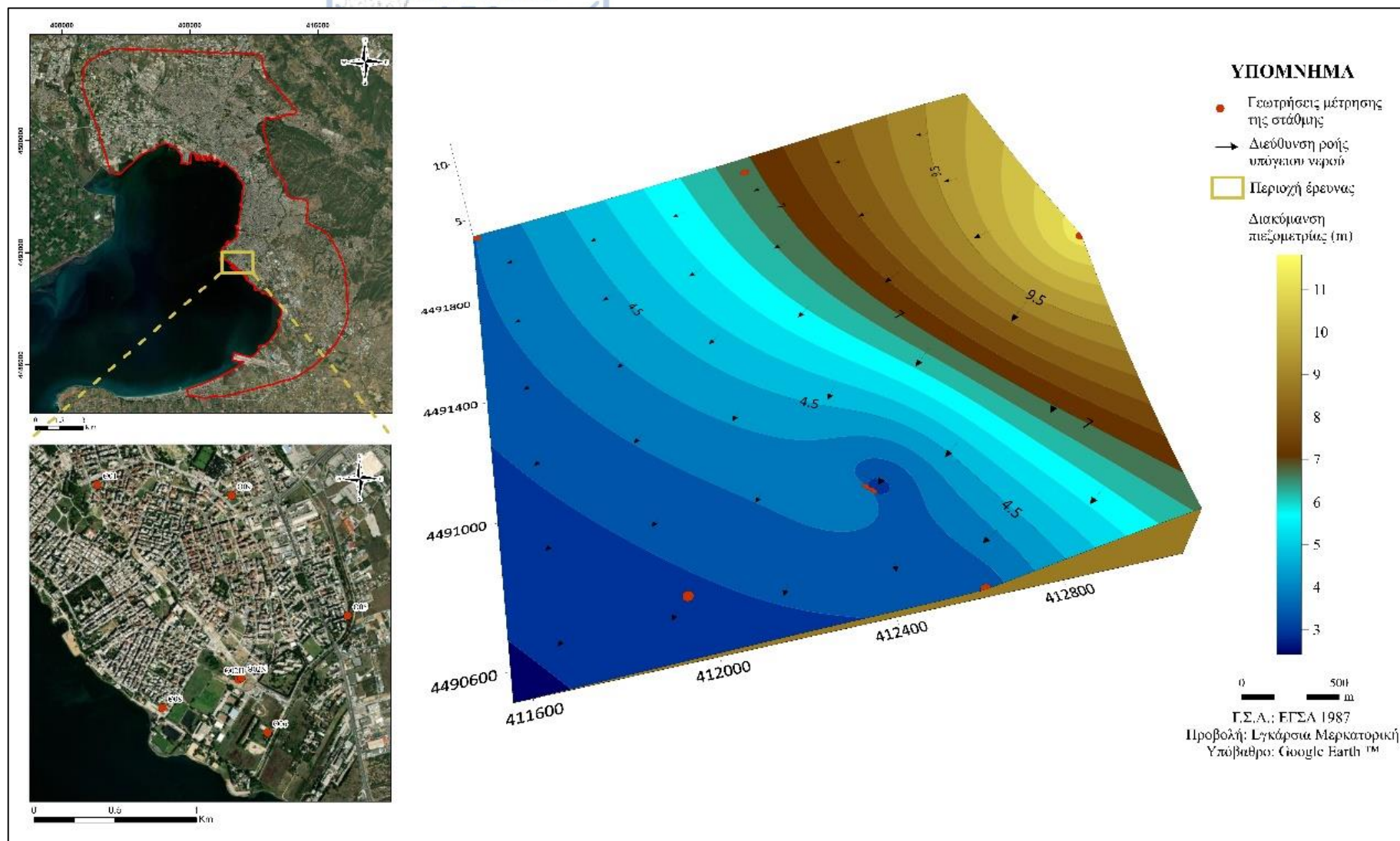
Σχήμα 5.34: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας (k) συναρτήσει του βάθους για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της «σειράς ερυθρών αργίλων» Νεογενών αποθέσεων

Τα διαθέσιμα δεδομένα για τη στάθμη των υπογείων υδάτων περιορίζονται στις πρωινές ή/και βραδινές στάθμες κατά τη διάρκεια των διατρητικών εργασιών. Αυτές οι στάθμες δε θεωρούνται αντιπροσωπευτικές, καθώς δεν υπάρχουν συνεχείς μετρήσεις από πιεζόμετρα και συνεπώς δεν είναι διαθέσιμες χρονοσειρές μετρήσεων μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου για συγκεκριμένα έτη παρατήρησης. Επιπλέον, πρόκειται για μετρήσεις οι οποίες είναι επηρεασμένες από το νερό, που τοπικά χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της διάτρησης και συνεπώς δεν δίνουν την αντιπροσωπευτική εικόνα της πραγματικής στάθμης του υπόγειου νερού. Γι' αυτό τον λόγο, η διερεύνηση της πιεζομετρίας, ο προσδιορισμός της διεύθυνσης ροής του υπόγειου νερού και η διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού συνολικά για την περιοχή έρευνας, δεν ερευνώνται στην παρούσα διατριβή. Παρόλα αυτά, όπου υπάρχουν τοπικά διαθέσιμες μετρήσεις από πιεζόμετρα, αυτές λαμβάνονται υπόψη και αξιολογούνται αντίστοιχα.

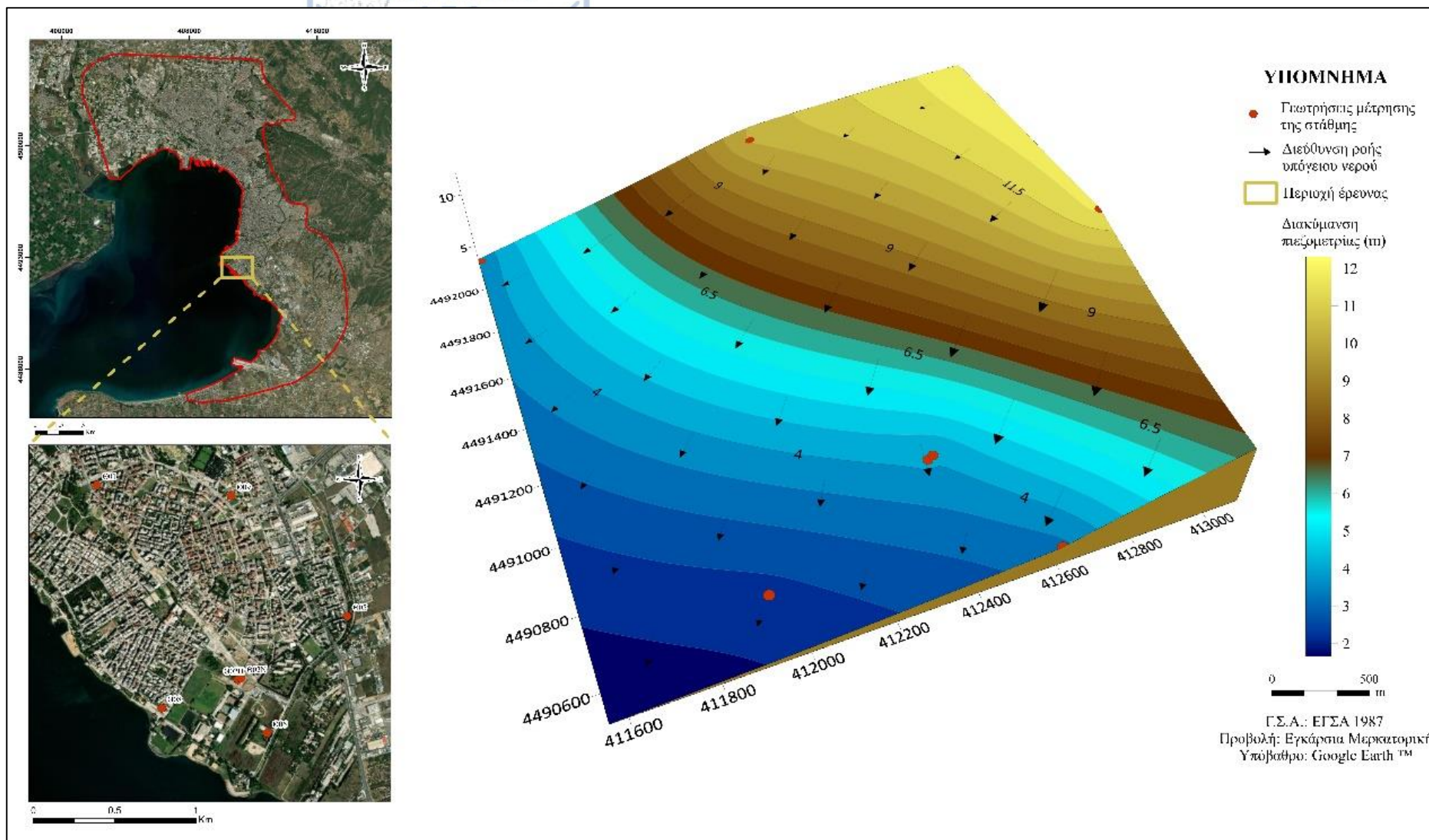
Για τη διερεύνηση της πιεζομετρίας του υδροφορέα και της διεύθυνσης ροής του υπόγειου νερού, χρησιμοποιήθηκαν διαθέσιμες μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού για τις περιοχές Πατρικίου-Βούλγαρη και Μίκρα. Οι μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού για την περιοχή Πατρικίου-Βούλγαρη πραγματοποιήθηκαν την ξηρή περίοδο (αρχές Νοεμβρίου) του έτους 2014 (Σχήμα 5.35), ενώ για την περιοχή της Μίκρας πραγματοποιήθηκαν την υγρή (μέσα Μαΐου) του 2014 (Σχήμα 5.36) και την ξηρή περίοδο (τέλη Οκτωβρίου) του ίδιου έτους (Σχήμα 5.37).



Σχήμα 5.35: Ισοπιεζομετρικές καμπύλες στην περιοχή της Πατρικίου την περίοδο Νοεμβρίου 2014



Σχήμα 5.36: Ισοπιεζομετρικές καμπύλες στην περιοχή της Μίκρας την περίοδο Μαΐου 2014

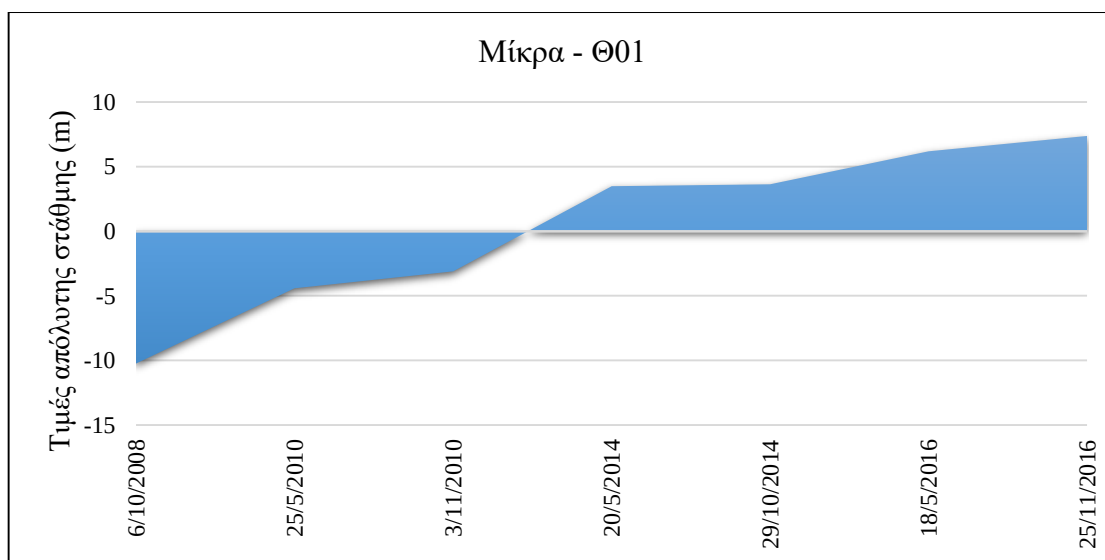


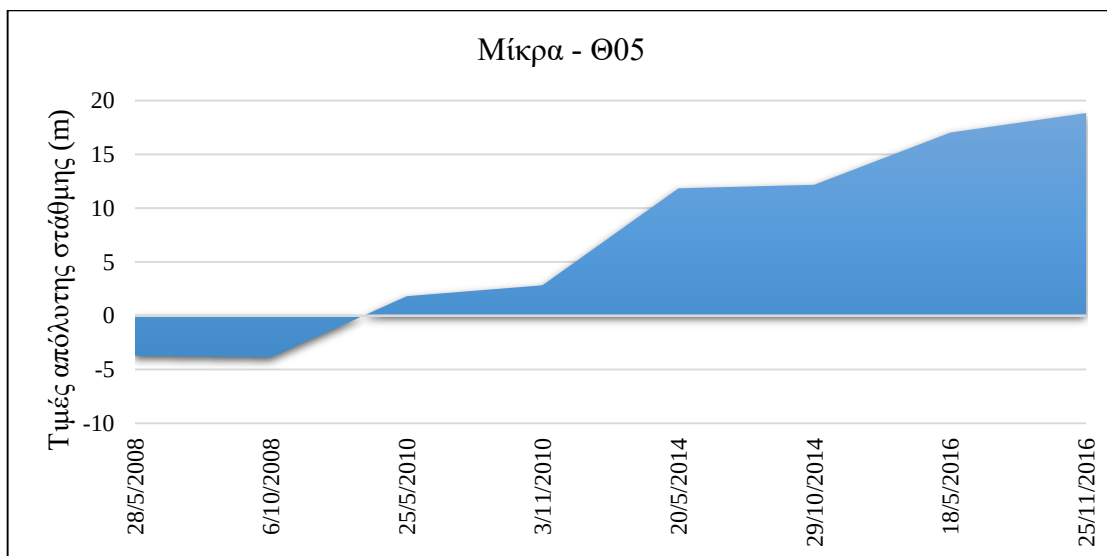
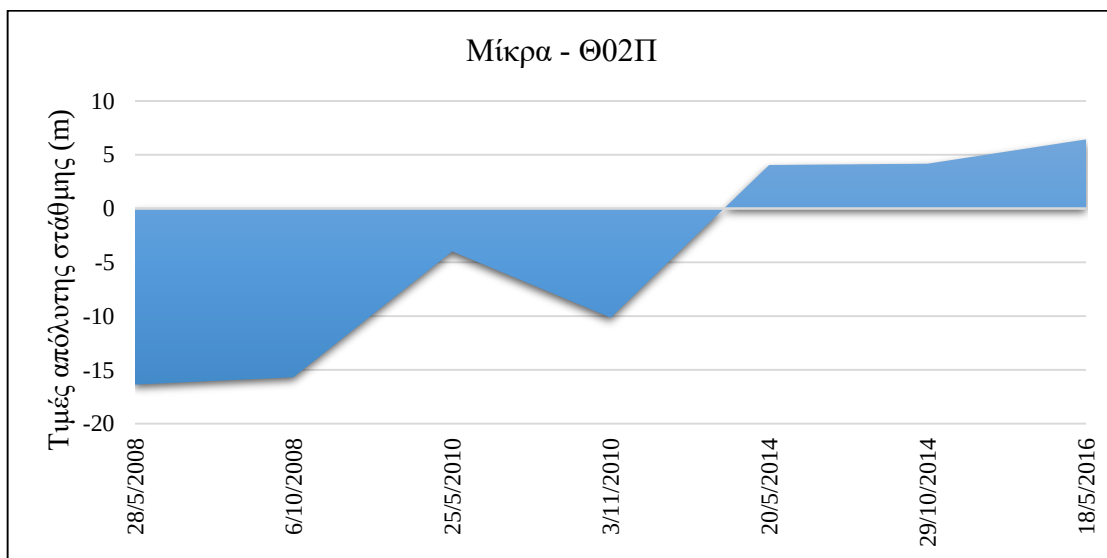
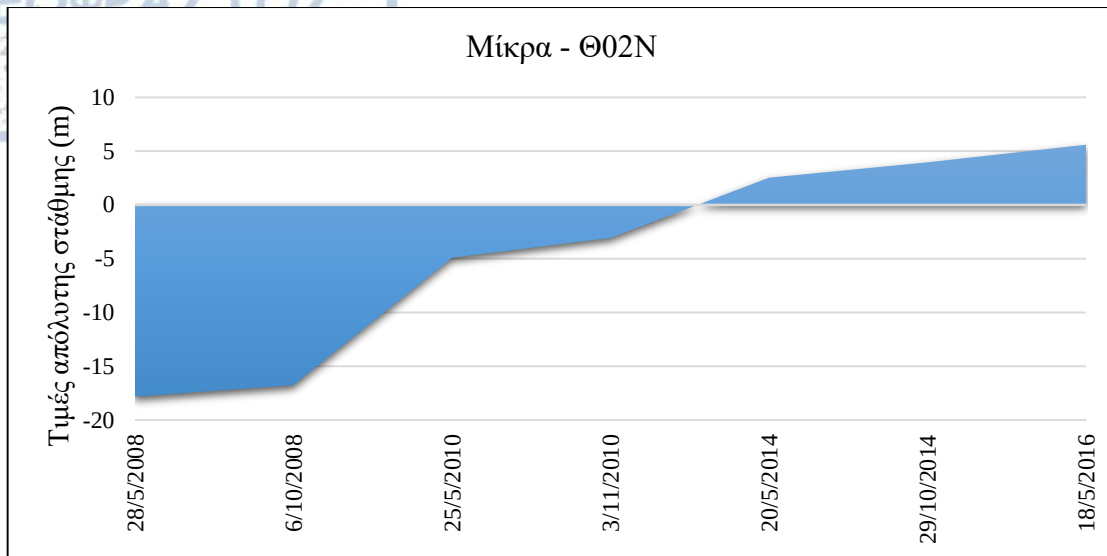
Σχήμα 5.37: Ισοπιεζομετρικές καμπύλες στην περιοχή της Μίκρας την περίοδο Οκτωβρίου 2014

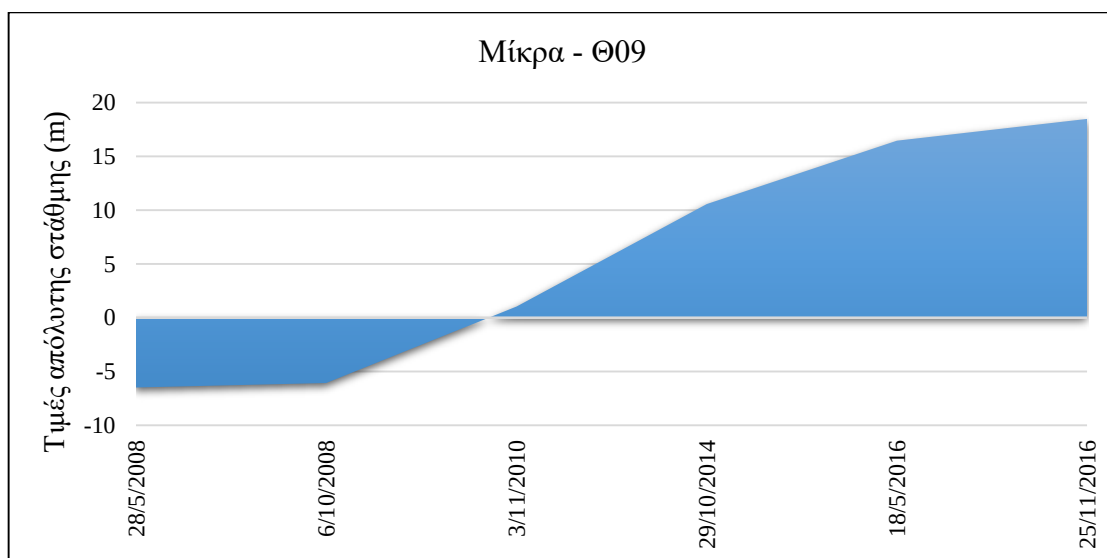
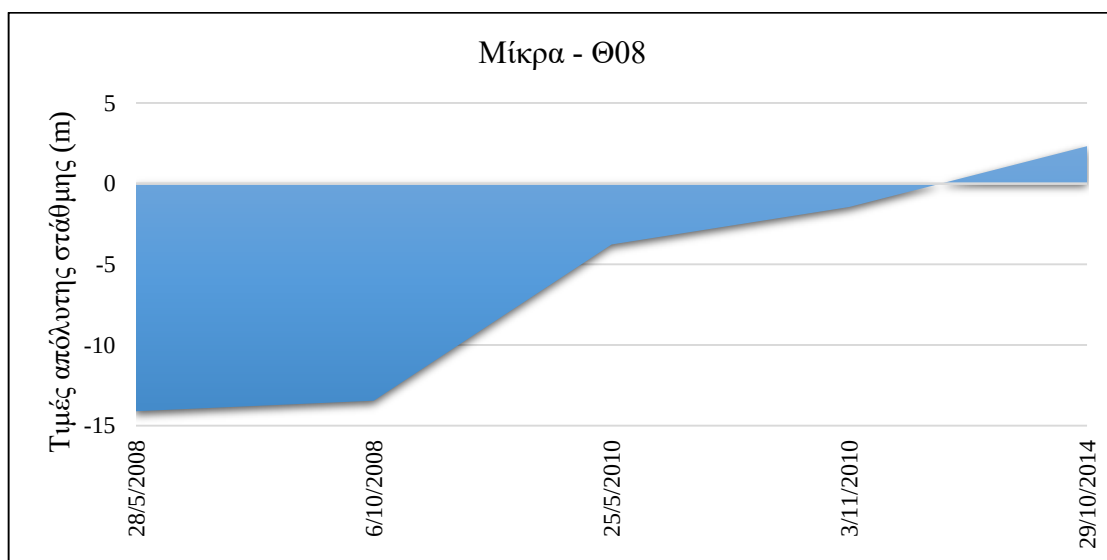
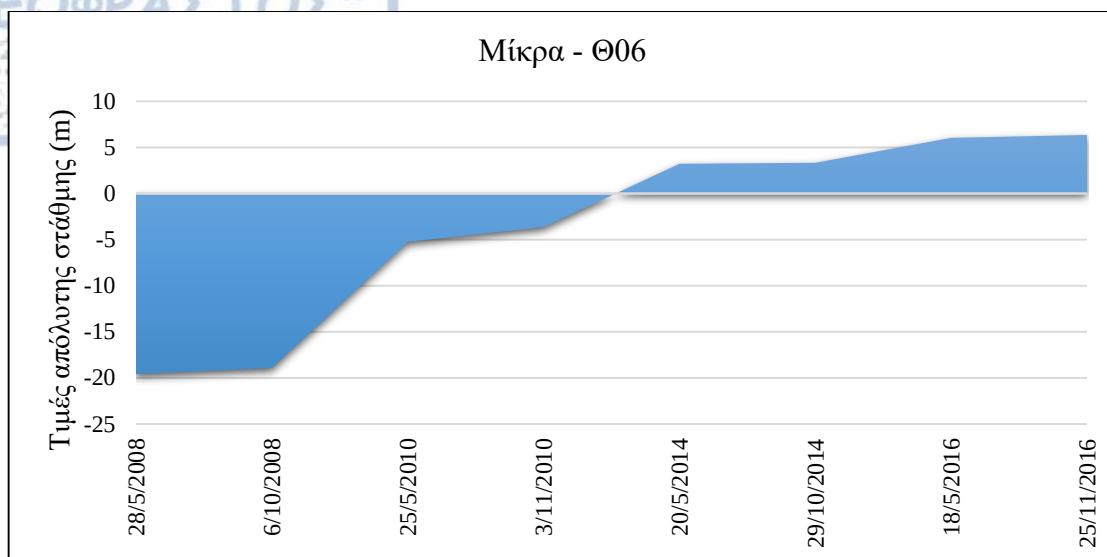
Από τις μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού διαπιστώνονται τα ακόλουθα:

Το απόλυτο υδραυλικό φορτίο στην περιοχή Πατρικίου-Βούλγαρη κυμαίνεται μεταξύ +3,43 και +11,38 m για την περίοδο Νοεμβρίου 2014. Η διεύθυνση της υπόγειας ροής είναι προς τον Θερμαϊκό κόλπο. Για την περιοχή της Μίκρας, η πτώση στάθμης μεταξύ της υγρής και της ξηρής περιόδου του 2014 είναι αμελητέα. Συγκεκριμένα, το απόλυτο υδραυλικό φορτίο για την περίοδο Μαΐου κυμαίνεται μεταξύ +2,53 και +11,85 m, ενώ για την περίοδο Οκτωβρίου κυμαίνεται μεταξύ +2,32 και +12,17 m. Οι γραμμές ροής του υπόγειου νερού και σ' αυτή την περίπτωση είναι προς τη θάλασσα. Παρόμοια εικόνα εμφανίζει η πιεζομετρία κατά την υγρή περίοδο του 2016, με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα.

Επιπλέον, στην περιοχή της Μίκρας, το απόλυτο υδραυλικό φορτίο κυμαίνεται μεταξύ -50 m (αρνητική πιεζομετρία) και +5 m σε διάφορες γεωτρήσεις για διαχρονικές μετρήσεις που έγιναν την περίοδο 2004-2016. Με σκοπό την αποτύπωση της διακύμανσης της στάθμης στη συγκεκριμένη περιοχή, χρησιμοποιούνται δεδομένα για τα έτη 2008, 2010, 2014 και 2016, τα οποία παρουσιάζονται στο σχήμα 5.38. Από το 2017 κι έπειτα δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, καθώς οι συγκεκριμένες γεωτρήσεις σταμάτησαν να λειτουργούν. Ο λόγος είναι διότι μετά το 2013 παρατηρήθηκε άνοδος στις συγκεντρώσεις των χλωριούχων με αποτέλεσμα τη σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Επιπλέον, κατά την τριετία 2014-2016 παρατηρείται άνοδος στη στάθμη, ενώ από το 2016 κι έπειτα, καταγράφονται φαινόμενα «αρτεσιανισμού» σύμφωνα με διαθέσιμα δεδομένα από την Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (ΕΥΑΘ).

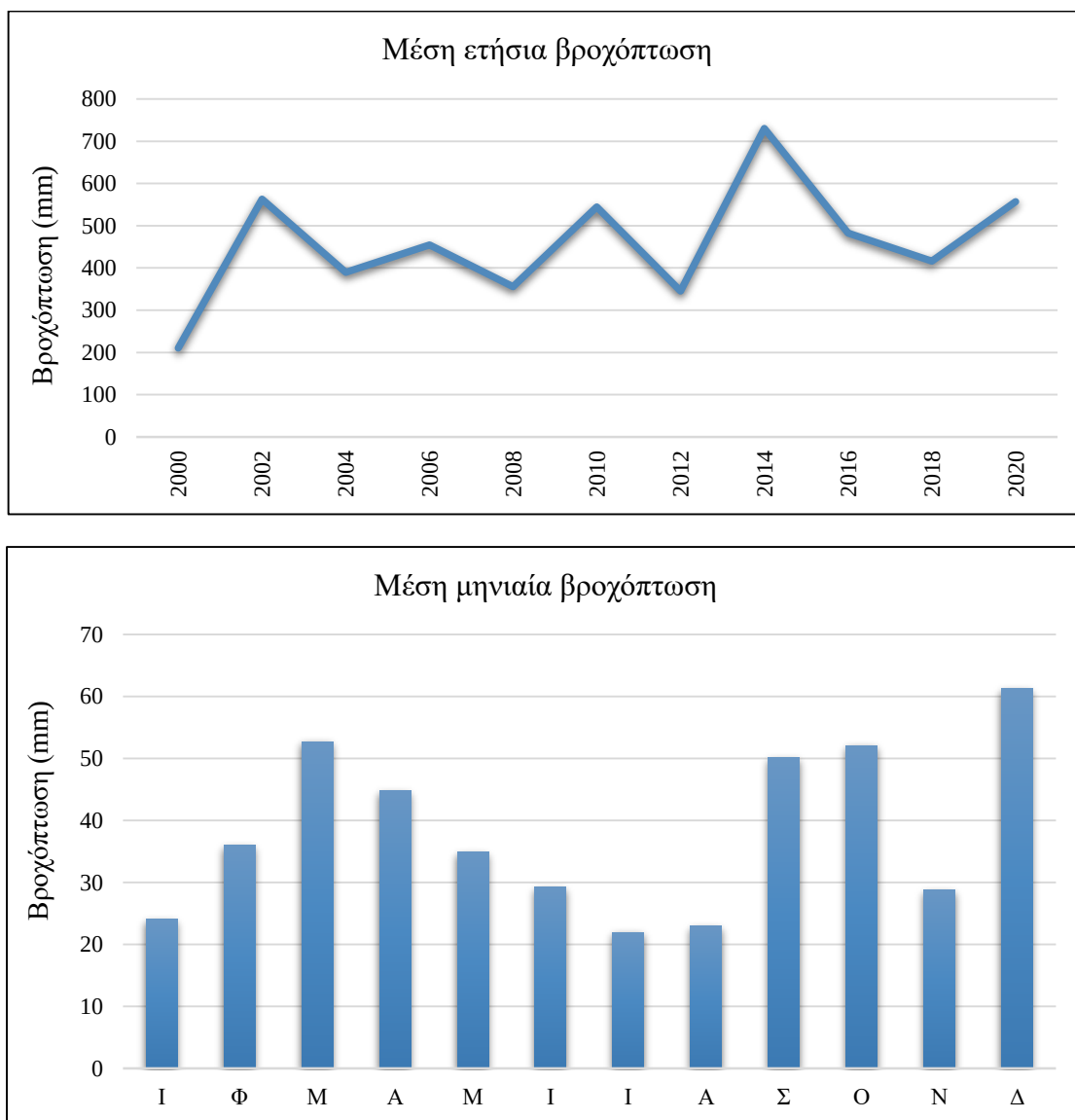






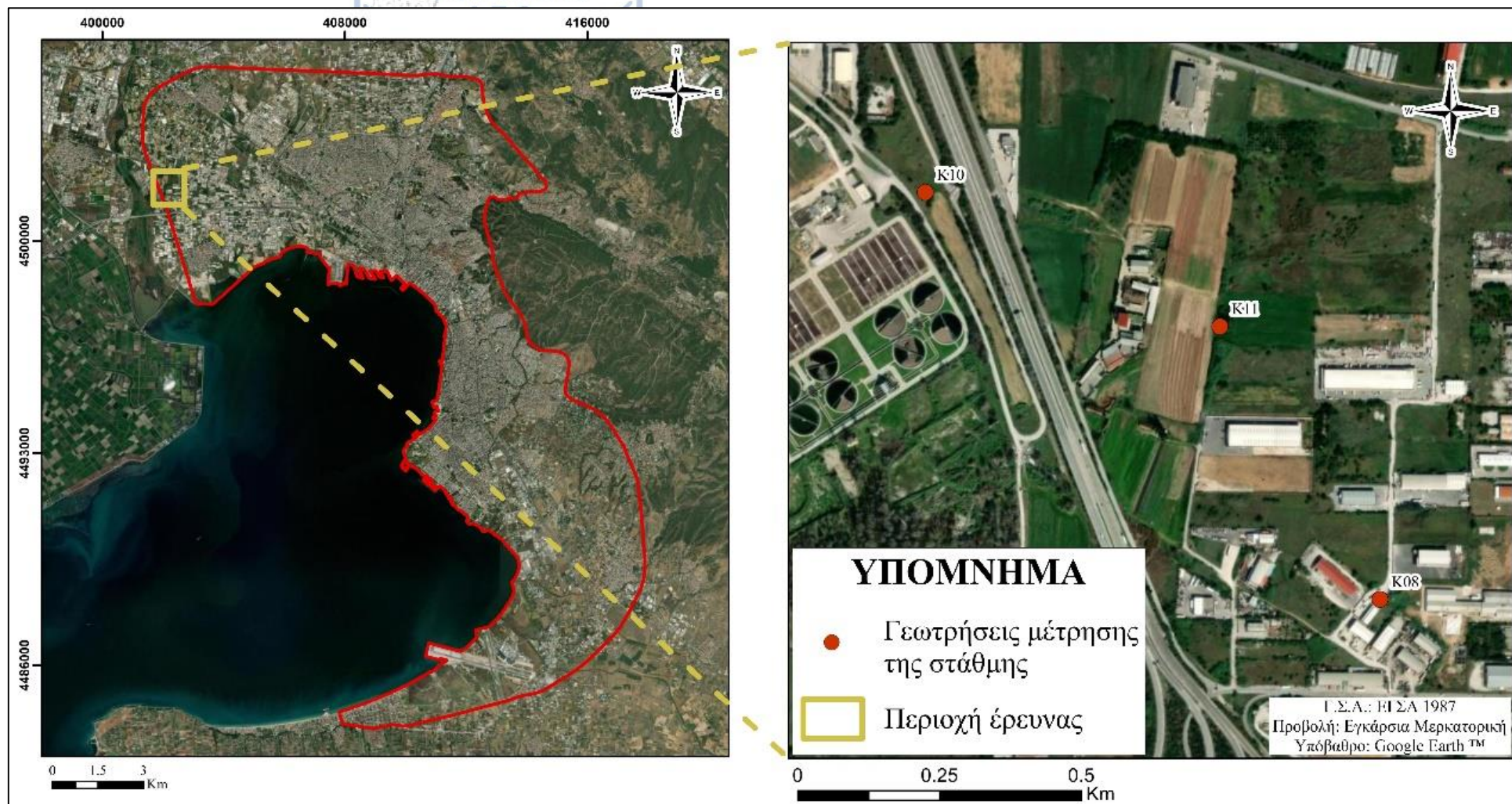
Σχήμα 5.38: Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στις γεωτρήσεις Θ01, Θ02Π, Θ02Ν, Θ05, Θ06, Θ08 και Θ09 της Μίκρας

Η μέση ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 και 2020, βάσει των βροχομετρικών δεδομένων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) από τον σταθμό της Μίκρας είναι ίση με 459 mm, με ελάχιστη τιμή τα 200 mm και μέγιστη τα 720 mm (Σχήμα 5.39). Τα μέγιστα ύψη βροχόπτωσης παρατηρούνται κατά τους μήνες Μάρτιο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Δεκέμβριο, ενώ η ελάχιστη τιμή της βροχόπτωσης καταγράφεται τον Ιούλιο.

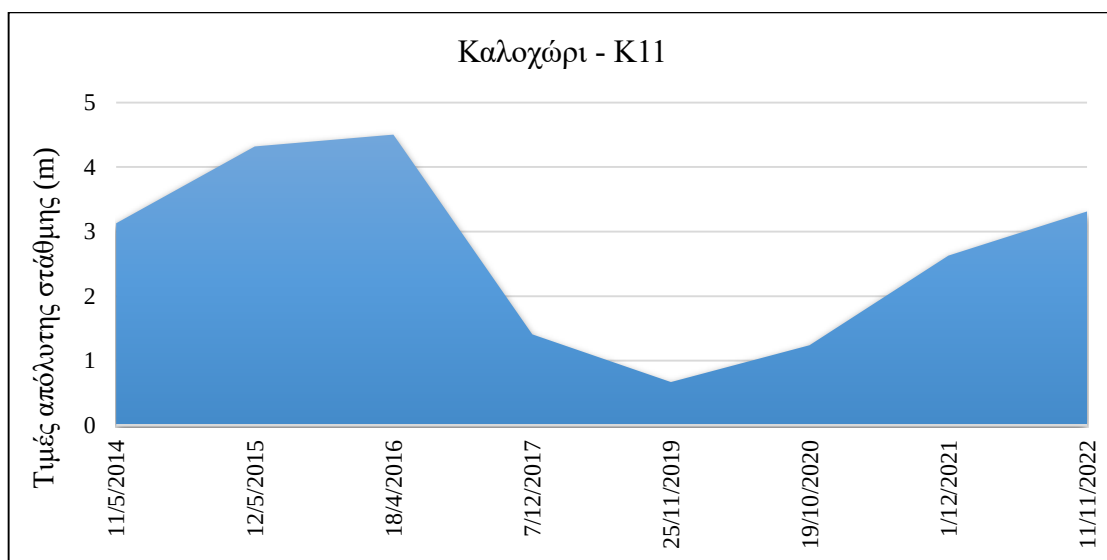
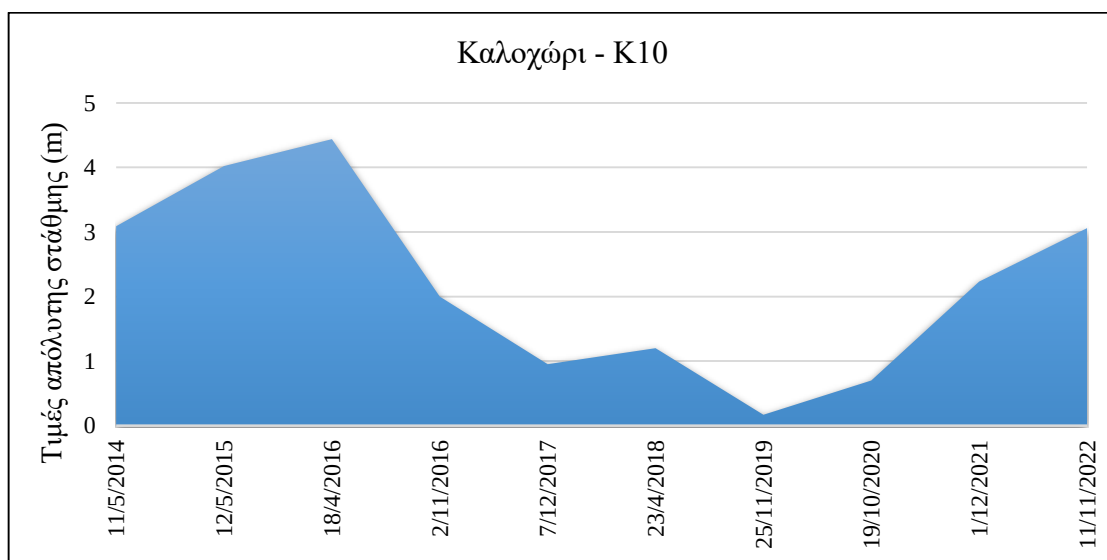
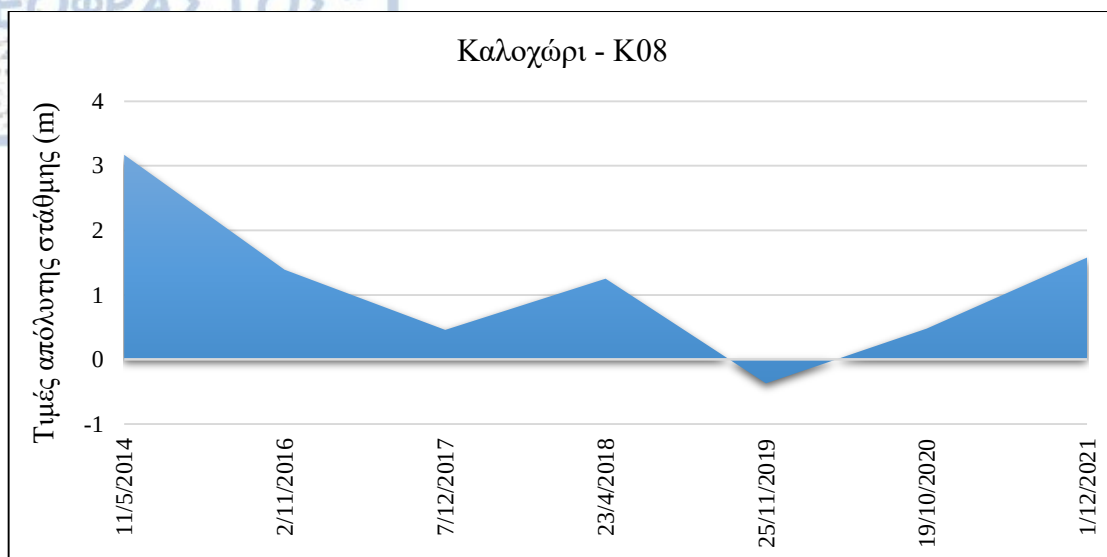


Σχήμα 5.39: Η μέση ετήσια και μηνιαία βροχόπτωση στην περιοχή έρευνας για τα έτη 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 και 2020

Στην περιοχή του Καλοχωρίου καταγράφονταν επί σειρά ετών αρνητικές πιεζομετρίες λόγω υπεράντλησης (Kalaitzis et al., 2023; Svigkas et al., 2016, 2020). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια λόγω της διακοπής των αντλήσεων και της τροφοδοσίας της πόλης από τον ταμιευτήρα του Αλιάκμονα, έχει περιοριστεί η χρήση αυτών των γεωτρήσεων με αποτέλεσμα να παρατηρείται άνοδος της στάθμης. Συγκεκριμένα, το απόλυτο υδραυλικό φορτίο κυμαίνεται μεταξύ -0.37 m και $+4.5\text{ m}$ σε διάφορες γεωτρήσεις, εντός της περιοχής έρευνας (Σχήμα 5.40), για διαχρονικές μετρήσεις την περίοδο 2014-2022. Σύμφωνα με τα διαγράμματα διακύμανσης στάθμης για την περιοχή Καλοχωρίου (Σχήμα 5.41), οι τιμές της απόλυτης στάθμης δεν ξεπερνούν τα $+5\text{ m}$, ενώ οριακά καταγράφεται κι αρνητική πιεζομετρία ($-0,5\text{ m}$) στην περίπτωση της γεώτρησης K08.



Σχήμα 5.40: Θέσεις γεωτρήσεων μέτρησης στάθμης στην περιοχή του Καλοχωρίου



Σχήμα 5.41: Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στις γεωτρήσεις K08, K10 και K11 του Καλοχωρίου

6. Ανάλυση και παρουσίαση τεχνικογεωλογικών δεδομένων

6.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε με σκοπό την ενδελεχή τεχνικογεωλογική διερεύνηση των γεωλογικών σχηματισμών σύμφωνα με τον τεράστιο όγκο δεδομένων που εισήχθη εντός της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων. Η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως σκοπό να:

- προτείνει μια αναλυτική μεθοδολογία για τη λεπτομερή τεχνικογεωλογική θεώρηση των εξεταζόμενων γεωλογικών σχηματισμών
- αναδειξεί την απαίτηση για δημιουργία και χρήση μιας οργανωμένης τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων
- τονίσει την ανάγκη για χρήση διαφορετικών λογισμικών κι επιστημονικών εργαλείων με σκοπό την ολοκληρωμένη ανάλυση, συσχέτιση και παρουσίαση των δεδομένων
- καλύψει κενά που υπάρχουν από προγενέστερες έρευνες με τη χρήση πληθώρας διαθέσιμων γεω-δεδομένων
- ενισχύσει την τεχνικογεωλογική γνώση της Θεσσαλονίκης σε ερευνητικό και τεχνικό επίπεδο

6.2 Μεθοδολογία

Για την επίτευξη των στόχων που περιγράφονται παραπάνω, ακολουθείται η εξής μεθοδολογία:

Σε πρώτη φάση, πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυση όλων των διαθέσιμων γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών πρωτογενών δεδομένων με σκοπό την ομαδοποίηση των σχηματισμών που περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 5.3.1.4, σε συγκεκριμένες τεχνικογεωλογικές ενότητες. Κάθε μια από αυτές εκφράζει ποιοτικά ή/και ποσοτικά ένα ορισμένο πλαίσιο ομοιογένειας ως προς τη μηχανική συμπεριφορά και τη λιθοστρωματογραφική διάρθρωση των εδαφικών σχηματισμών (Κούκης και Σαμπατακάκης,, 2002).

Συγκεκριμένα, για τον καθορισμό των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων που παρουσιάζονται αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 6.3, λήφθηκαν υπόψη:

- ο γεωλογικός και τεχνικογεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας
- οι αναλυτικές γεωλογικές περιγραφές από τα μητρώα των γεωτρήσεων και
- τα αποτελέσματα των εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών

Σε επόμενο στάδιο πραγματοποιείται ενδελεχής διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών μέσω της επεξεργασίας και συσχέτισης πληθώρας διαθέσιμων δεδομένων, τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 6.1. Πρόκειται για πρωτογενή δεδομένα εισόδου που προέρχονται από

σημειακή πληροφορία και αντιστοιχούν σε φυσικές και μηχανικές παραμέτρους, όπως προέκυψαν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών που διενεργήθηκαν σε περισσότερες από 600 γεωτρήσεις.

Συγκεκριμένα, η διαδικασία που ακολουθείται, περιγράφεται παρακάτω:

- Αρχικά, δημιουργούνται στατιστικές κατανομές ποσοστιαίας συμμετοχής και διαγράμματα κατανομής των παραμέτρων με το βάθος, ανά κατηγορία γεωυλικού. Στην περίπτωση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, τα γεωυλικά κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε λεπτόκοκκα και αδρόκοκκα, παρέχοντας πιο λεπτομερή εικόνα ως προς τις τεχνικογεωλογικές ιδιότητές τους. Στην περίπτωση των λεπτόκοκκων, τα υλικά που εξετάζονται είναι καθαρές άργιλοι και ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες. Αντίστοιχα, τα αδρόκοκκα είναι καθαρές άμμοι, αμμοχάλικα ή σε προσμίξεις με αργίλους και ιλύες. Η ομαδοποίηση αυτών των σχηματισμών με βάση την κοκκομετρία και το επικρατέστερο υλικό παρουσιάζεται αναλυτικά στον πίνακα 5.1.
- Από την αξιολόγηση των δεδομένων, προτείνονται συγκεκριμένα εύρη τιμών και στατιστικοί δείκτες, για τις εξεταζόμενες φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες των σχηματισμών με λεπτομέρεια σε βάθος. Τα φάσματα τιμών παρουσιάζονται αναλυτικά σε έναν πίνακα καταγραφής, ο οποίος συνοδεύει την επικαιροποιημένη έκδοση του τεχνικογεωλογικού χάρτη της λεκάνης Θεσσαλονίκης.
- Ακόμη, κατασκευάζεται ένα σύνολο θεματικών χαρτών, για τις εξεταζόμενες φυσικές και μηχανικές παραμέτρους. Αυτοί οι χάρτες παρουσιάζουν την κατανομή των συγκεκριμένων παραμέτρων ανά 5 m, μέχρι τα 20 m σε βάθος, συνοδεύοντας και ταυτόχρονα επαληθεύοντας τις στατιστικές κατανομές που έχουν δημιουργηθεί.
- Τέλος, δημιουργούνται παραδείγματα τρισδιάστατων τεχνικογεωλογικών μοντέλων και δισδιάστατων μηκοτομών σε διάφορες θέσεις εντός της περιοχής έρευνας, με σκοπό την παρουσίαση της χωρικής κατανομής και διακύμανσης των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των εξεταζόμενων γεωλογικών σχηματισμών, σε περιοχές μεγαλύτερης κλίμακας.

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων

Κατηγορία δοκιμών	Παράμετροι	Αριθμός δεδομένων εισόδου
Εργαστηριακές δοκιμές	<u>Παράμετροι Φυσικών ιδιοτήτων</u>	
	Όριο υδαρότητας - LL	5595
	Όριο πλαστικότητας - PL	5094
	Δείκτης πλαστικότητας - PI	5748
	Δείκτης συνεκτικότητας - I_c	2496
	Περιεχόμενη φυσική υγρασία - w	5223
	Βαθμός κορεσμού - S	1718
	Δείκτης πόρων - e	2268
	Πορώδες - n	2272
	Υγρό φαινόμενο βάρος - γ_b	3259
	Ξηρό φαινόμενο βάρος - γ_d	2634
	Κοκκομετρική διαβάθμιση	5300
	<u>Παράμετροι Μηχανικών ιδιοτήτων</u>	
	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη - q_u	2315
	Δοκιμή άμεσης διάτμησης:	
	• Συνοχή - c	749
	• Γωνία εσωτερικής τριβής - ϕ	682
	Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης:	
	• Συνοχή - c	350
	• Γωνία εσωτερικής τριβής - ϕ	359
Επιτόπου δοκιμές	Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης - N_{SPT}	5043
	Συντελεστής υδροπερατότητας - k	999

Πίνακας 6.2: Συγκεντρωτικός πίνακας παραγόμενων χαρτών, διαγραμμάτων, τομών και μοντέλων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της διατριβής

Χάρτες	Χάρτης απεικόνισης περιοχής έρευνας.
	Μορφολογικός χάρτης υψομέτρων και υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας.
	Χάρτης μορφολογικών κλίσεων της περιοχής έρευνας.
	Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας κλίμακας 1:50.000.
	Χάρτης χρήσεων γης της περιοχής έρευνας.
	Χάρτης με το οδικό δίκτυο της περιοχής έρευνας.
	Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακας 1:25.000, I.G.M.E.
	Χάρτης κατανομής πάχους τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.
	Χάρτης κατανομής βάθους εμφάνισης τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.
	Χάρτες κατανομής λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών για βάθη 0-5, 5-10, 10-15 και 15-20 m.
	Χάρτης ισοπιεζομετρικών καμπύλων συγκεκριμένων εξεταζόμενων περιοχών.
	Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για βάθη 0-5, 5-10, 10-15 και 15-20 m.
	Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών φυσικών και μηχανικών παραμέτρων.
	Χάρτης κατανομής καθιζήσεων για συγκεκριμένη εξεταζόμενη περιοχή σύμφωνα με 2 σεισμικά σενάρια προς αξιολόγηση.
	Θεματικός χάρτης κατανομής τιμών SPT σε βάθος 0-15 m.

Διαγράμματα	Σχηματικό διάγραμμα αναπαράστασης της σύνδεσης των διάφορων πινάκων εντός της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων.
	Διάγραμμα ροής που παρουσιάζει τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα.
	Διαγράμματα Taylor στα οποία απεικονίζεται η στατιστική σύγκριση των μεθόδων παρεμβολής: Ordinary kriging, IDW και Topo to raster για τα δεδομένα πάχους και βάθους των τεχνητών επιχώσεων και των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.
	Θηκογράμματα κατανομής ποσοστού συμμετοχής λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, ανά 0.5 m για βάθη από 0 έως 20 m.
	Κοκκομετρικές καμπύλες των τεχνητών επιχώσεων και των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για βάθη 0-5, 5-10, 10-15 και 15-20 m.
	Διαγράμματα διακύμανσης των φυσικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους των τεχνητών επιχώσεων και των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.
	Διαγράμματα διακύμανσης των μηχανικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους των τεχνητών επιχώσεων και των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.
	Διαγράμματα μέσης ετήσιας και μηνιαίας βροχόπτωσης για συγκεκριμένες εξεταζόμενες περιοχές και διαθέσιμα έτη.
	Διαγράμματα διακύμανσης της στάθμης του υπόγειου νερού σε γεωτρήσεις συγκεκριμένων εξεταζόμενων περιοχών.
	Διαγράμματα κατανομής των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους, για τα λεπτόκοκκα υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας.
	Διαγράμματα κατανομής των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους, για τα αδρόκοκκα υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας.
	Διαγράμματα κατανομής των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους, για τα λεπτόκοκκα υλικά της σειράς των ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.

Διαγράμματα	Διαγράμματα κατανομής των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους, για τα αδρόκοκκα υλικά της σειράς των ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας.
	Διαγράμματα κατανομής των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους, για τα λεπτόκοκκα υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.
	Διαγράμματα κατανομής των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους, για τα αδρόκοκκα υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων.
	Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 10-20 m της ανατολικής και δυτικής περιοχής.
	Κοκκομετρικές καμπύλες των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς συγκεκριμένων εξεταζόμενων περιοχών, μαζί με τα όρια καταλληλότητας των μηχανημάτων EPB και slurry TBM.
	Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους για τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας στην ανατολική και δυτική περιοχή, μαζί με ένα ενδεικτικό εύρος του βάθους σήραγγας (10-20 m).
	Διαγράμματα κολλώδους συμπεριφοράς των συνεκτικών εδαφικών σχηματισμών για βάθος 10-20 m, στην ανατολική και δυτική περιοχή.
	Διαγράμματα διακινδύνευσης έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων για βάθος 10-20 m, στην ανατολική και δυτική περιοχή.
	Διαγράμματα κατανομής τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για συγκεκριμένες εξεταζόμενες περιοχές σύμφωνα με 2 σεισμικά σενάρια προς αξιολόγηση.
	Διαγράμματα κατανομής καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για συγκεκριμένες εξεταζόμενες περιοχές σύμφωνα με 2 σεισμικά σενάρια προς αξιολόγηση.
	Διαγράμματα κατανομής πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για συγκεκριμένες εξεταζόμενες περιοχές σύμφωνα με 2 σεισμικά σενάρια προς αξιολόγηση.

Τομές	Παράδειγμα ενδεικτικής τομής συγκεκριμένης περιοχής όπου παρουσιάζεται η αναλυτική γεωλογική σύσταση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας με βάση το επικρατέστερο υλικό.
	Παράδειγμα ενδεικτικής τομής συγκεκριμένης περιοχής όπου παρουσιάζεται η ομαδοποίηση των υλικών σύμφωνα με τη γεωλογική σύσταση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.
	Τομές συγκεκριμένων περιοχών όπου προβάλλονται τα αποτελέσματα των στατικών πενетроμετρήσεων.
	Τομές συγκεκριμένων περιοχών όπου προβάλλονται οι διάφορες τιμές I_c ανά 0.2 m υπό τη μορφή γραφικών παραστάσεων.
	Τομές συγκεκριμένων περιοχών όπου παρουσιάζεται η κατανομή των εδαφικών υλικών σύμφωνα με τις τιμές I_c .
	Τομές συγκεκριμένων περιοχών όπου παρουσιάζεται η επιδεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε ρευστοποίηση.
	Τομές συγκεκριμένων περιοχών όπου προβάλλεται ανά βάθος, η πληροφορία που προκύπτει από τη γεωλογική περιγραφή των εδαφικών σχηματισμών στα μητρώα των γεωτρήσεων.
	Τομές συγκεκριμένων περιοχών όπου προβάλλεται ανά βάθος, η επιδεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε ρευστοποίηση.
	Τομές συγκεκριμένων περιοχών όπου παρουσιάζεται αναλυτικά η στρωματογραφία σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα των γεωτρήσεων και των στατικών πενетроμετρήσεων.
Μοντέλα	Τρισδιάστατα γεωλογικά μοντέλα συγκεκριμένων εξεταζόμενων περιοχών.
	Τρισδιάστατα τεχνικογεωλογικά μοντέλα συγκεκριμένων εξεταζόμενων περιοχών.

6.3 Τεχνικογεωλογικές ενότητες

Στην παρούσα έρευνα αναπτύσσονται εκτενώς οι εξής τρεις τεχνικογεωλογικές ενότητες, από τη νεότερη στην παλαιότερη σύμφωνα με τον επικαιροποιημένο τεχνικογεωλογικό χάρτη του λεκανοπεδίου της Θεσσαλονίκης (Σχήμα 6.15):

1. Τεχνητές επιχώσεις - Αρχαιολογικό στρώμα:
 - Πρόσφατες ανθρωπογενείς επιχωματώσεις
 - Ιστορικές-Αρχαιολογικές επιχωματώσεις
2. Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας:
 - Παράκτιες άμμοι
 - Ποταμοχειμάρειες αποθέσεις
 - Λιμναία ιζήματα
3. Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας:
 - Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά
 - Σειρά ερυθρών αργίλων

Πιο συγκεκριμένα:

- Το ιστορικό κέντρο της πόλης εντός των τειχών συνίσταται επιφανειακά από:
- i. ιστορικές αποθέσεις του αρχαιολογικού στρώματος με παρουσία υπολειμμάτων καύσης, κονιαμάτων, τούβλων, κεραμικών και οργανικών υλικών (Σχήμα 6.1).
 - ii. πρόσφατες ανθρωπογενείς επιχωματώσεις αποτελούμενες από μαλακά αργιλοϊλύδη υλικά με άμμο και χαλίκια ποικίλης κοκκομετρίας και χαλαρά έως μέτρια πυκνά χαλίκια (Σχήμα 6.2 και Σχήμα 6.3).

Στο συγκεκριμένο στρώμα εντοπίζονται κατά τόπους κενά που προέρχονται από αρχαίες στοές, πηγάδια και δίκτυα κοινής ωφέλειας.

- Βαθύτερα βρίσκονται, ποταμοχειμάρειες και άλλες Τεταρτογενείς αποθέσεις (Πλειστοκαινικής και Ολοκαινικής ηλικίας) και το στρώμα διάβρωσης των Νεογενών σχηματισμών.
- i. Οι παράκτιες άμμοι εκτείνονται επιφανειακά, κατά μήκος της ακτογραμμής (Σοφούλη, Αρετσού, Απολλώνια Πολιτεία) και αποτελούνται από χαλαρές άμμους, ψηφίδες και χαλίκια ποικίλου μεγέθους
 - ii. Οι ποταμοχειμάρειες αποθέσεις αποτελούνται από στρώματα και φακούς άμμων, αργίλων και χαλίκων τα οποία προέρχονται είτε από τους Νεογενείς σχηματισμούς είτε από το υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης. Εντοπίζονται κυρίως στη δυτική πλευρά

της πόλης και περιλαμβάνουν σταθερές έως στιφρές αμμώδεις αργίλους με χάλικες, χαλαρές έως πυκνές αργιλώδεις άμμους με χάλικες και αργιλώδεις χάλικες με άμμο, κροκάλες και τεμάχια βράχου. Εμφανίζονται ως αποθέσεις του ρέματος Δενδροποτάμου (Σχήμα 6.4)

- iii. Τα λιμνοθαλάσσια ιζήματα αποτελούνται από μαλακές, αμμώδεις-χαλικώδεις αργίλους έως χαλαρές-πυκνές, αργιλώδεις-ιλυώδεις άμμους με κυμαινόμενο ποσοστό χαλικιών. Εμφανίζονται κυρίως στην ανατολική πλευρά της πόλης (Ευκλείδη, Φλέμινγκ, Ανάληψη, Μαρτίου), ως αποθέσεις των ρεμάτων Τούμπας, Κυβερνείου κι Αλλατίνη (Σχήμα 6.5 και Σχήμα 6.6).
- Πριν το υπόβαθρο, συναντώνται οι Νεογενείς αποθέσεις (Αν. Μειόκαινο-Αν. Πλειόκαινο/Κατ. Πλειστόκαινο) οι οποίες είτε υπόκειται των Τεταρτογενών αποθέσεων είτε εμφανίζονται στην επιφάνεια. Οι αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας αποτελούνται στρωματογραφικά από τη «ψαμμιτομαργαϊκή σειρά» και τη «σειρά των ερυθρών αργίλων».
 - i. Η «ψαμμιτομαργαϊκή σειρά» καταλαμβάνει μεγάλη έκταση τόσο ανατολικά, όσο και δυτικά της περιοχής έρευνας. Ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται από εναλλαγές από πολύ στιφρές, μπεζ αμμώδεις ιλεις κι αργίλους με άμμο και πολύ πυκνές, ιλυώδεις άμμους έως ψαμμίτες (εύθρυπτους έως πολύ συμπαγείς) (Σχήμα 6.7). Κατά θέσεις διακρίνονται ενστρώσεις μάργας (Σχήμα 6.8) και ορίζοντες ιλυόλιθου και αργιλόλιθου που χαρακτηρίζονται ως ημίβραχοι. (Σχήμα 6.9).
 - ii. Η «σειρά των ερυθρών αργίλων» αποτελείται από ερυθρές έως καστανόχρωμες στιφρές έως πολύ στιφρές αμμώδεις αργίλους με διάσπαρτους χάλικες σχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης. Κατά τόπους εμφανίζονται πυκνές έως πολύ πυκνές χαλικώδεις άμμοι υπό τη μορφή φακών (Σχήματα 6.10, 6.11, 6.12). Επιφανειακά εμφανίζεται κυρίως περιφερειακά της πόλης με χαρακτηριστική εμφάνιση στην περιφερειακή οδό (Γέφυρα Περαιβού).

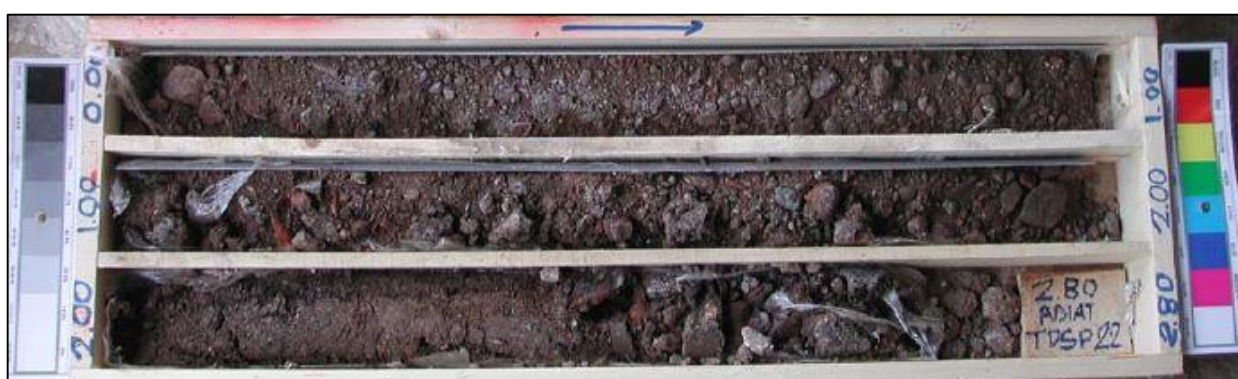
Ο σχηματισμός του βραχώδους υποβάθρου παρότι δεν αναλύεται περαιτέρω στην παρούσα έρευνα, κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί εξίσου με τη μορφή πυρήνων δειγματοληψίας γεωτρήσεων (Σχήμα 6.13 και Σχήμα 6.14). Αυτός αποτελείται από γνευσιοσχιστόλιθους, πρασινοσχιστόλιθους και σχιστοψαμμίτες σε υγιή ή/και αποσαθρωμένη και κερματισμένη κατάσταση. Εμφανίζεται επιφανειακά στη βόρεια-βορειοανατολική περιοχή της πόλης (40 Εκκλησιές, Ευαγγελίστρια, Συκιές), πιθανώς λόγω της παρουσίας σχεδόν κατακόρυφων κανονικών ρηγμάτων (Ζερβοπούλου και Παυλίδης, 2008).



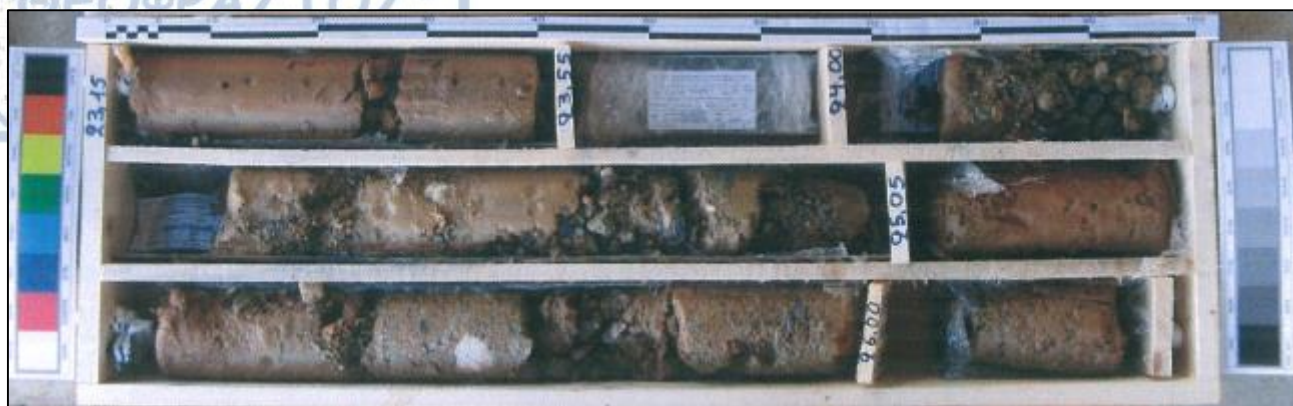
Σχήμα 6.1: Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση στην περιοχή Συντριβάνι.
Περιγραφή: ΑΜΜΟΣ με τούβλα, φυτικά και κροκάλες πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Σχήμα 6.2: Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση στην περιοχή Αγίας Σοφίας.
Περιγραφή: Χαλαροί έως μέτρια πυκνοί, λεπτόκοκκοι και αδρόκοκκοι, ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο έως ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης, λατύπες γνευσίου και θραύσματα από τούβλα, κεραμικά, χωρίς πλαστικότητα λεπτόκοκκο υλικό καστανού χρώματος (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Σχήμα 6.3: Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση στην περιοχή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού (ΝΣΣ).
Περιγραφή: Σκούρη καστανή, ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες και μπάζα μέχρι τα 2 m. Από τα 2 m και μετά εμφανίζεται μαλακή έως σταθερή, σκούρη καστανή, ΙΣΧΝΗ ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο, με σποραδικές ψηφίδες και λεπτούς γωνιώδεις χάλικες. Μικρά τεμάχια κεραμικών και ίχνη καύσης (μικρά σημεία άνθρακα) (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



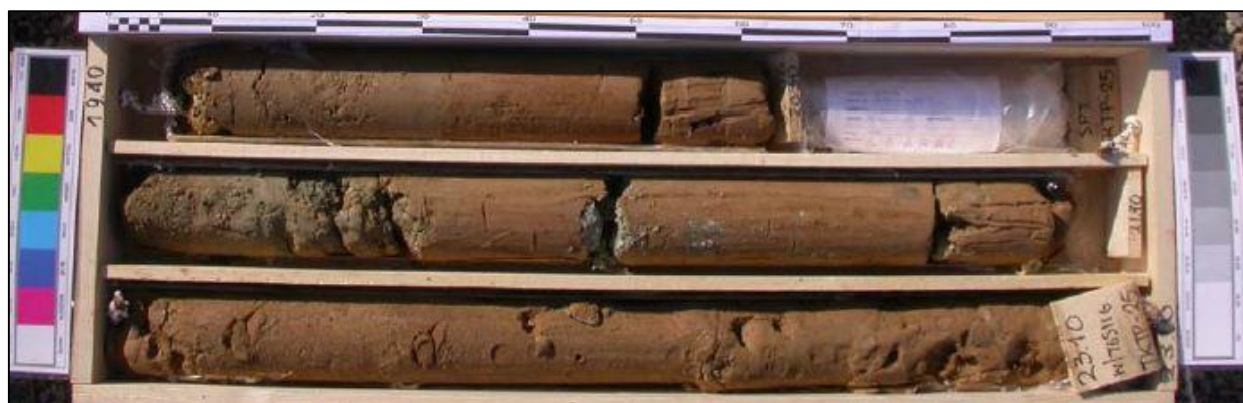
Σχήμα 6.4: Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση στην περιοχή Επίσταθμος ΝΣΣ.

Περιγραφή: Σταθερή έως στιφρή, καστανή, αμμώδης ΙΣΧΝΗ ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες έως αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες μέχρι τα 24.00 m. Πυκνή έως πολύ πυκνή, καστανή, αργιλώδης ΑΜΜΟΣ έως αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο, με κροκάλες και τεμάχια βράχου χαλαζιακής και πρασινιτικής προέλευσης. Τοπικά μαλακή, καστανή, χαλικώδης ισχνή άργιλος. Από το βάθος των 25.35 m συναντάται ισχυρά έως μέτρια συγκολλημένο, ΨΗΦΙΔΟΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Σχήμα 6.5: Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση στην περιοχή Αναλήψεως.

Περιγραφή: Πυκνή, καστανοπράσινη, αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με λεπτά μεσαία χαλίκια μικρής πλαστικότητας έως ΑΜΜΟΣ καλής διαβάθμισης με ιλύ και μεσαία χαλίκια γνευσιακής προέλευσης, χωρίς πλαστικότητα. Από τα 22.4 m συναντάται χαλαρή, ανοικτή, καστανή, χαλικώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ μέσης πλαστικότητας (Αττικό Μετρό Α.Ε.)

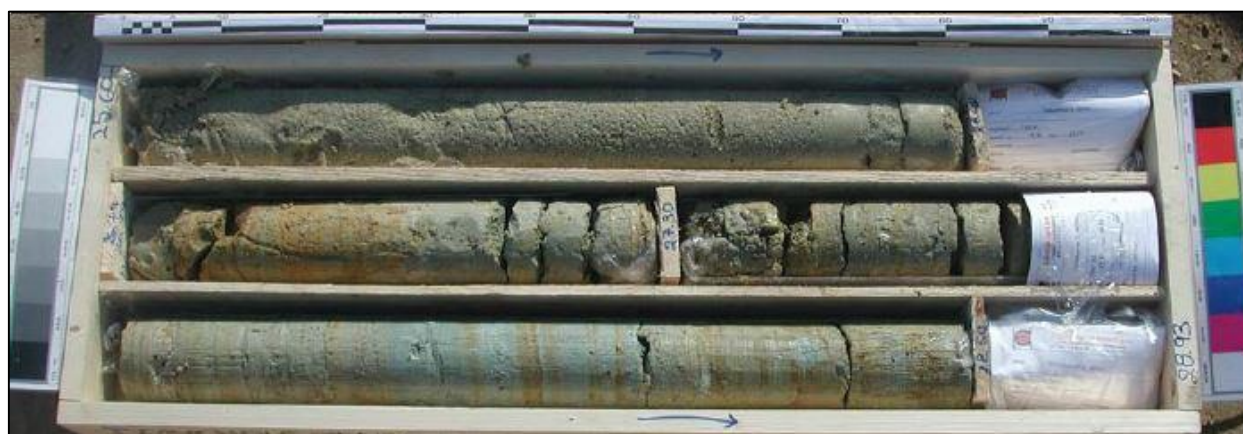


Σχήμα 6.6: Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση στην περιοχή Φλέμινγκ-Αναλήψεως.

Περιγραφή: Πυκνή, καστανοπράσινη, ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με χαλίκια και κροκάλες. Από τα 20.6 m συναντάται σταθερή (21.30-22.60 m) έως μαλακή (22.60-24.60 m) καστανή έως καστανοπράσινη, αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ, με λίγα λεπτά χαλίκια κατά τόπους, μικρής έως μέσης πλαστικότητας (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Σχήμα 6.7: Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή Ευκλείδη. Περιγραφή: Πολύ στιφρή έως σκληρή, καστανοκίτρινη, ασβεστιτική ΑΡΓΙΛΟΣ. Κοκκομετρικά χαρακτηρίζεται ως παχιά-ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο, μεγάλης έως μέσης πλαστικότητας έως τοπικά αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο μεγάλης πλαστικότητας. Από τα 26.63 m παρατηρείται ασθενής, καστανοκίτρινος, ΨΑΜΜΙΤΗΣ (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Σχήμα 6.8: Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή Βούλγαρη. Περιγραφή: Εναλλαγές από πολύ στιφρή, μπεζ αμμώδη ιλύ με άμμο, με πολύ πυκνή, λεπτόκοκκη έως μεσόκοκκη, ιλυώδη άμμο, χωρίς πλαστικότητα. Τοπικά διακρίνονται λεπτές ενστρώσεις ΜΑΡΓΑΣ. Από το βάθος των 26.8 m παρατηρείται πολύ στιφρή έως σκληρή, γκρι-μπλε, καστανή-πορτοκαλί, λεπτοστρωματώδης μάργα με ολισθηρές επιφάνειες στο βάθος των 29,60m. (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Σχήμα 6.9: Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή Νέα Ελβετία. Περιγραφή: Πολύ ασθενής έως ασθενής, ανοικτός καστανοκόκκινος ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ με ανθρακικά συσσωματώματα. Από τα 24.4 m παρατηρείται ασθενής ανοικτός πρασινωπός ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Σχήμα 6.10: Ερυθρές άργιλοι Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού. Περιγραφή: Στιφρή έως πολύ στιφρή, ανοικτή καστανέρυθη έως καστανέρυθη, αμμώδης ΙΣΧΝΗ ΑΡΓΙΛΟΣ, με διάσπαρτους γωνιώδεις χάλικες σχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Σχήμα 6.11: Ερυθρές άργιλοι Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή Αγίας Σοφίας. Περιγραφή: Πολύ στιφρή έως σκληρή, καστανοκόκκινη, ισχνή άργιλος με άμμο έως αμμώδης ισχνή άργιλος, μέσης πλαστικότητας με λίγα λεπτά χαλίκια κατά τόπους. Παρουσία ασβεστιτικών συγκριμάτων και οξειδίων Μαγγανίου (Mn). (Αττικό Μετρό Α.Ε.)

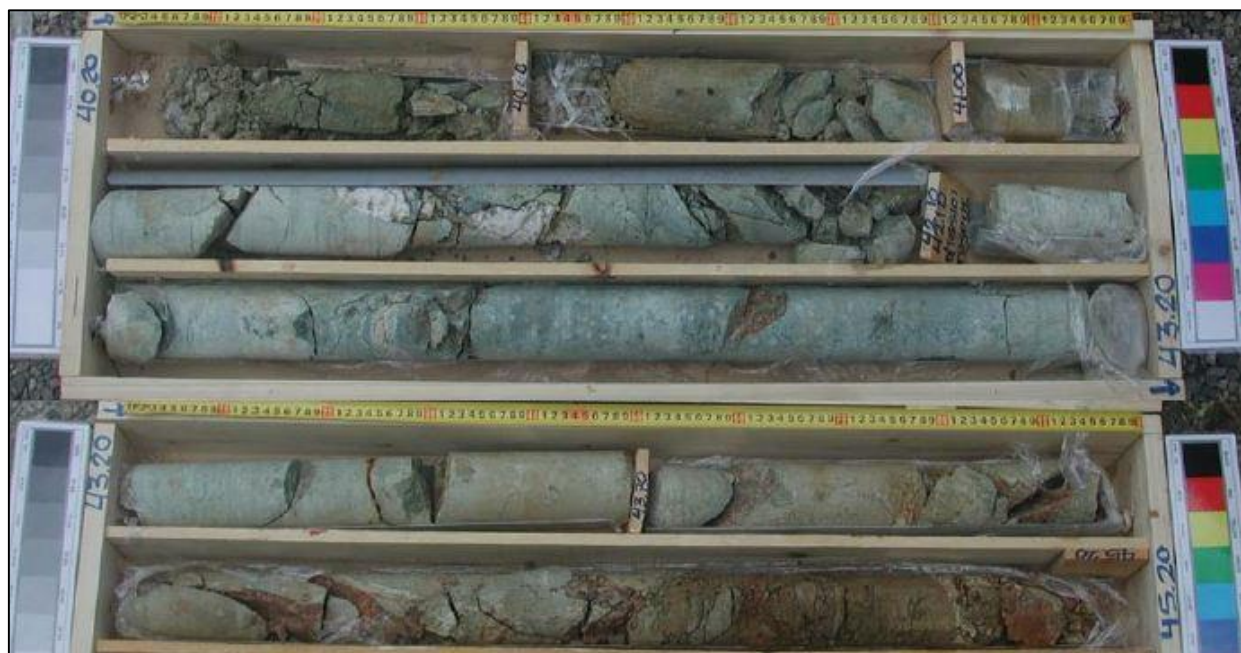


Σχήμα 6.12: Ερυθρές άργιλοι Νεογενών αποθέσεων, γεώτρηση στην περιοχή Πανεπιστήμιο. Περιγραφή: Πολύ στιφρή έως σκληρή, κόκκινη, αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ έως ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο, μικρής έως μέσης πλαστικότητας, με λίγα λεπτά χαλίκια κατά τόπους. Από τα 39.7 m παρατηρείται πολύ ασθενές, κόκκινο, ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



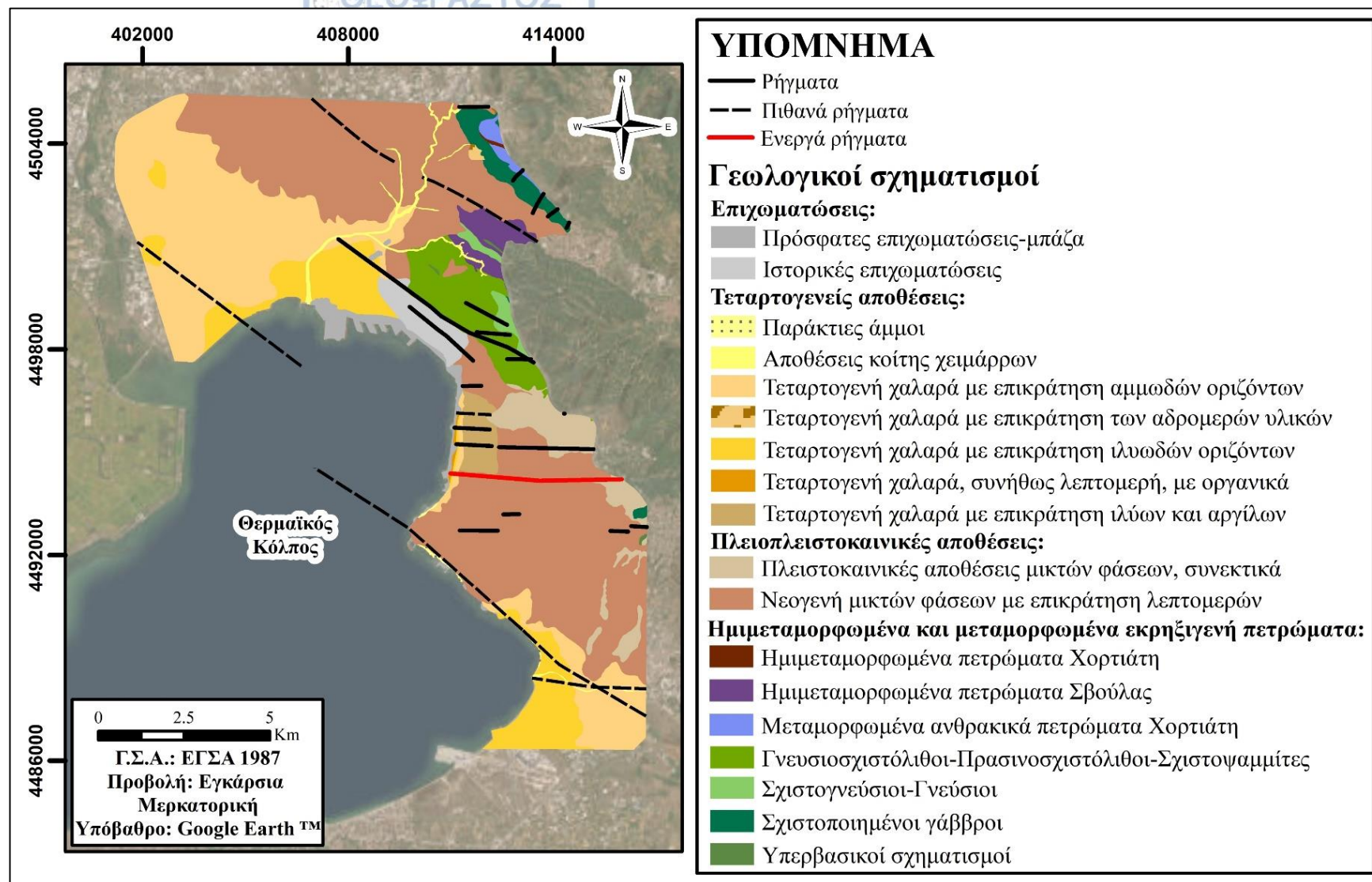
Σχήμα 6.13: Ενότητα Χορτιάτη, γεώτρηση στην περιοχή Αγίας Σοφίας.

Περιγραφή: Πρασινωπού χρώματος γνεύσιος, κερματισμένος, οξειδωμένος με παρουσία χαλαζιακών φλεβών. Στα βάθη 38.15-38.30 m, 43.90-44.50 m, 45.20-45.40 m παρατηρείται μίγμα εδάφους-βράχου (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Σχήμα 6.14: Ενότητα Χορτιάτη, γεώτρηση στην περιοχή Αγίας Σοφίας.

Περιγραφή: Ασθενής έως ισχυρός, γκριζοπράσινο γνεύσιος ελαφρά αποσθρωμένος, μέτρια κερματισμένος, οξειδωμένος στις επιφάνειες ασυνέχειας. Από τα 44.7 m παρατηρείται μέτρια ασθενής καστανοπράσινο γνεύσιος, έντονα οξειδωμένος και κερματισμένος (Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Σχήμα 6.15: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής της πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε

6.4 Σχεδιασμός επικαιροποιημένου τεχνικογεωλογικού χάρτη

Από την αξιολόγηση των πρωτογενών δεδομένων, προέκυψε η δημιουργία ενός επικαιροποιημένου τεχνικογεωλογικού χάρτη του λεκανοπεδίου της Θεσσαλονίκης (Σχήμα 6.15) αναθεωρώντας στοιχεία του προϋπάρχοντος χάρτη (Ρόζος et al., 1998). Τα όρια των γεωλογικών επαφών επαναπροσδιορίστηκαν με βάση τα νέα διαθέσιμα σύνολα δεδομένων που εισήχθησαν στην τεχνικογεωλογική βάση δεδομένων, δημιουργώντας έναν πολύτιμο οδηγό τόσο για τον αρχικό σχεδιασμό τεχνικών έργων, όσο και για τη διαχείριση αστικών γεωκινδύνων.

Ο νέος επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης δημιουργήθηκε λαμβάνοντας υπόψη:

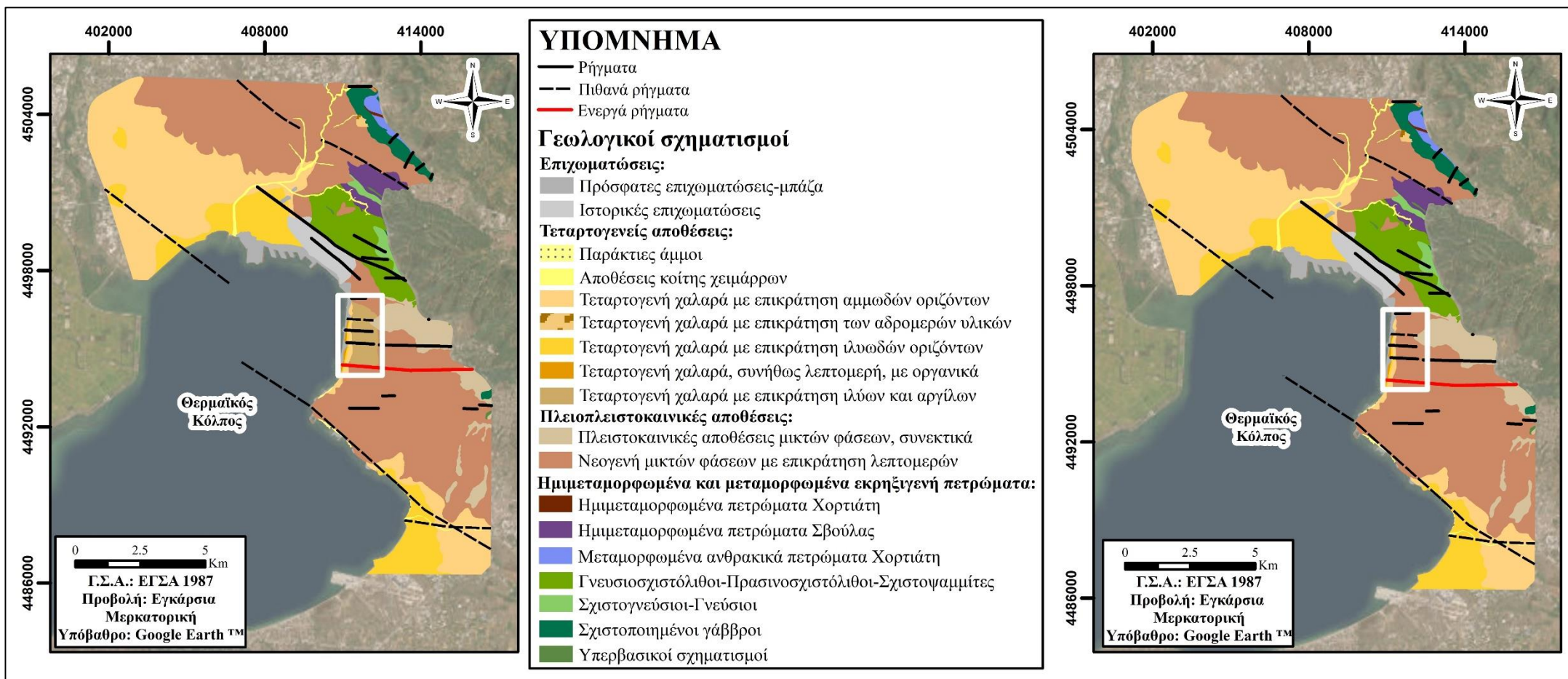
- τις γεωλογικές περιγραφές στα μητρώα των διαθέσιμων γεωτρήσεων,
- σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών.

Συνολικά, για την περιοχή έρευνας δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές ως προς την επιφανειακή εξάπλωση των εξεταζόμενων σχηματισμών. Ωστόσο, εντοπίζεται μια περιοχή, ανατολικά του ιστορικού κέντρου όπου εμφανίζονται επιφανειακά οι χαλαρές αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας με επικράτηση υλικών αργιλικής και ιλυώδους σύστασης (Σχήμα 6.16), στην οποία σύμφωνα με τον παλαιό τεχνικογεωλογικό χάρτη, εντοπίζονταν οι μικτές αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας με επικράτηση των λεπτομερών υλικών. Αυτή εκτείνεται μεταξύ των Λεωφόρων Βασιλίσσης Όλγας και Κωνσταντίνου Καραμανλή και από την περιοχή του «Makedonia Palace» έως το Μέγαρο Μουσικής Θεσσαλονίκης καταλαμβάνοντας μια σημαντική έκταση περί τα 2.11 km².

Συνοπτικά, τα βασικά ευρήματα και οι αναθεωρήσεις του τεχνικογεωλογικού χάρτη της Θεσσαλονίκης από την πρώτη φορά που δημοσιεύτηκε, περιγράφονται ως εξής:

- επαναπροσδιορισμός των ορίων των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας
- αναθεώρηση της στρωματογραφικής ακολουθίας στη συγκεκριμένη περιοχή
- επικαιροποίηση των γεωλογικών περιγραφών που περιλαμβάνονται στο υπόμνημα του τεχνικογεωλογικού χάρτη

Έτσι, μέσω αυτής της διαδικασίας επιτυγχάνεται η βελτίωση της αξιοπιστίας του τεχνικογεωλογικού χάρτη μετά και την ενσωμάτωση του τεράστιου όγκου νέων πληροφοριών που έχουν συσσωρευτεί τις τελευταίες δεκαετίες.



Σχήμα 6.16: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης (αριστερά). Στο πλαίσιο σημειώνεται η επιφανειακή εμφάνιση των Τεταρτογενών αποθέσεων με επικράτηση ιλύων και αργίλων, η οποία απουσιάζει από τον τεχνικογεωλογικό χάρτη (δεξιά), κλίμακας 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε. (τροποποιημένο από Ρόζος et al., 1998)

6.5 Διαγράμματα κατανομής ιδιοτήτων ανά τεχνικογεωλογική ενότητα

Για τη δημιουργία των διαγραμμάτων κατανομής των παραμέτρων με το βάθος και των στατιστικών κατανομών ποσοστιαίας συμμετοχής, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών που αναφέρονται στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1. Ωστόσο, τα διαγράμματα που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων με κόσκινα καθώς και τη διακύμανση των τιμών υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους παρουσιάστηκαν εκτενώς στα υποκεφάλαια 5.3.2 και 5.4.3 αντίστοιχα.

Οι προς αξιολόγηση εξεταζόμενες παράμετροι, επιλέχθηκαν αφενός λόγω της διαθεσιμότητας των δεδομένων κι αφετέρου για τις άμεσες υδρογεωλογικές και τεχνικογεωλογικές πληροφορίες που εξάγονται και δικαιολογούν τη φυσική και μηχανική συμπεριφορά των εδαφικών σχηματισμών. Ωστόσο, για λόγους ευκολίας στην ανάγνωση, εδώ παρουσιάζονται επιλεκτικά τυπικά παραδείγματα διαγραμμάτων. Οι υπόλοιπες κατανομές παρουσιάζονται εκτενώς στο Παράρτημα ΙΙΙ.

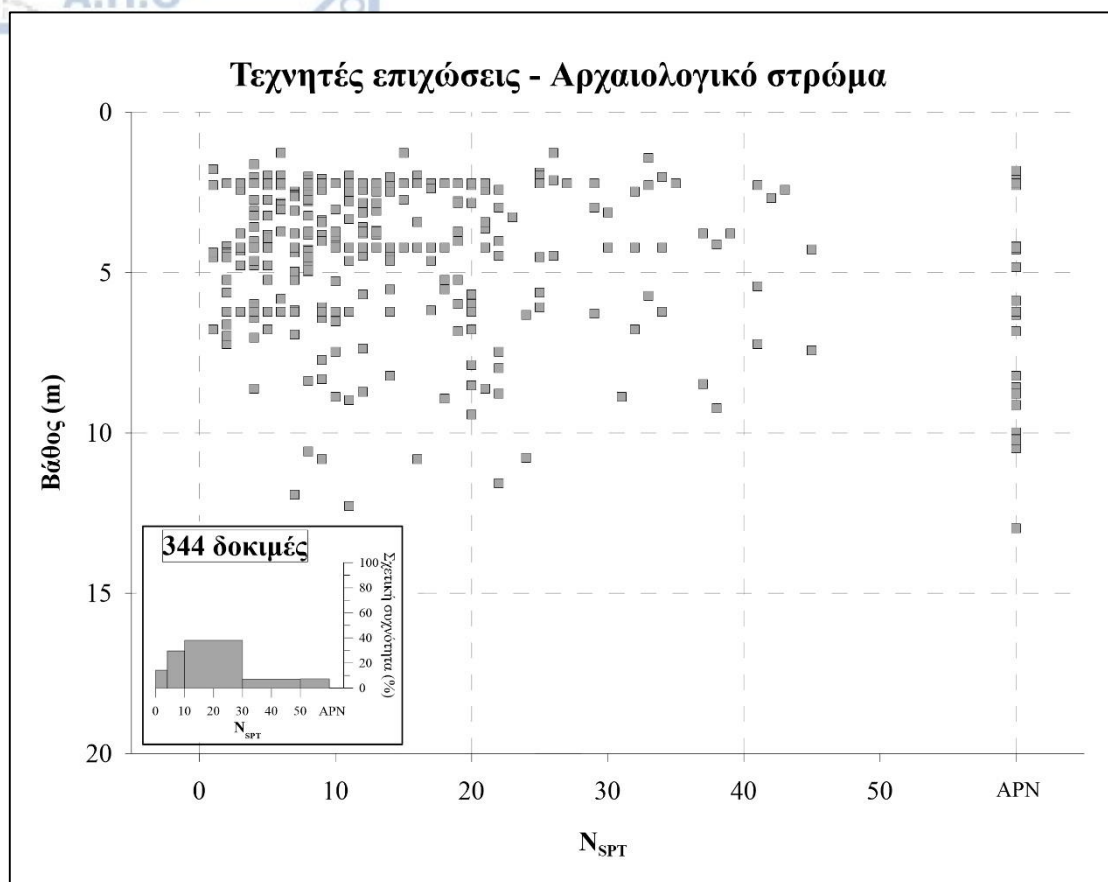
Συνολικά, τα διαγράμματα κατανομής και οι στατιστικές κατανομές δημιουργούνται για καθεμία από τις εξεταζόμενες τεχνικογεωλογικές ενότητες, με λεπτομέρεια τόσο ως προς την κατανομή των ιδιοτήτων τους στο βάθος, όσο κι ως προς την κατηγορία γεωυλικού. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, τα γεωυλικά κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε λεπτόκοκκα και αδρόκοκκα, παρέχοντας πιο λεπτομερή εικόνα ως προς τις τεχνικογεωλογικές ιδιότητές τους, εστιάζοντας στις διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται σ' αυτές τις δύο κατηγορίες. Η ομαδοποίηση αυτών των σχηματισμών με βάση την κοκκομετρία και το επικρατέστερο υλικό παρουσιάζεται αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 5.3.1.

6.5.1 Τεχνητές Επιχώσεις

Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης - SPT

Στο σχήμα 6.17 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις τεχνητές επιχώσεις. Οι τιμές που προβάλλονται αντιστοιχούν σε 344 δοκιμές με την πλειονότητα αυτών να έχει διεξαχθεί στα πρώτα 7 m. Από το σύνολο των μετρήσεων, το 85% αντιστοιχεί σ' ένα εύρος τιμών $N_{SPT} = 0-30$. Συγκεκριμένα, το 46% περιορίζεται σε τιμές $N_{SPT} = 0-10$ χαρακτηρίζοντας έτσι το σχηματισμό ως πολύ χαλαρό έως χαλαρό στα αδρόκοκκα υλικά και πολύ μαλακό έως μαλακό ή/και σταθερό στα λεπτόκοκκα. Το υπόλοιπο 39% παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερες τιμές $N_{SPT} = 10-30$ οι οποίες προσδίδουν ένα χαλαρό έως μέτρια πυκνό για τις αδρόκοκκες αποθέσεις και στιφρό έως πολύ στιφρό χαρακτήρα για τις λεπτόκοκκες. Τιμές μεγαλύτερες του 30 καθώς και αρνήσεις εμφανίζονται σε μικρότερο ποσοστό και σε διάφορα βάθη. Αυτές οφείλονται σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός των τεχνητών επιχώσεων με έντονη παρουσία τούβλων και κεραμικών, τεμαχών γνευσιακής και

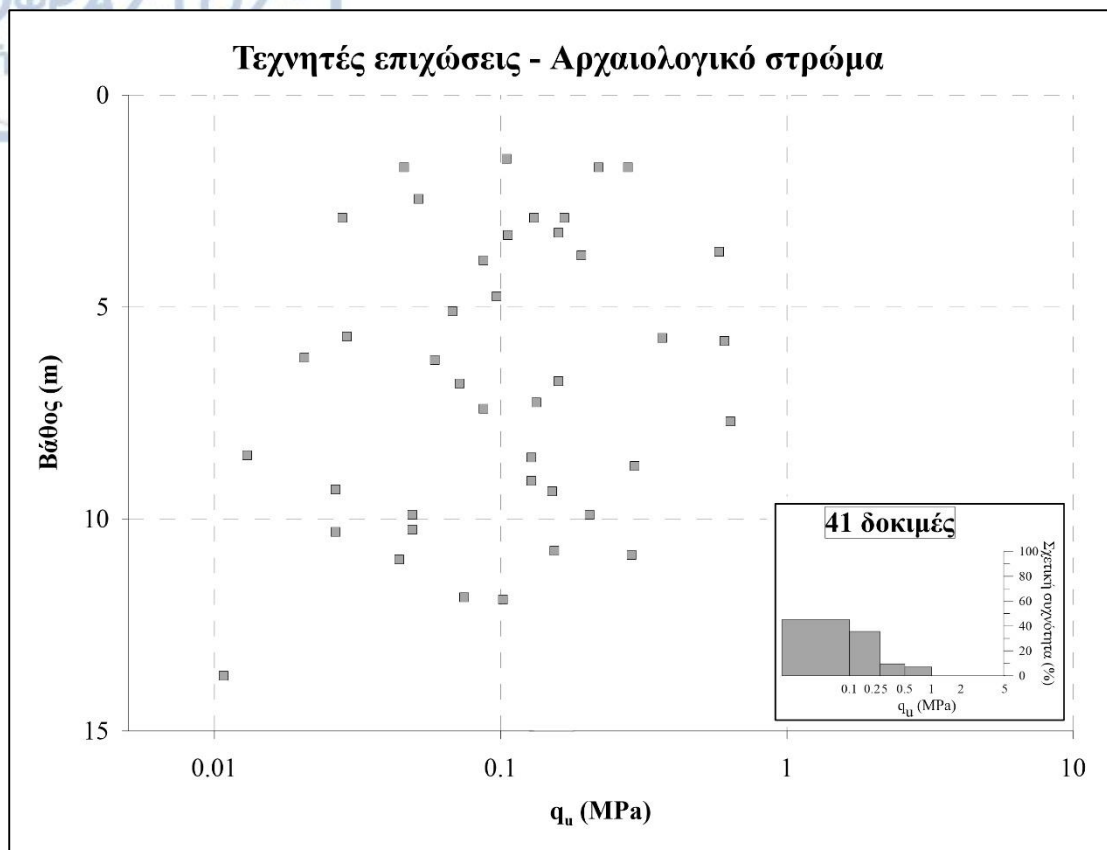
χαλαζιακής σύστασης, κροκαλών ασβεστολιθικής προέλευσης ή σε πολύ στιφρές σχιστολιθικές αποσαθρώσεις αμμοαργιλόδους σύστασης.



Σχήμα 6.17: Διάγραμμα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδυσης (N_{SPT}) για τις τεχνητές επιχώσεις

Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη - q_u

Από το σχήμα 6.18 και την αξιολόγηση του διαγράμματος της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη για τις τεχνητές επιχώσεις, προκύπτει ότι οι τιμές είναι στην πλειονότητά τους (83%) χαμηλές έως πολύ χαμηλές ($q_u < 0.25$ MPa) προσδίδοντας στα υλικά αυτά πολύ μικρές αντοχές. Πιο συγκεκριμένα, το 46% αντιστοιχεί σε πολύ χαμηλές τιμές $q_u < 0,1$ MPa, ενώ το υπόλοιπο 37% περιορίζεται σε τιμές $q_u = 0.1-0.25$ MPa. Τα αποτελέσματα των δοκιμών που προβάλλονται στο διάγραμμα, δεν παρουσιάζουν κάποια σαφή τάση ως προς την κατανομή τους με το βάθος καθώς οι τιμές είναι διάσπαρτες.



Σχήμα 6.18: Διάγραμμα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) για τις τεχνητές επιχώσεις

Περιεχόμενη υγρασία - w

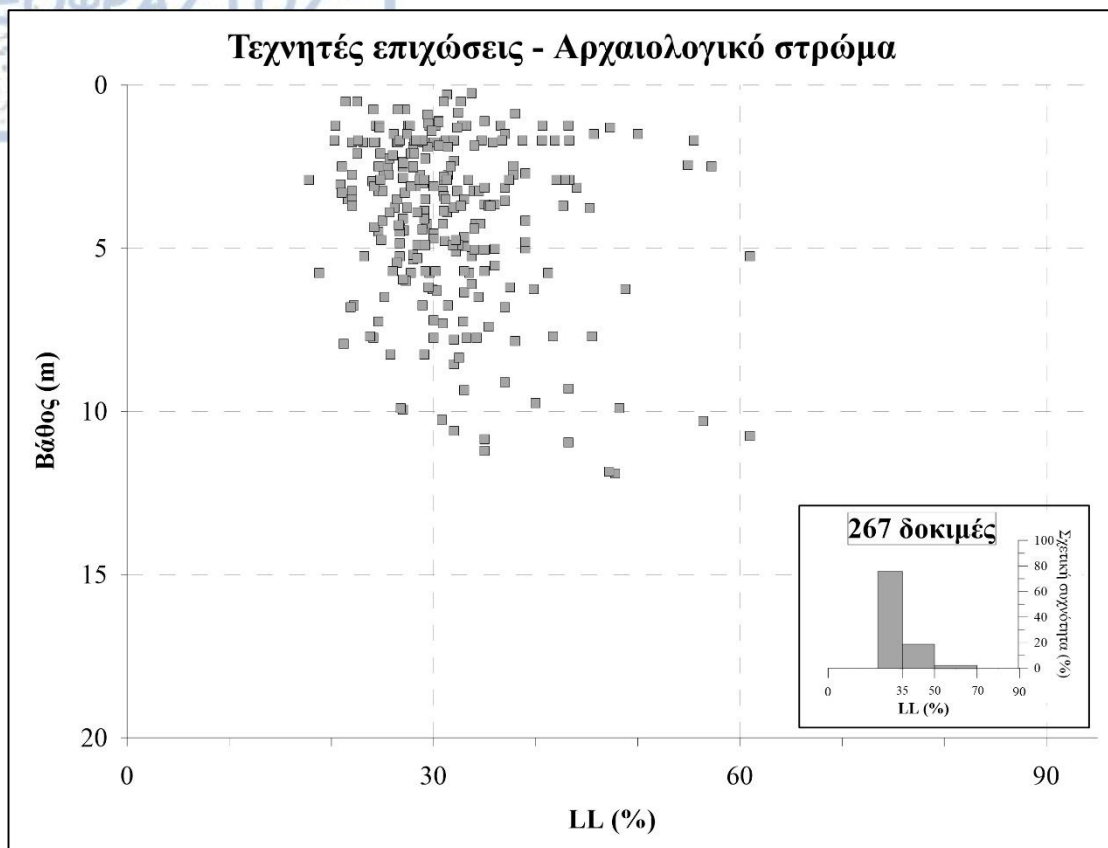
Η κατανομή των τιμών της περιεχόμενης υγρασίας για τις τεχνητές επιχώσεις παρουσιάζεται στο σχήμα 6.19. Οι τιμές που προβάλλονται αντιστοιχούν σε αποτελέσματα 233 δοκιμών. Από το σύνολο των μετρήσεων, το 98% αντιστοιχεί σε τιμές $w < 40\%$. Συγκεκριμένα, το 18% περιορίζεται σε τιμές $w < 10\%$, το 48% αντιστοιχεί σε τιμές $10 \leq w < 20$ και το υπόλοιπο 32% παρουσιάζει τιμές $20 \leq w < 40$. Τιμές μεγαλύτερες του 40% εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 2% κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός τεχνητών επιχώσεων αποτελούμενων από αργιλοϊλύ τεφρομέλανου χρώματος ή ιλυώδες αμμοχάλικο, με κατά θέσεις ενστρώσεις αμμώδους ιλύος.



Σχήμα 6.19: Διάγραμμα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τις τεχνητές επιχώσεις

Όριο υδαρότητας - LL

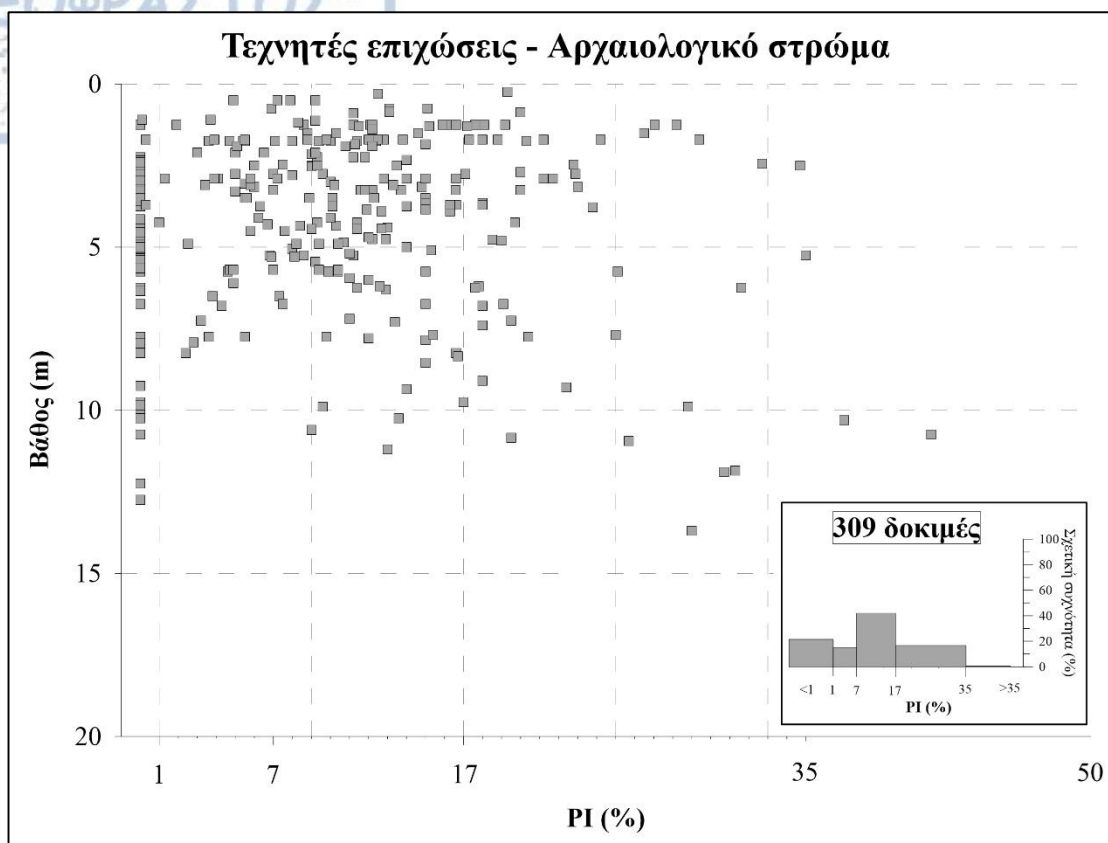
Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής τιμών LL για τις τεχνητές επιχώσεις, συνολικά εκτελέστηκαν 267 δοκιμές. Τα αποτελέσματα προβάλλονται στο σχήμα 6.20 και υποδεικνύουν την επικράτηση τιμών $LL < 35\%$ (78%). Πρόκειται για επιχώσεις που αποτελούνται κατά βάση από μαλακή-πολύ μαλακή, αμμώδη ισχνή άργιλο με χάλικες έως χαλαρή-πολύ χαλαρή, αργιλώδη άμμο με χαλίκια γνευσίου και χαλαζία οι οποίες χαρακτηρίζονται από πτωχή διαβάθμιση. Σε αισθητά μικρότερο ποσοστό (19%) συναντώνται τιμές $35\% \leq LL \leq 50\%$. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο εντός τεχνητών επιχώσεων αποτελούμενες από άργιλο έως ιλυώδη άργιλο, μέσης πλαστικότητας, στιφρή με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου, σποραδικά ασβεστιτικά συγκρίματα και οργανικά υπολείμματα. Τιμές $50\% \leq LL \leq 70\%$ παρατηρήθηκαν εντός μαλακής, ισχνής αργίλου με άμμο έως αμμώδους αργίλου, μέσης-υψηλής πλαστικότητας με λεπτά χαλίκια κατά τόπους και περιστασιακά εμφάνιση χαλικιών και λίθων γνευσίου. Συνολικά παρατηρείται σταδιακή αύξηση των τιμών LL με το βάθος, καθώς για βάθη μεγαλύτερα των 10 m εντοπίζονται τιμές $LL > 30\%$.



Σχήμα 6.20: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τις τεχνητές επιχώσεις

Δείκτης πλαστικότητας - PI

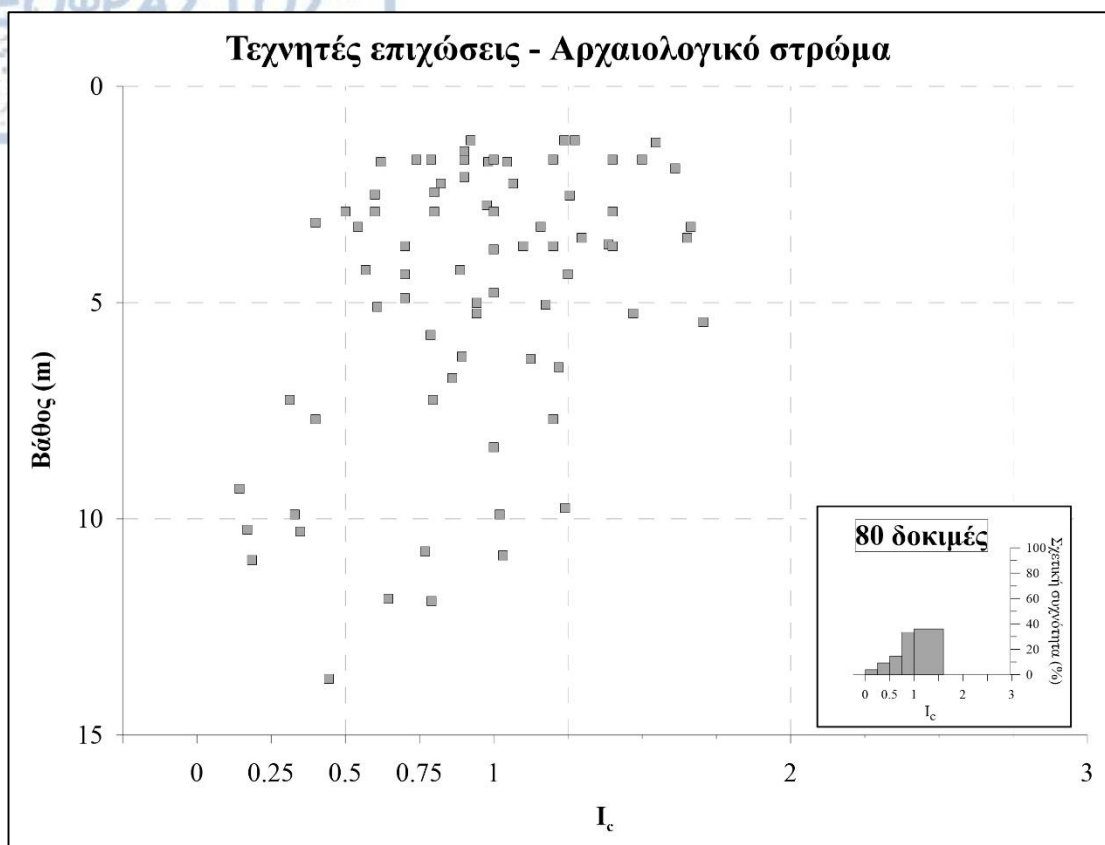
Στο σχήμα 6.21 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών PI με το βάθος για τις τεχνητές επιχώσεις. Οι τιμές που προβάλλονται αντιστοιχούν σε αποτελέσματα 309 δοκιμών. Από το σύνολο των μετρήσεων, το 81% αντιστοιχεί σε τιμές $PI < 17\%$ οι οποίες προσδιορίστηκαν από δοκιμές που έγιναν κυρίως στα πρώτα 8 m. Συγκεκριμένα, το 22% περιορίζεται σε τιμές $PI < 1\%$ χαρακτηρίζοντας έτσι το εδαφικό υλικό ως μη πλαστικό, το 16% αντιστοιχεί σε τιμές $1 \leq PI < 7$ κι εδάφη χαμηλής πλαστικότητας και το υπόλοιπο 43% παρουσιάζει τιμές $7 \leq PI \leq 17$ οι οποίες προσδίδουν μια μέση πλαστικότητα στα εδάφη. Τιμές μεγαλύτερες του 17% εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 27% κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός σταθερής, παχιάς αργίλου έως μετρίως πυκνής ιλυοαργιλώδους άμμου με χάλικες.



Σχήμα 6.21: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τις τεχνητές επιχώσεις

Δείκτης συνεκτικότητας – I_c

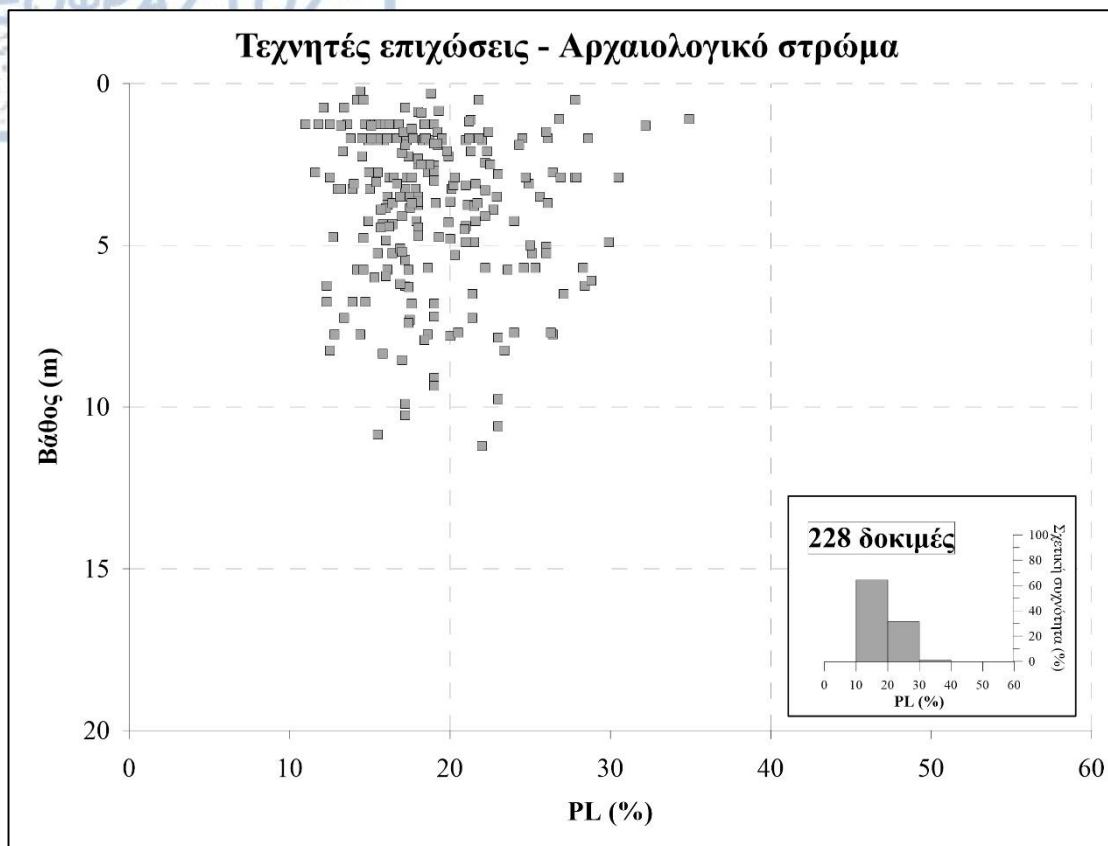
Στο σχήμα 6.22 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη συνεκτικότητας για τις τεχνητές επιχώσεις. Από την στατιστική κατανομή φαίνεται πως στην πλειονότητά τους οι τιμές (63%) είναι μικρότερες της μονάδας που σημαίνει ότι χαρακτηρίζονται ως πολύ μαλακά έως πολύ σιφρά. Παρόλα αυτά, παρατηρούνται και μεγαλύτερες τιμές σε ένα ποσοστό της τάξης του 37%, χαρακτηρίζοντας τον σχηματισμό ως σκληρό. Στα συγκεκριμένα βάθη οι δοκιμές για τον προσδιορισμό του I_c διενεργήθηκαν σε δοκίμια τα οποία αποτελούνται από αργιλώδη-χαλικώδη άμμο, χαλαρή-μέσης πυκνότητας, με χάλικες ποικίλης προέλευσης. Εμφανής είναι και η παρουσία τούβλων και φυτικών καθώς κι ασβεστιτικών συγκεντρώσεων.



Σχήμα 6.22: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για τις τεχνητές επιχώσεις

Όριο πλαστικότητας - PL

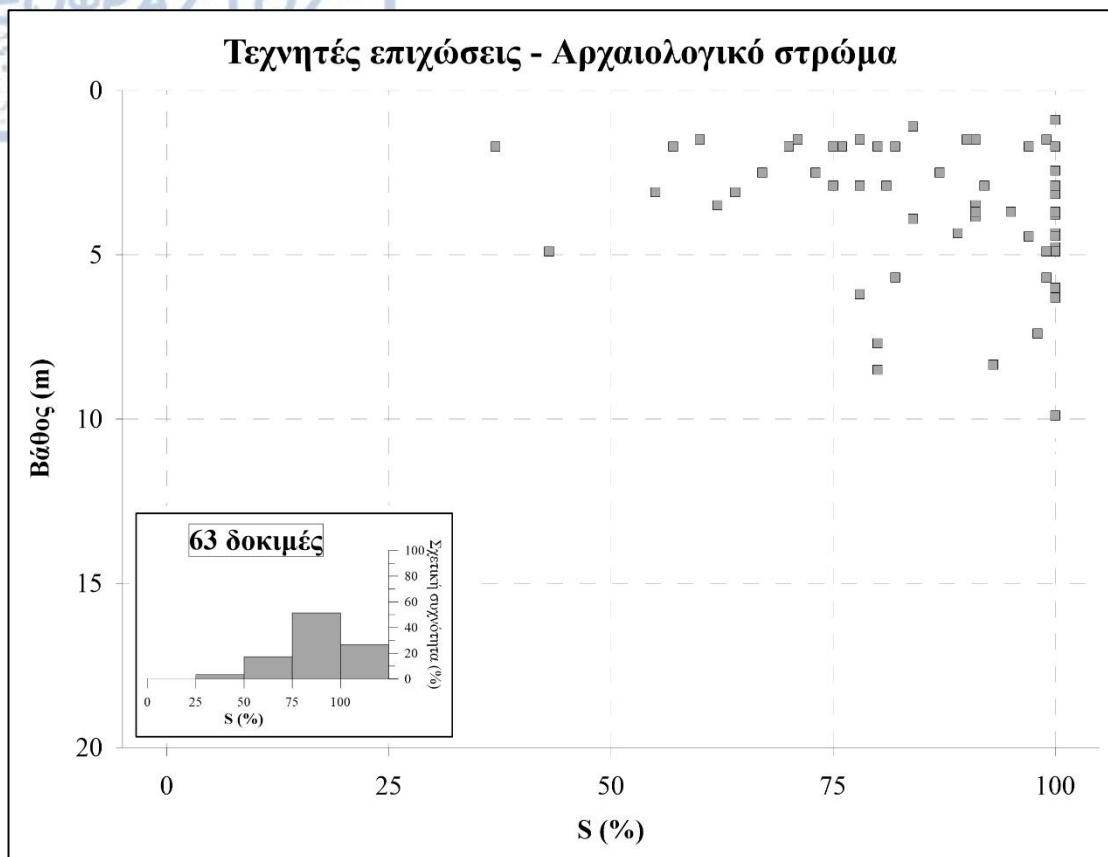
Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής τιμών PL για τις τεχνητές επιχώσεις, συνολικά εκτελέστηκαν 228 δοκιμές. Τα αποτελέσματα προβάλλονται στο σχήμα 6.23 και υποδεικνύουν την επικράτηση τιμών $10\% < PL \leq 20\%$. (66%). Πρόκειται για επιχώσεις που αποτελούνται κατά βάση από μαλακή, αμμώδη άργιλο με σποραδικούς χάλικες και με κομμάτια παλιών τούβλων έως χαλαρή, καστανή, αργιλώδη άμμο με χαλίκια. Σε μικρότερο ποσοστό (32%) συναντώνται τιμές $20\% < PL \leq 30\%$. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο εντός τεχνητών επιχώσεων αποτελούμενων από άργιλο έως ιλυώδη άργιλο, καστανού έως καστανόγκριζου χρώματος, μέσης πλαστικότητας, στιφρής με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου και σποραδική εμφάνιση ασβεστιτικών συγκριμάτων και οργανικών υπολειμμάτων.



Σχήμα 6.23: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τις τεχνητές επιχώσεις

Βαθμός κορεσμού - S

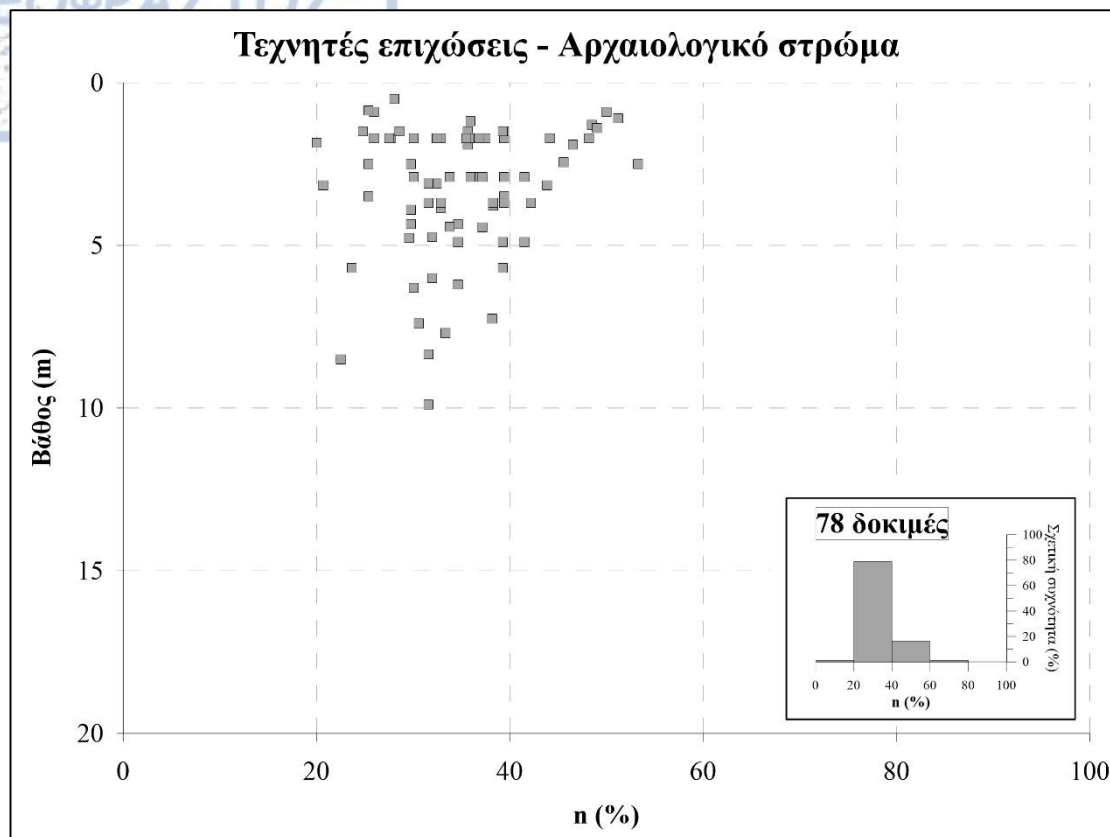
Στο σχήμα 6.24 παρουσιάζεται η κατανομή του βαθμού κορεσμού για τις τεχνητές επιχώσεις. Οι τιμές που προβάλλονται αντιστοιχούν σε αποτελέσματα 63 δοκιμών που διενεργήθηκαν στα πρώτα 10 m. Από το σύνολο των μετρήσεων, το 52% αντιστοιχεί σε τιμές $75\% \leq S < 100\%$ χαρακτηρίζοντας τους εδαφικούς σχηματισμούς ως βρεγμένους. Τιμές $S=100\%$ εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 27% κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός κορεσμένων δειγμάτων αποτελούμενων από σταθερή, παχιά άργιλο έως μετρίως πυκνή-πυκνή, ιλυοαργιλώδη άμμο με το βάθος.



Σχήμα 6.24: Διάγραμμα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τις τεχνητές επιχώσεις

Πορώδες - n

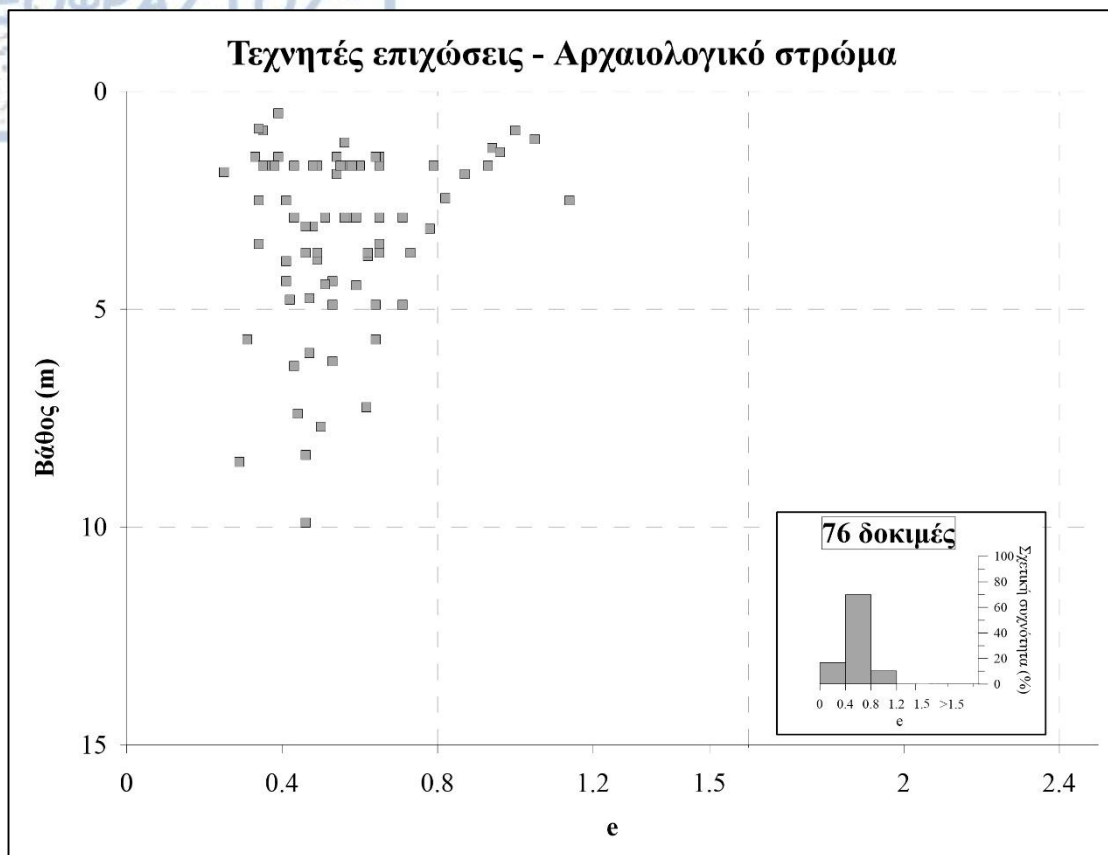
Η κατανομή των τιμών του πορώδους για τις τεχνητές επιχώσεις παρουσιάζεται στο σχήμα 6.25. Οι τιμές που προβάλλονται αντιστοιχούν σε αποτελέσματα 78 δοκιμών που διενεργήθηκαν μέχρι το βάθος των 10 m. Από αυτές, το 82% αντιστοιχεί σε τιμές $20\% \leq n < 40\%$ και το υπόλοιπο 18% περιορίζεται σε τιμές $40\% \leq n < 60\%$. Στο σύνολό τους οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο εντός πολύ μαλακής έως μαλακής, καστανής-καστανότεφρης, αμμώδους ισχνής αργίλου με κυμαινόμενο ποσοστό χαλικιών και μικροτεμάχια βράχου πρασινοσχιστολιθικής προέλευσης καθώς κι εντός αργιλώδους αμμοχάλικου, με κροκάλες ποικίλης σύστασης, τεμάχια παλίων τούβλων και ίχνη οργανικών.



Σχήμα 6.25: Διάγραμμα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τις τεχνητές επιχώσεις

Δείκτης πόρων - e

Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής τιμών e για τις τεχνητές επιχώσεις, συνολικά εκτελέστηκαν 76 δοκιμές. Τα αποτελέσματα προβάλλονται στο σχήμα 6.26 και παρουσιάζουν την επικράτηση τιμών $0.3 < e \leq 0.8$ (86%). Πρόκειται για επιχώσεις που αποτελούνται κατά βάση από αμμώδη και χαλικώδη υλικά. Σε μικρότερο ποσοστό (12%) συναντώνται τιμές $e > 0.8$. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο εντός τεχνητών επιχώσεων αποτελούμενων από αμμώδη άργιλο, καστανού χρώματος, με διάσπαρτα χαλίκια, παρουσία φυτικών ριζιδίων, ασβεστιτικών συγκριμάτων και τεμάχια από κεραμίδια.

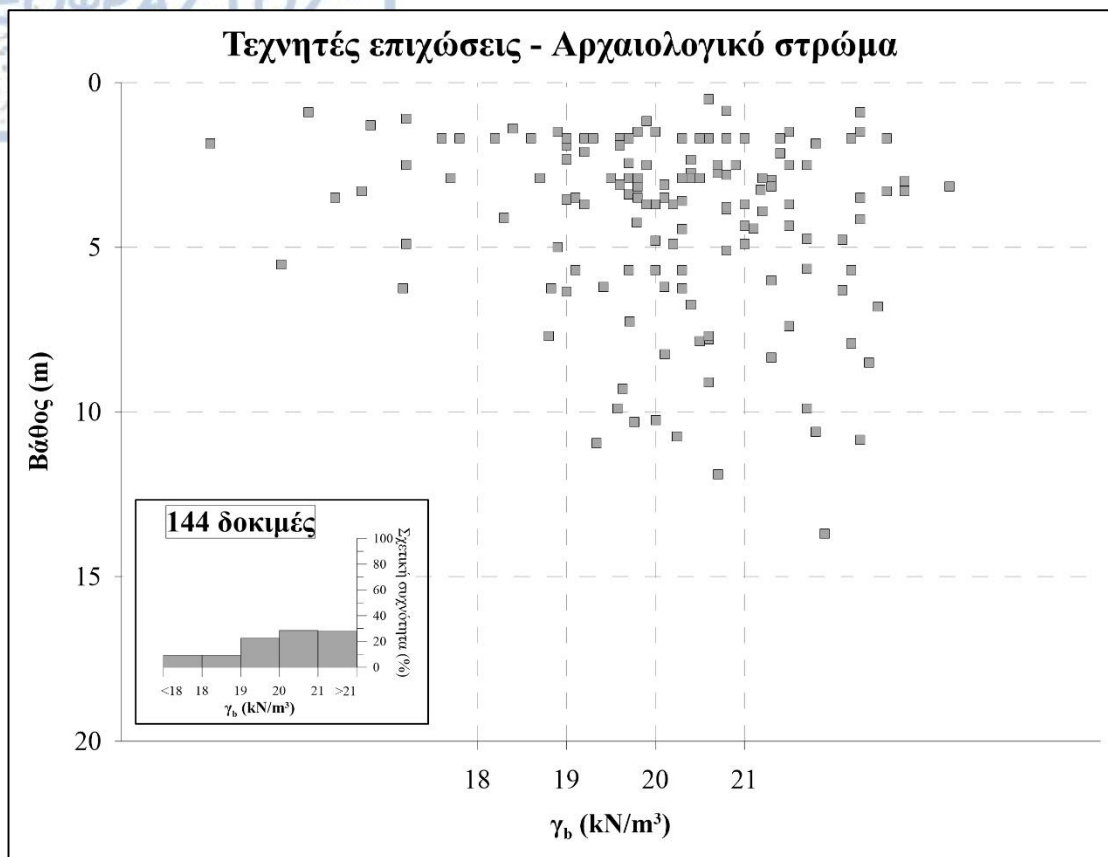


Σχήμα 6.26: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τις τεχνητές επιχώσεις

Υγρό φαινόμενο βάρος – γ_b

Η κατανομή των τιμών του υγρού φαινόμενου βάρους για τις τεχνητές επιχώσεις παρουσιάζεται στο σχήμα 6.27. Οι τιμές που προβάλλονται αντιστοιχούν σε αποτελέσματα 144 δοκιμών. Από το σύνολο των μετρήσεων, το 81% αντιστοιχεί σε τιμές $19 \leq \gamma_b \leq 23.3 \text{ kN/m}^3$. Τιμές μικρότερες του 19 kN/m^3 εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 19% κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν στα πρώτα 7.7 m. Πρόκειται για δείγματα τεχνητών επιχώσεων αποτελούμενων από:

- πολύ μαλακή έως σταθερή, αμμώδη ισχνή άργιλο με χάλικες και τούβλα, κεραμικά και ίχνη καύσης
- χαλαρούς-μετρίως πυκνούς ιλυώδεις χάλικες με άμμο χωρίς πλαστικότητα, με θραύσματα από δομικά υλικά και τεμάχια σχιστολιθικής προέλευσης
- χαλαρή-μετρίως πυκνή, ιλυοαργιλώδη άμμο με χάλικες και λατύπες, με οργανικά



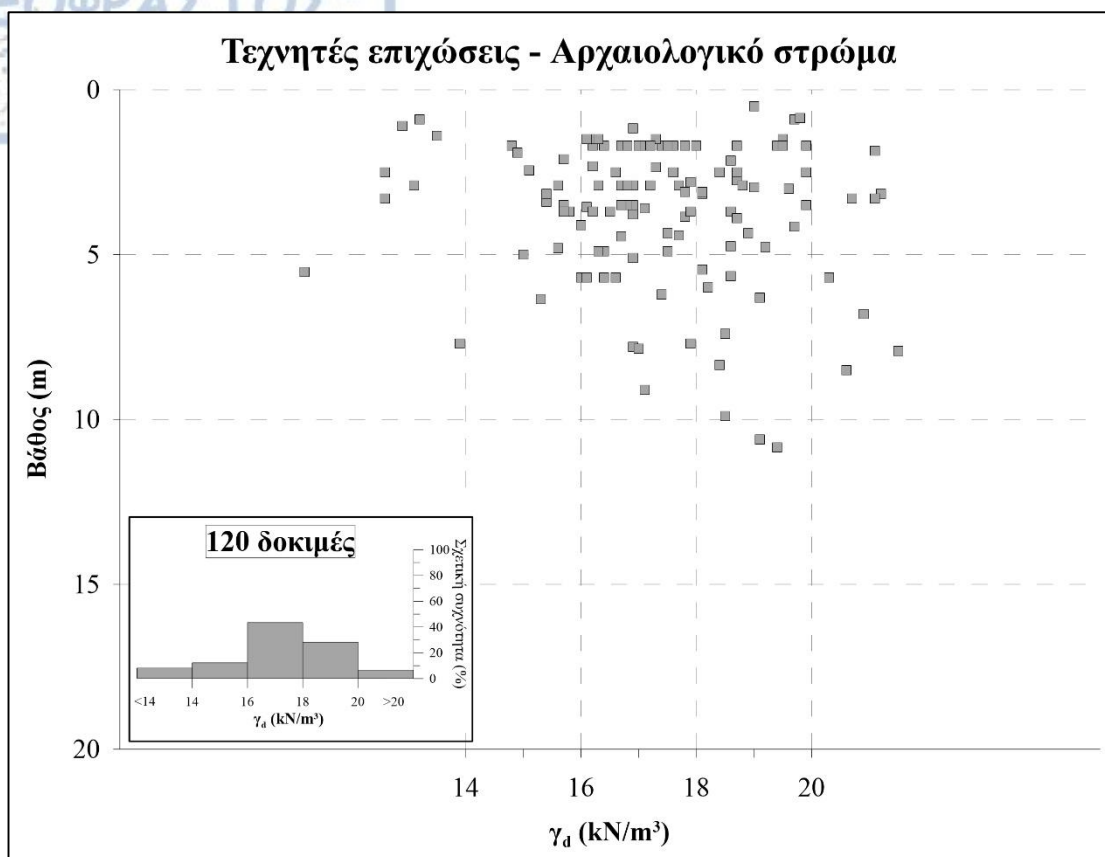
Σχήμα 6.27: Διάγραμμα κατανομής τιμών υγρού φαινομένου βάρους (γ_b) για τις τεχνητές επιχώσεις

Ξηρό φαινόμενο βάρος – γ_d

Η κατανομή των τιμών του ξηρού φαινομένου βάρους για τις τεχνητές επιχώσεις παρουσιάζεται στο σχήμα 6.28. Οι τιμές που προβάλλονται αντιστοιχούν σε αποτελέσματα 120 δοκιμών. Από το σύνολο των μετρήσεων, το 73% αντιστοιχεί σε τιμές $16 < \gamma_d \leq 20 \text{ kN/m}^3$. Τιμές $\gamma_d \leq 16 \text{ kN/m}^3$ εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 20% κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν στα πρώτα 7.5 m. Πρόκειται για δείγματα τεχνητών επιχώσεων αποτελούμενων από:

- χαλαρά υπογωνιώδη, χαλίκια γνευσίου και θραύσματα κεραμικών σε σκούρα καστανή, αμμώδη ισχνή άργιλο, μικρής έως μέσης πλαστικότητα
- χαλαρή αργιλώδη-χαλικώδη άμμο, μέσης πυκνότητας έως αργιλώδες αμμοχάλικο με παρουσία τούβλων και ασβεστιτικών συγκεντρώσεων

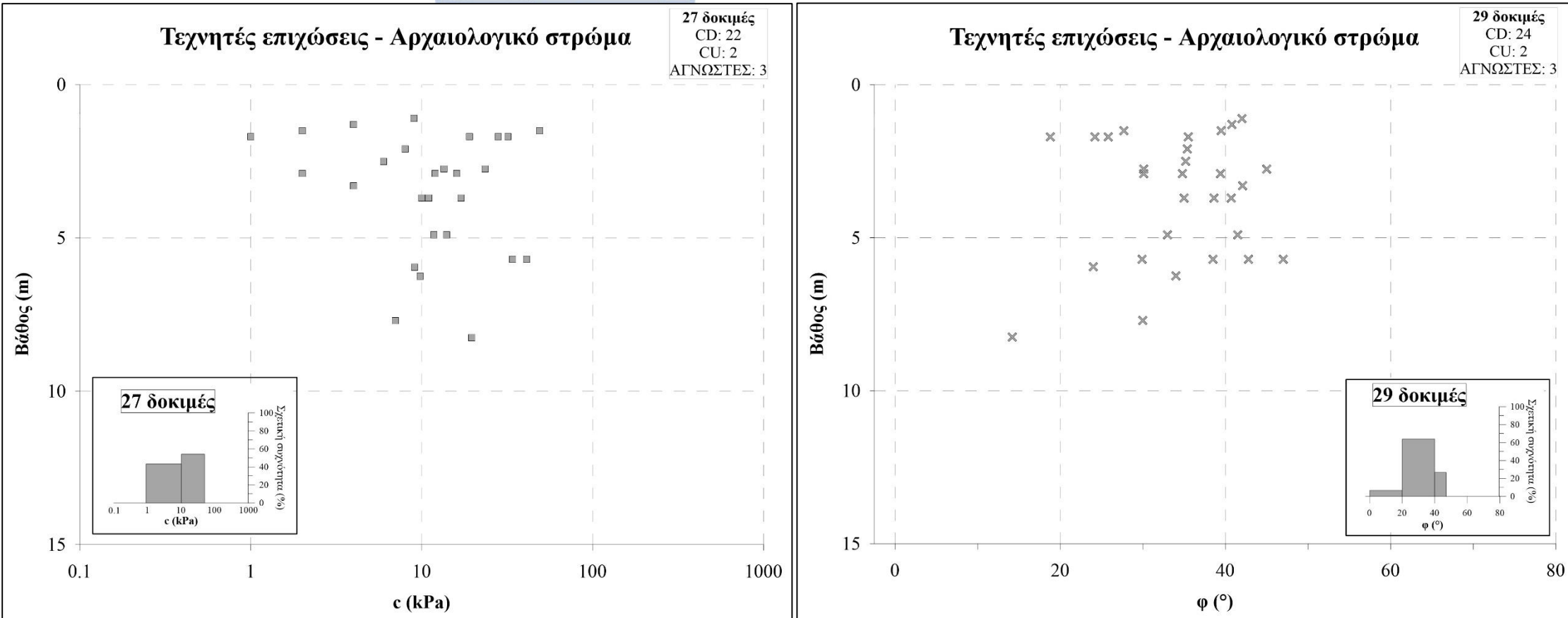
Τιμές $\gamma_d > 20 \text{ kN/m}^3$ εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 7% κι αντιστοιχούν σε δείγματα μαλακής, καστανής, αμμώδους αργίλου-ιλύος με χάλικες, με σημαντικό ποσοστό τεμαχών γνευσιακής και σχιστολιθικής προέλευσης και παρουσία κεραμικών αρχαιολογικής προέλευσης.



Σχήμα 6.28: Διάγραμμα κατανομής τιμών ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_d) για τις τεχνητές επιχώσεις

Συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής – c, φ (δοκιμή άμεσης διάτμησης)

Τα αποτελέσματα των δοκιμών άμεσης διάτμησης που διενεργήθηκαν σε εδαφικά δοκίμια, εντός των τεχνητών επιχώσεων, παρουσιάζονται στα διαγράμματα κατανομής τιμών c και φ του σχήματος 6.29. Συνολικά εκτελέστηκαν 27 δοκιμές για τον προσδιορισμό της συνοχής και 29 για τη γωνία εσωτερικής τριβής, μέχρι το βάθος των 8 m. Ο κυρίαρχος τύπος δοκιμής είναι αυτός της βραδείας δοκιμής με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου (CD). Σύμφωνα με αυτή τη δοκιμή, τα διάφορα δείγματα οδηγούνται σε θραύση αργά ώστε να είναι δυνατή η πλήρης εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων. Οι τιμές για τη γωνία εσωτερικής τριβής κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (66%), μεταξύ 20° και 40° (σχήμα 6.29β), ενώ για τη συνοχή παρατηρούνται τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 1 και 49 KPa (σχήμα 6.29α).

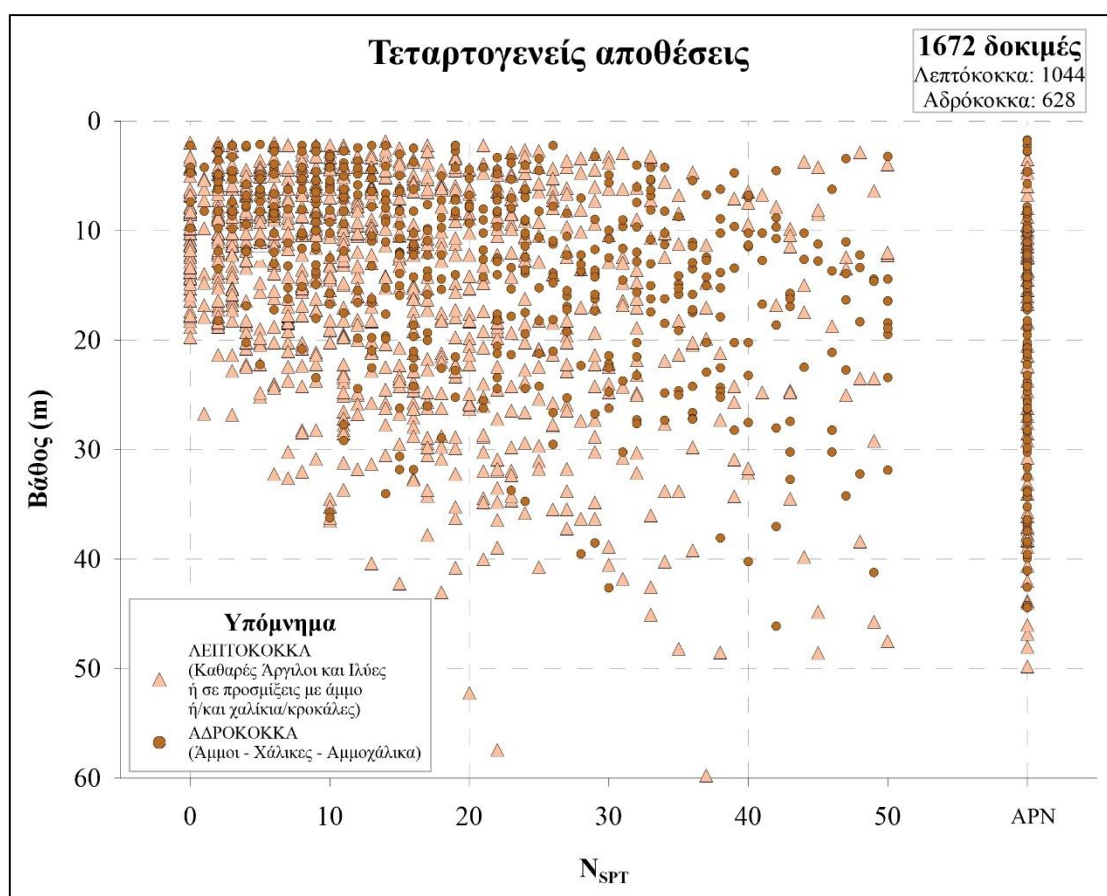


Σχήμα 6.29α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) (αριστερά) και γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) (δεξιά) για τις τεχνητές επιχώσεις

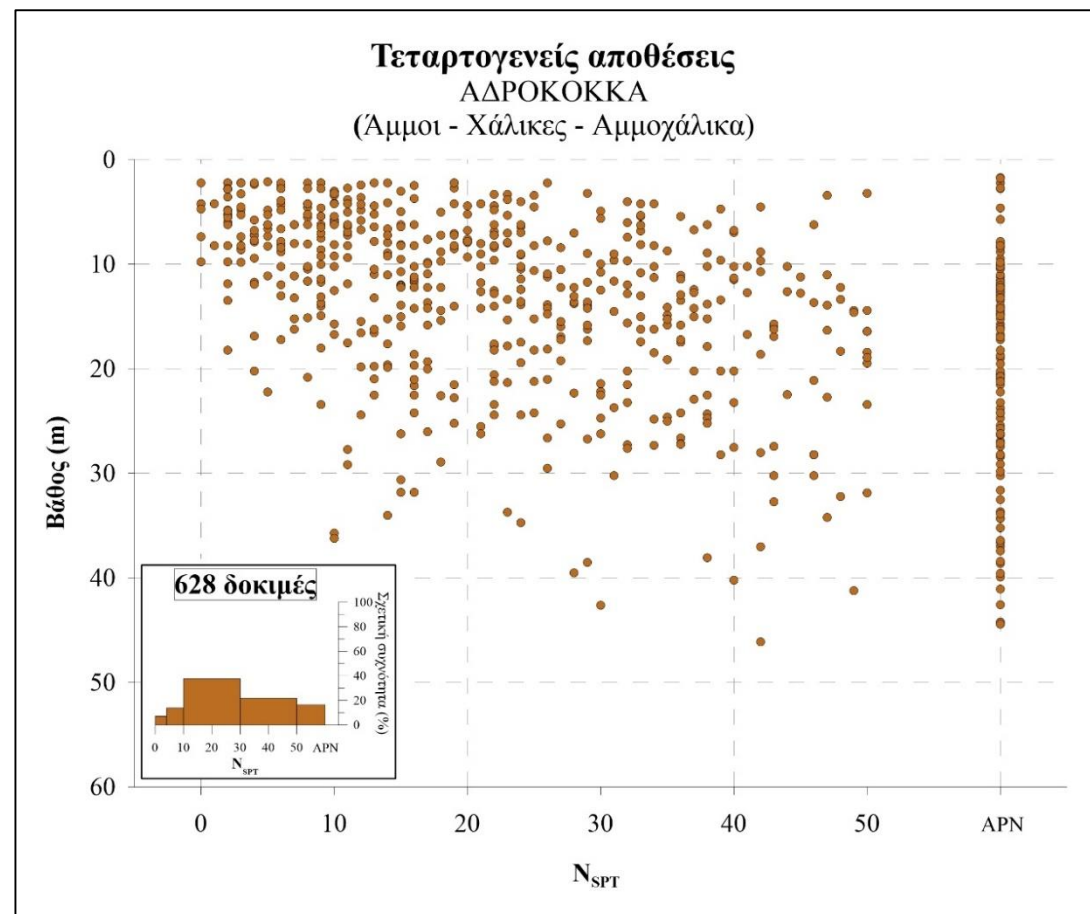
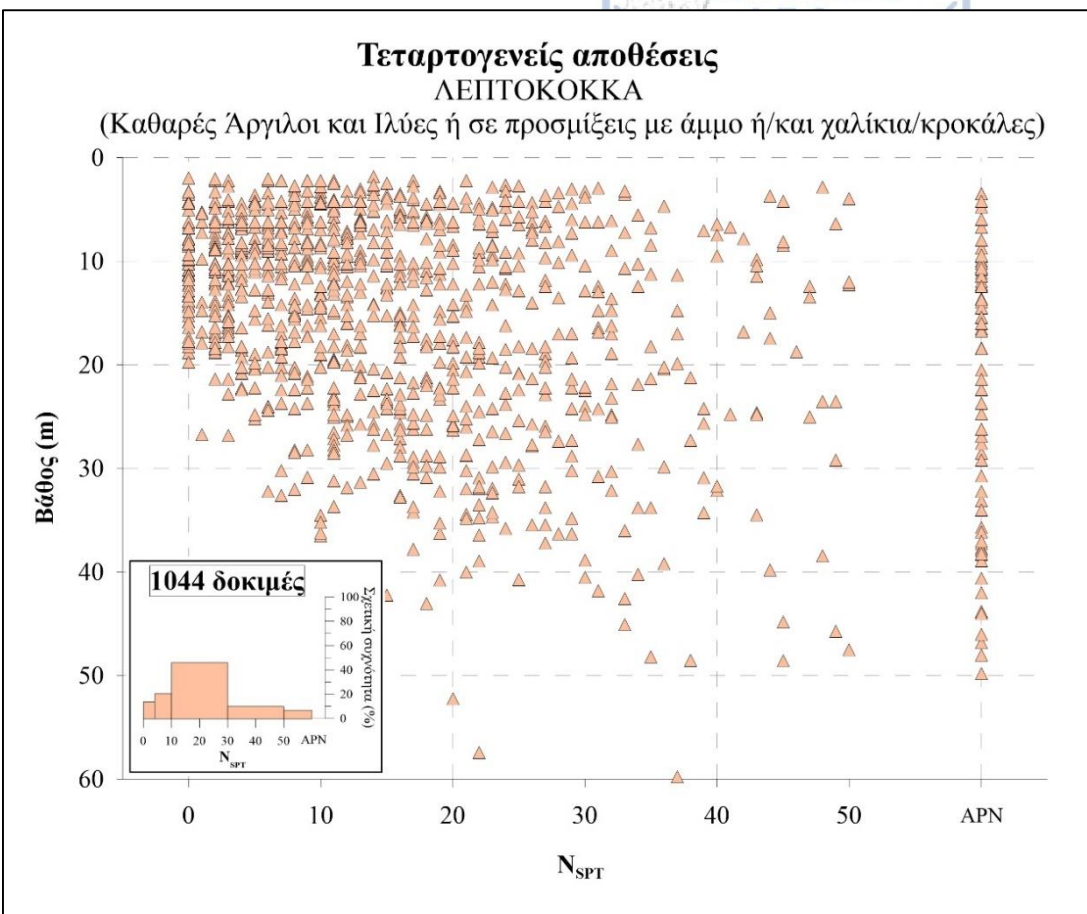
6.5.2 Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης - SPT

Στο σχήμα 6.30 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας. Συνολικά έχουν διεξαχθεί 1672 δοκιμές, εκ των οποίων οι 1044 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 628 σε αδρόκοκκα. Σ' αυτό παρατηρείται μια διασπορά ως προς την κατανομή των τιμών, οι οποίες κυμαίνονται από πολύ μικρές έως αρκετά μεγάλες. Η πλειονότητα των μετρήσεων για τα λεπτόκοκκα (47%) αντιστοιχεί σε τιμές $N_{SPT}=10-30$ οι οποίες παρουσιάζονται κατά κύριο λόγο στα πρώτα 20 m (σχήμα 6.31α). Στην περίπτωση των αδρόκοκκων υλικών παρατηρείται ένα ποσοστό της τάξης του 50% για τιμές μεγαλύτερες από 30 οι οποίες εμφανίζονται σε βάθη άνω των 10 m, προσδίδοντας ένα πυκνό έως πολύ πυκνό χαρακτήρα στο σχηματισμό των Τεταρτογενών αποθέσεων (σχήμα 6.31β). $N_{SPT} = APN$ (APNHΣΗ) παρατηρούνται τόσο στα αργιλικά όσο και στα αμμώδη υλικά και συγκεκριμένα σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός στιφρών ισχνών αργίλων με ελάχιστο ποσοστό χαλίκων και πυκνών έως πολύ πυκνών αργιλωδών-ιλυωδών άμμων με μικρό ποσοστό χαλίκων αντίστοιχα.



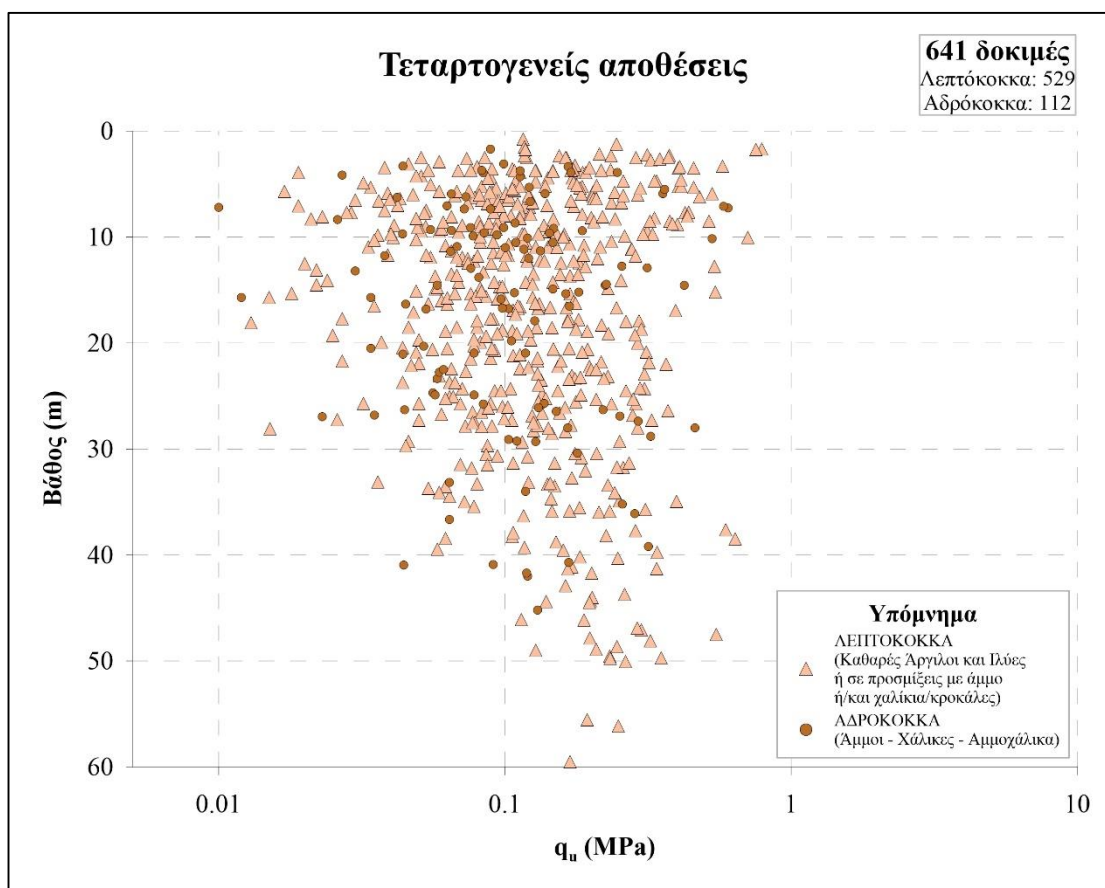
Σχήμα 6.30: Διάγραμμα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (N_{SPT}) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας



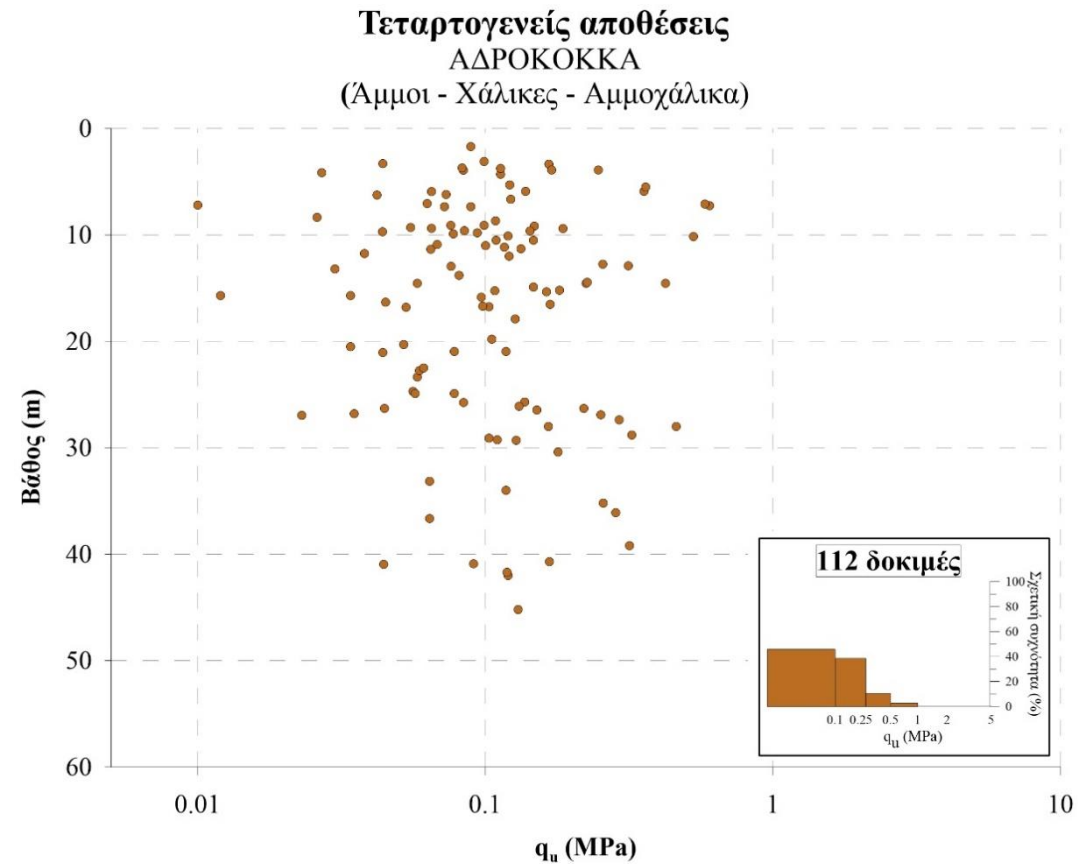
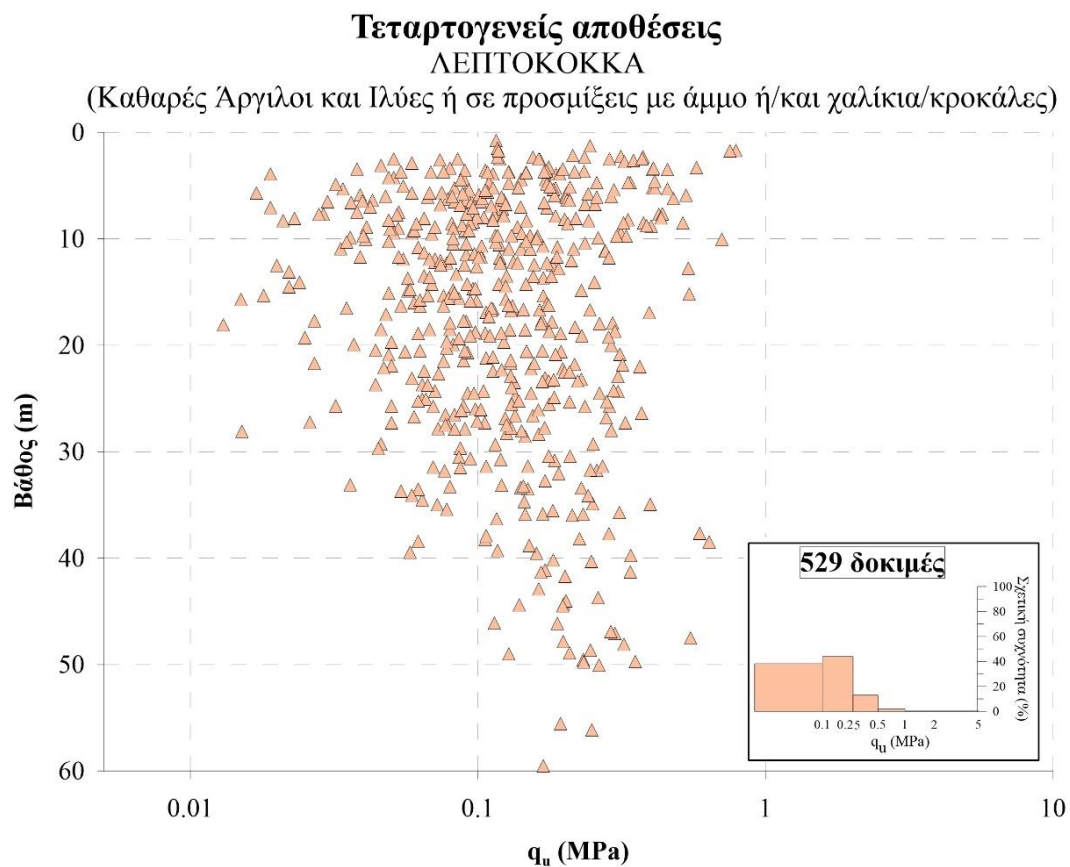
Σχήμα 6.31α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδυσης (N_{SPT}) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη - q_u

Με σκοπό τη διερεύνηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από 641 δοκιμές. Από το σχήμα 6.32 και την αξιολόγηση του διαγράμματος, προκύπτει ότι οι τιμές είναι στην πλειονότητά τους χαμηλές έως πολύ χαμηλές ($q_u < 0.25$ MPa). Πιο συγκεκριμένα, το 45% περιορίζεται σε τιμές $q_u = 0.1-0.25$ MPa, ενώ το υπόλοιπο 39% σε ακόμη μικρότερες τιμές $q_u < 0,1$ MPa για τα λεπτόκοκκα υλικά. Στην περίπτωση των αδρόκοκκων υλικών, ποσοστό της τάξης του 47% συναντάται σε τιμές $q_u < 0,1$ MPa. Τα αποτελέσματα των δοκιμών που προβάλλονται στα διαγράμματα του σχήματος 6.33α,β, παρουσιάζουν μια σαφή τάση ως προς την κατανομή τους με το βάθος. Οι τιμές αυξάνονται στα μεγαλύτερα βάθη με σαφή διαφοροποίηση στα λεπτόκοκκα υλικά και για βάθη μεγαλύτερα των 30 m. Στα αδρόκοκκα υλικά, παρατηρείται αντίστοιχη αύξηση των τιμών με το βάθος, αλλά με λιγότερη ευκρίνεια.



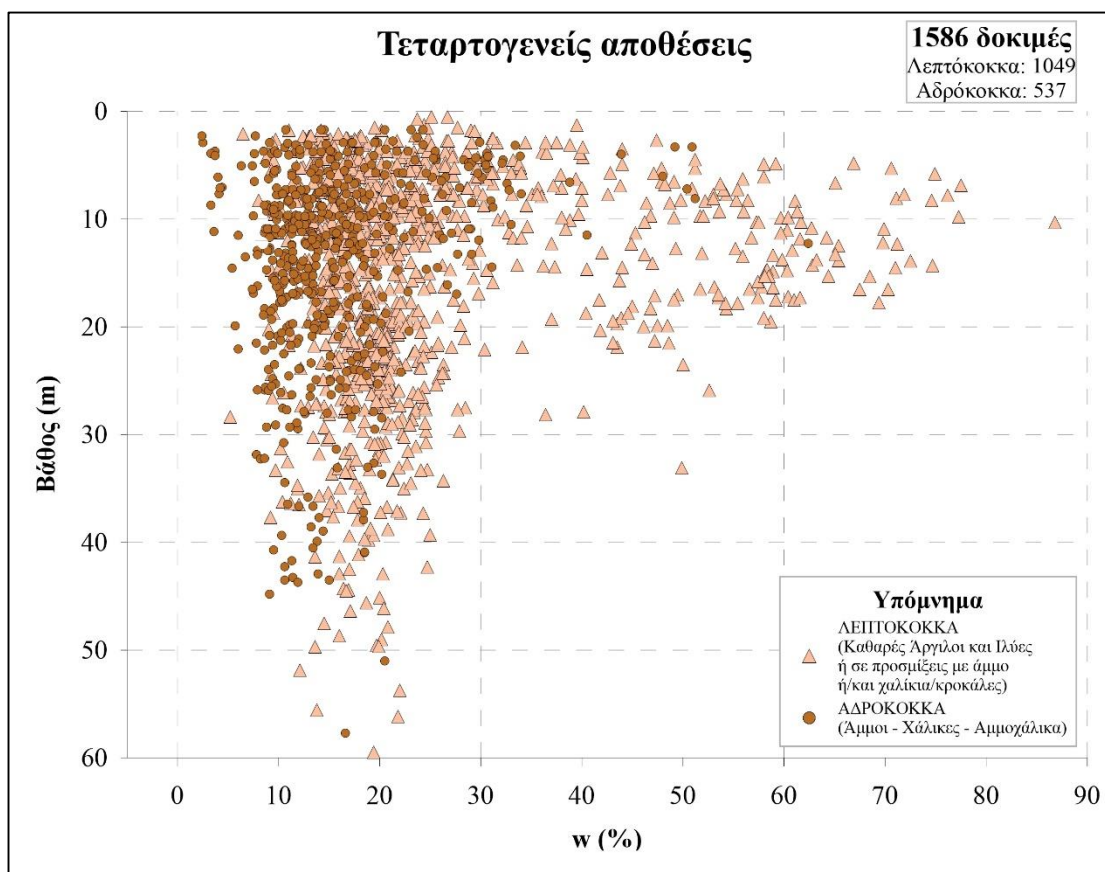
Σχήμα 6.32: Διάγραμμα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη (q_u) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας



Σχήμα 6.33α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Περιεχόμενη υγρασία - w

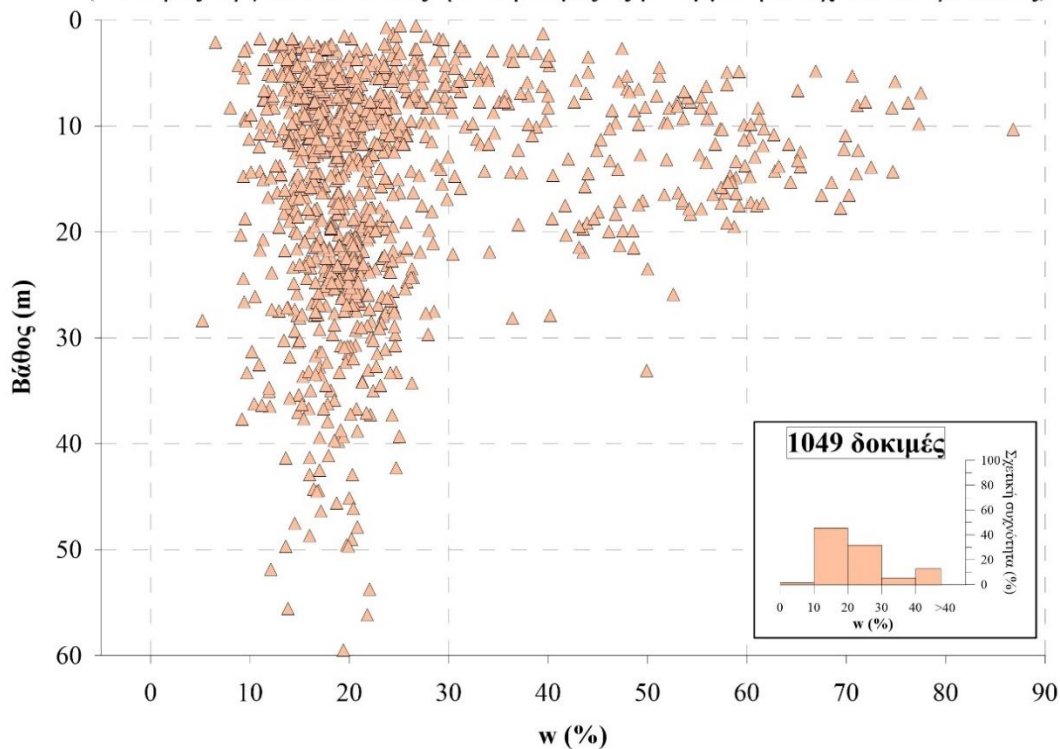
Στο σχήμα 6.34 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών της περιεχόμενης υγρασίας με το βάθος για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας. Σύμφωνα μ' αυτό, έχουν διεξαχθεί συνολικά 1586 δοκιμές, εκ των οποίων οι 1049 σε λεπτόκοκκα και οι 537 σε αδρόκοκκα. Από την αξιολόγηση του διαγράμματος, προκύπτει ότι στην πλειονότητά τους οι τιμές κυμαίνονται από 10 έως 30%. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζονται κατά βάση τιμές $w=10-20\%$ σε ποσοστό 47% για τα λεπτόκοκκα (Σχήμα 6.35α) και 63% για τα αδρόκοκκα (Σχήμα 6.35β). Τιμές μεγαλύτερες του 40% εμφανίζονται μέχρι το βάθος των 25 m σε ποσοστό της τάξης του 13%, κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός αργίλου-αργιλώδους ιλύος, μέσης-υψηλής πλαστικότητας, πολύ μαλακής, με μικρό ποσοστό άμμου και χαλίκων ή εντός αργιλοϊλυώδους, λεπτόκοκκης-μεσόκοκκης, χαλαρής άμμου. Ευδιάκριτη είναι και η παρουσία θραυσμάτων κοχυλίων και οργανικών στις συγκεκριμένες αποθέσεις.



Σχήμα 6.34: Διάγραμμα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

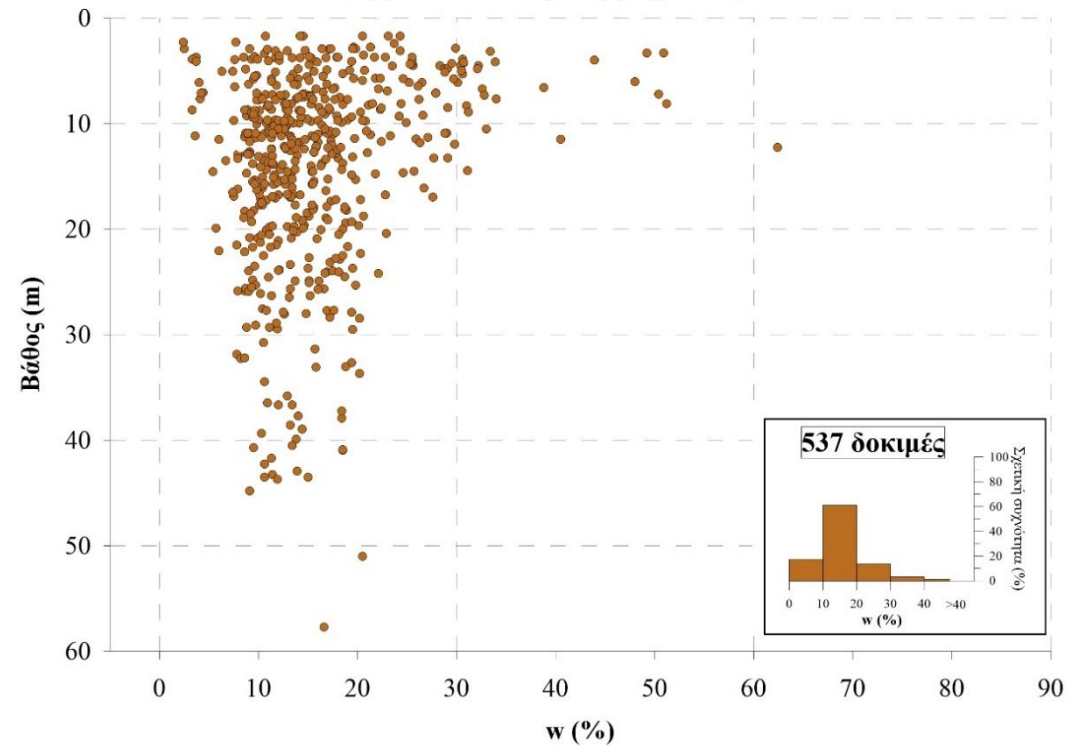
Τεταρτογενείς αποθέσεις ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Τεταρτογενείς αποθέσεις ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

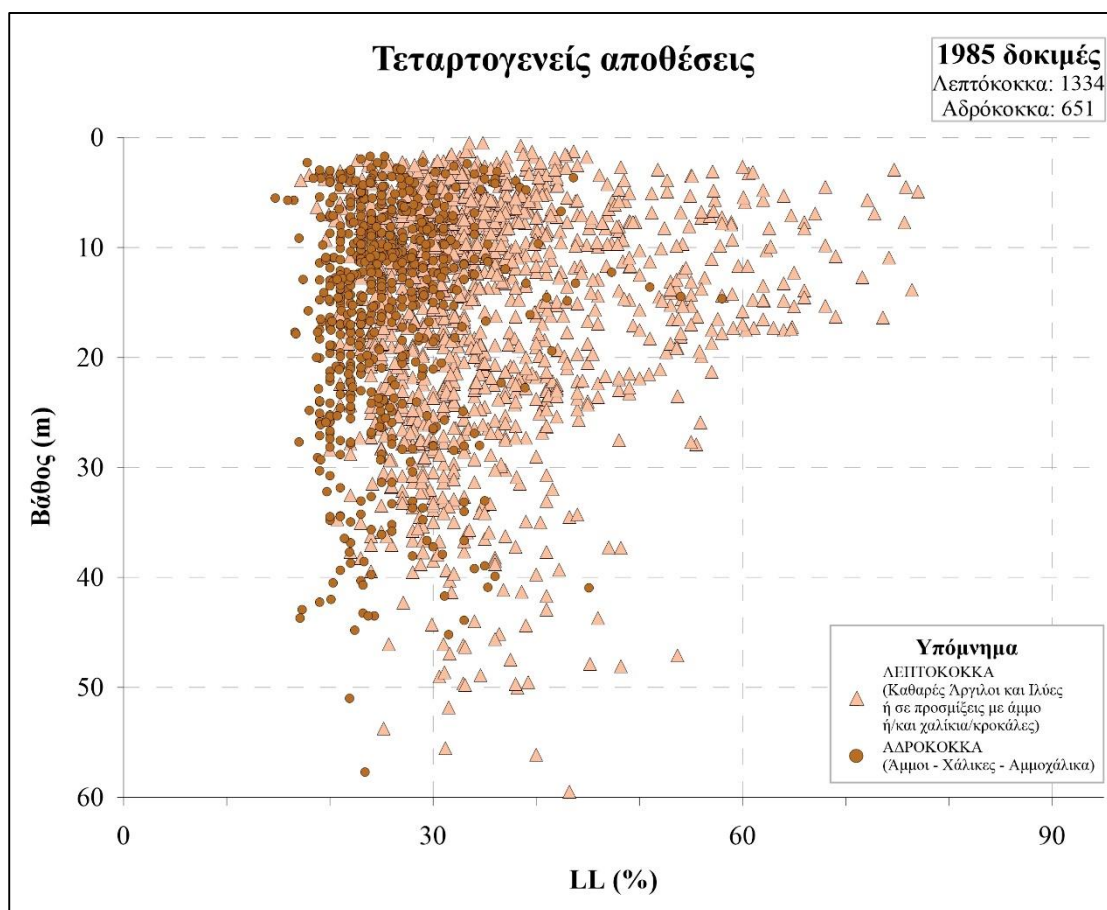
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



Σχήμα 6.35α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Όριο υδαρότητας - LL

Στο σχήμα 6.36 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών LL με το βάθος για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας. Σύμφωνα μ' αυτό, συνολικά εκτελέστηκαν 1985 δοκιμές εκ των οποίων οι 1334 στα λεπτόκοκκα και οι 651 στα αδρόκοκκα υλικά. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την επικράτηση τιμών $LL < 35\%$ σε ποσοστό 70% και 95% αντίστοιχα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στην περίπτωση των λεπτομερών υλικών συναντώνται υψηλότερες τιμές ($35\% \leq LL \leq 70\%$) στα πρώτα 20 m. Πρόκειται για αποτελέσματα δοκιμών που εκτελέστηκαν κατά βάση σε δείγματα σταθερής έως στιφρής, αμμώδους ελαστικής ιλύος, μεγάλης πλαστικότητας έως μαλακής έως αμμώδους ισχνής αργίλου, μέσης πλαστικότητας. Στα αδρόκοκκα υλικά η μέγιστη τιμή που παρατηρείται είναι $LL = 58\%$ στα 14,6 m σε δείγμα μέτριας πυκνής έως πυκνής, λεπτόκοκκης έως μεσόκοκκης ιλυώδους άμμου, μεγάλης πλαστικότητας. Σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m το εύρος τιμών περιορίζεται σημαντικά και για τις δυο περιπτώσεις. Στα λεπτόκοκκα οι τιμές εκτείνονται από 20% έως 57% και στα αδρόκοκκα από 17% έως 45% (σχήμα 6.37α.β).

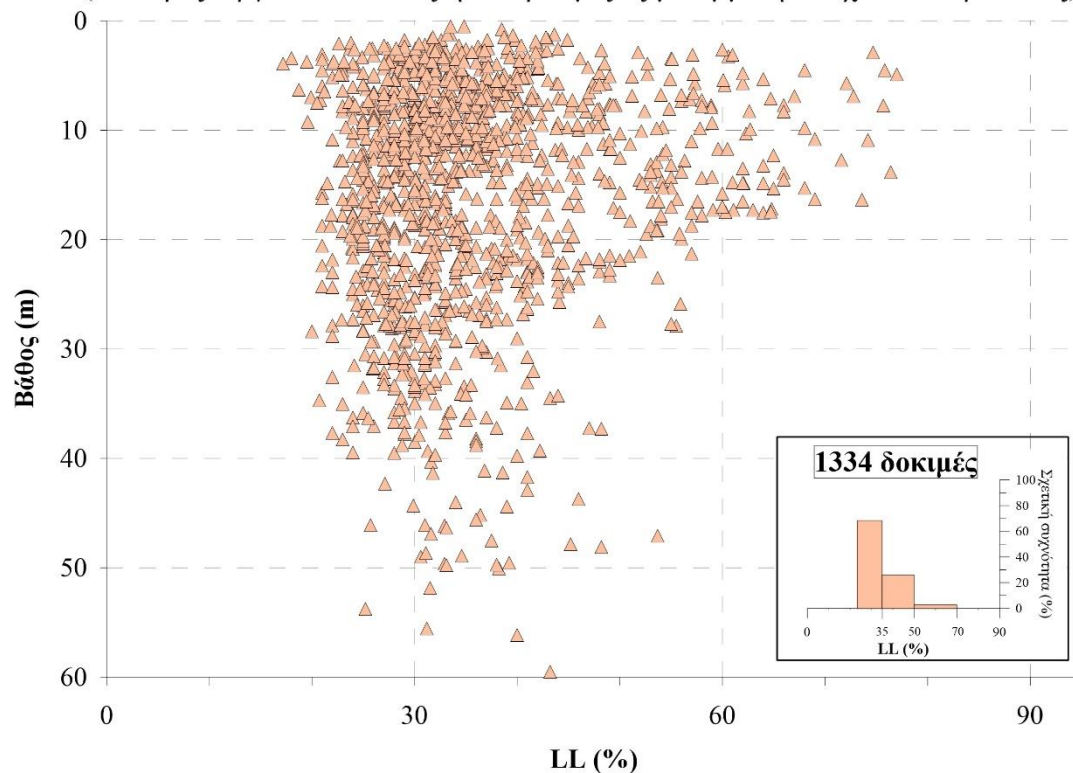


Σχήμα 6.36: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

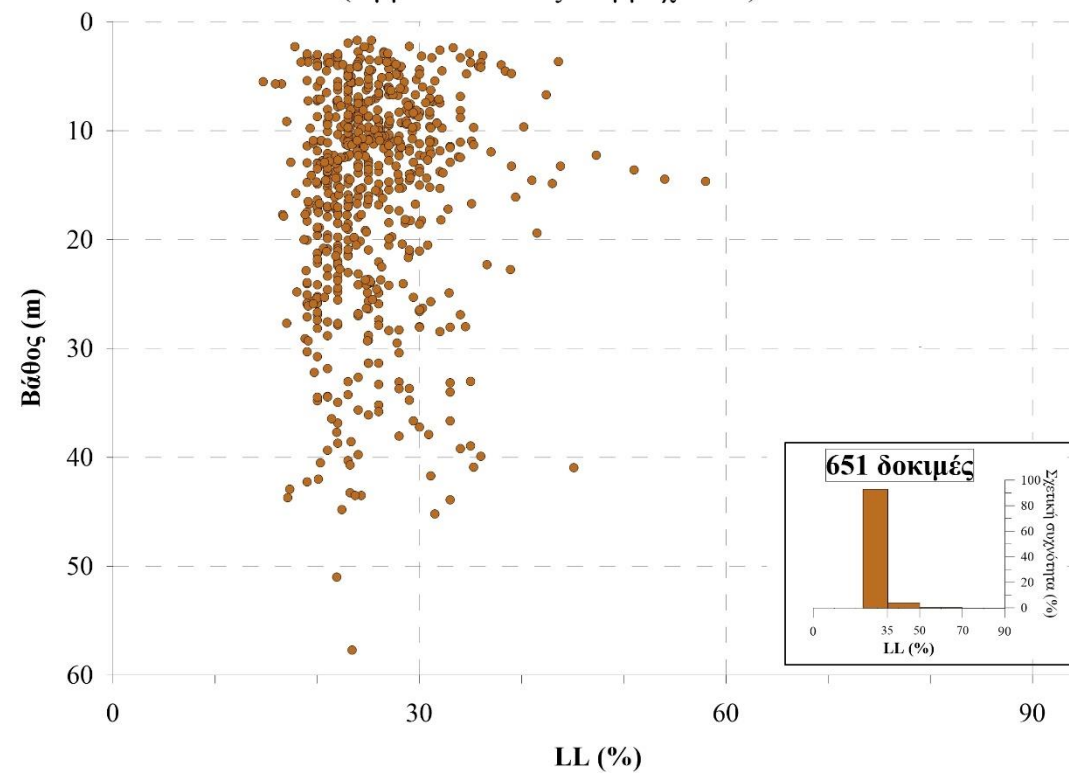
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

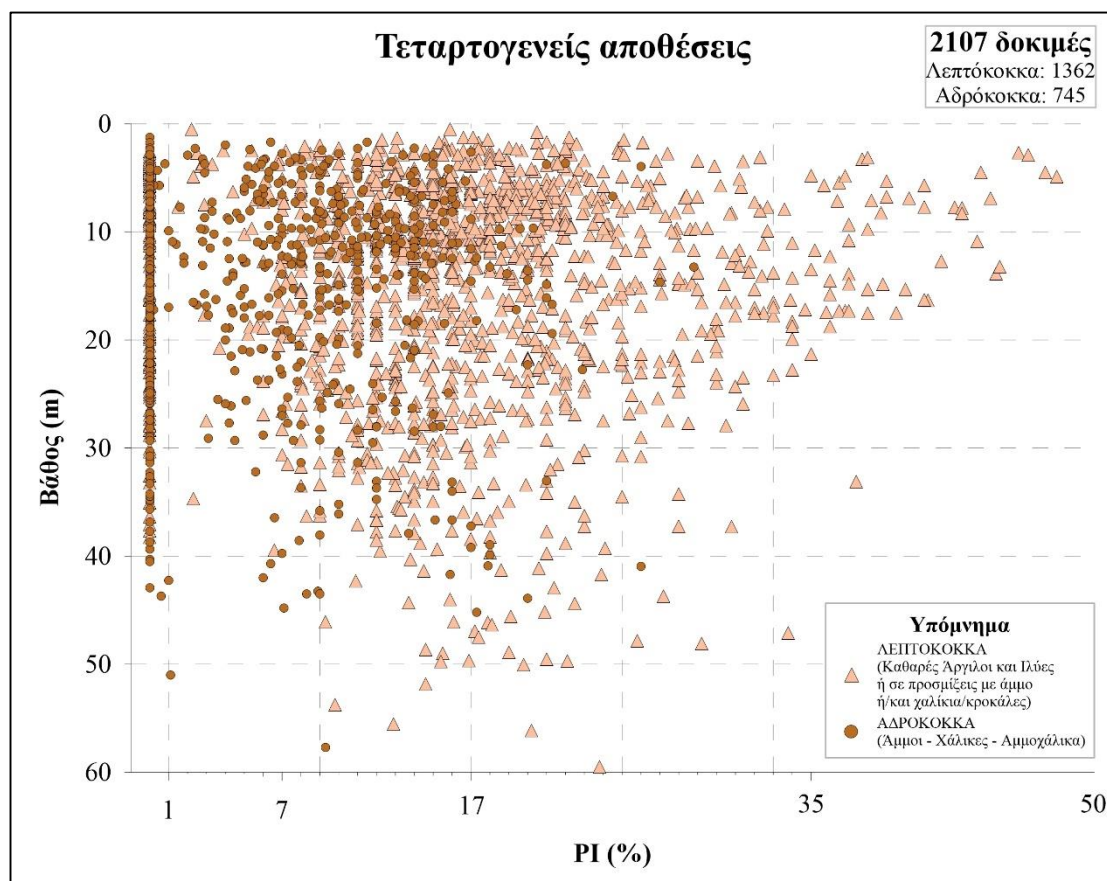
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



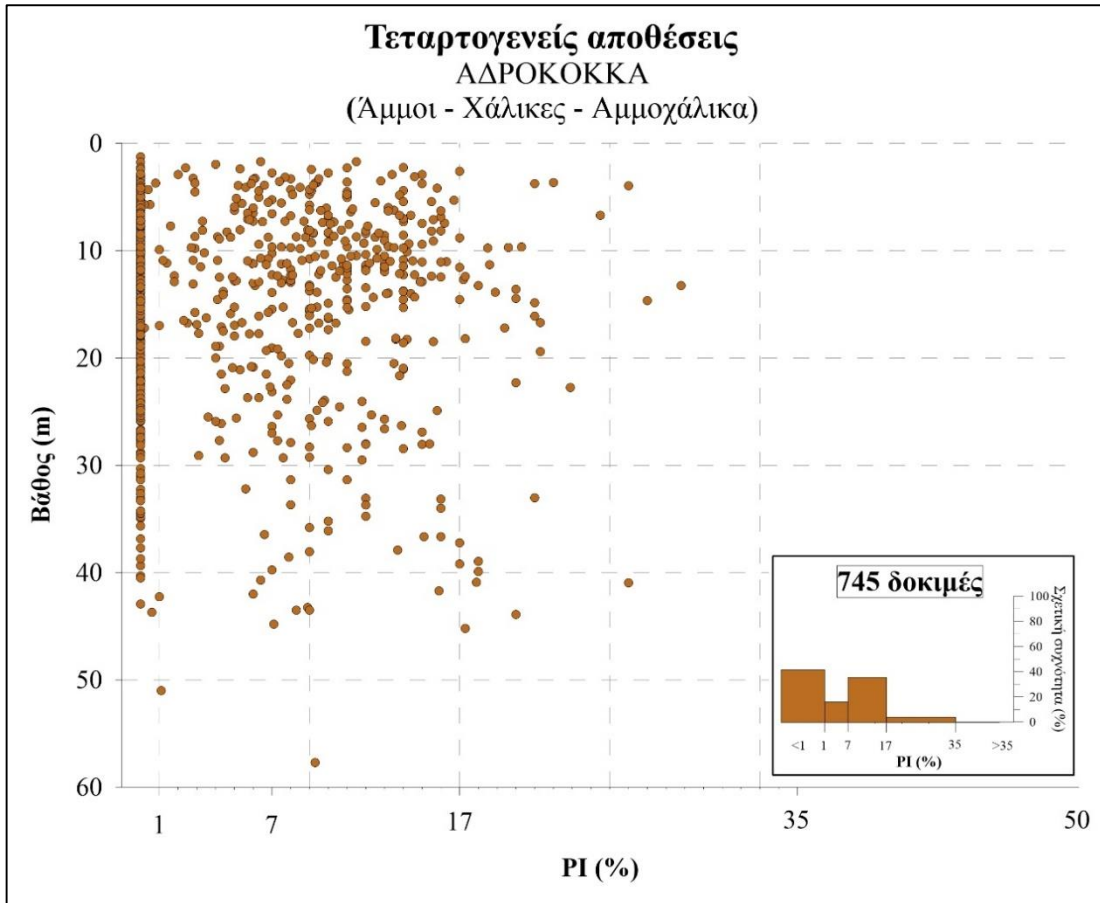
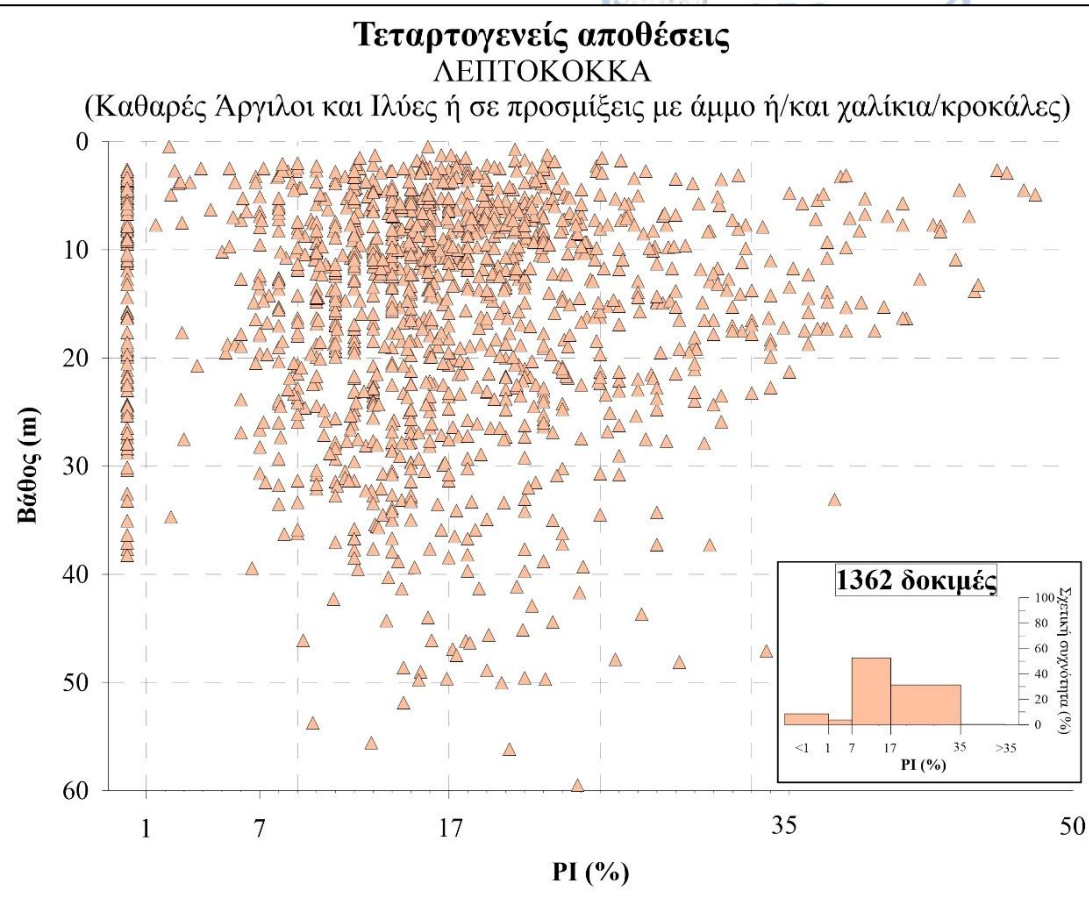
Σχήμα 6.37α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Δείκτης πλαστικότητας - PI

Τα διαθέσιμα δεδομένα του δείκτη πλαστικότητας με το βάθος για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις παρουσιάζονται στο σχήμα 6.38. Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής τιμών PI, εκτελέστηκαν συνολικά 2107 δοκιμές, εκ των οποίων οι 1362 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 745 σε αδρόκοκκα. Σε ότι αφορά στο λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών (σχήμα 6.39α), το 86% αντιστοιχεί σε τιμές $7 \leq PI \leq 35$. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι μη πλαστικά εδάφη εμφανίζονται κυρίως μέχρι το βάθος των 40 m, ενώ πάνω απ' αυτό το βάθος καταγράφονται τιμές $PI > 7$. Τέλος, εδάφη, εξαιρετικά υψηλής πλαστικότητας εντοπίζονται κατά κύριο λόγο σε βάθη μικρότερα των 20 m. Στα χονδρόκοκκα υλικά, παρατηρείται διαφορετική εικόνα αφού στην πλειονότητά τους επικρατούν τιμές $PI < 17$ (σχήμα 6.39β) προσδιορίζοντας εδάφη χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας σε ποσοστό 54%, αλλά και μη πλαστικά σε ποσοστό 43% του συνόλου των διαθέσιμων δεδομένων.



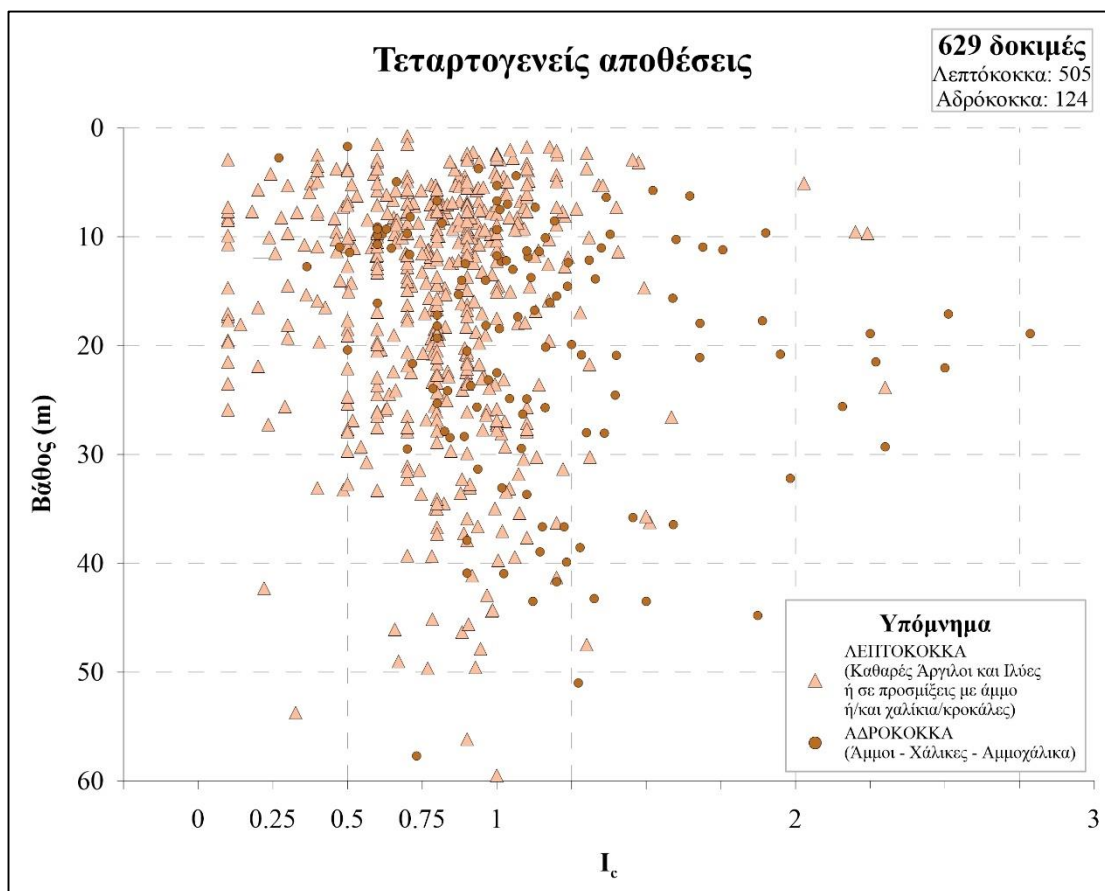
Σχήμα 6.38: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας



Σχήμα 6.39α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Δείκτης συνεκτικότητας – I_c

Στο σχήμα 6.40 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών I_c με το βάθος για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας. Σύμφωνα μ' αυτό, εκτελέστηκαν συνολικά 629 δοκιμές, εκ των οποίων οι 505 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 124 σε αδρόκοκκα. Σε ό,τι αφορά στο λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών (σχήμα 6.41α), το 66% αντιστοιχεί σε τιμές $0.50 < I_c \leq 1$ χαρακτηρίζοντας τον σχηματισμό ως σφιγρό έως πολύ σφιγρό. Στα χονδρόκοκκα υλικά, επικρατούν τιμές $I_c > 1$ (σχήμα 6.41β) προσδιορίζοντας σκληρά εδάφη. Μάλιστα, σε βάθη μεγαλύτερα των 15 m, εντοπίζονται και τιμές $I_c > 2$. Πρόκειται για αποτελέσματα δοκιμών που εκτελέστηκαν κατά βάση σε δείγματα πολύ πυκνής αργιλώδους/ιλυώδους άμμου με χάλικες και τρόχμαλους χαλαζιακής και πρασινοσχιστολιθικής προέλευσης.

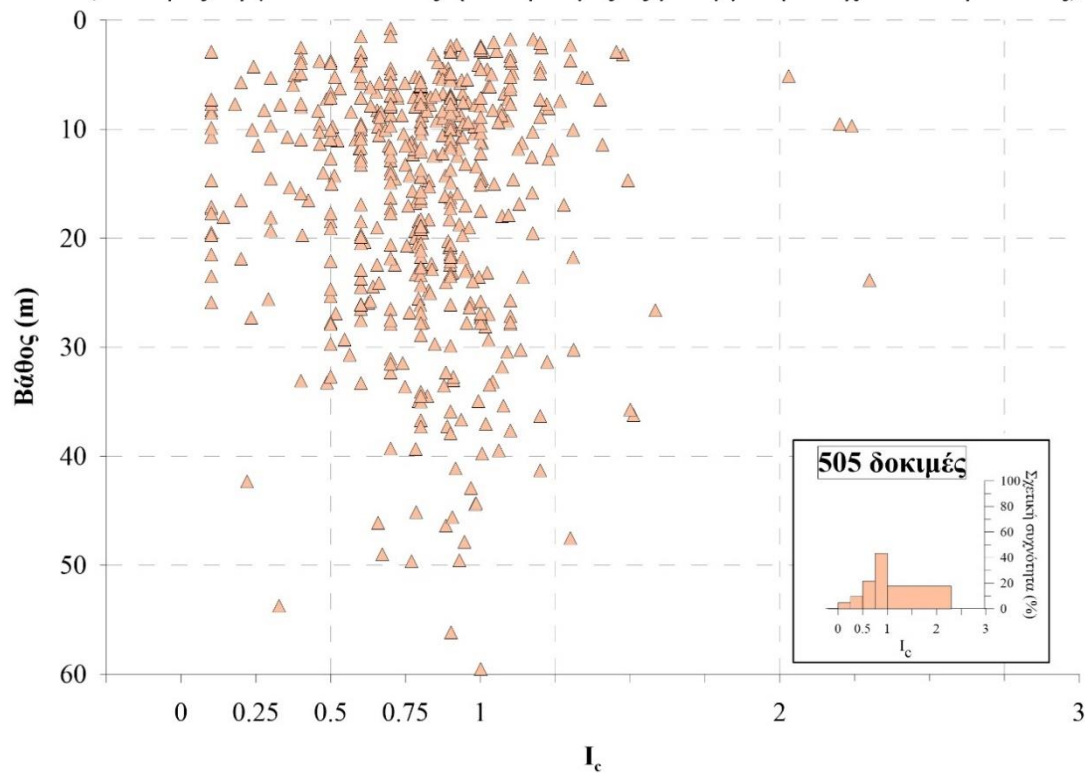


Σχήμα 6.40: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

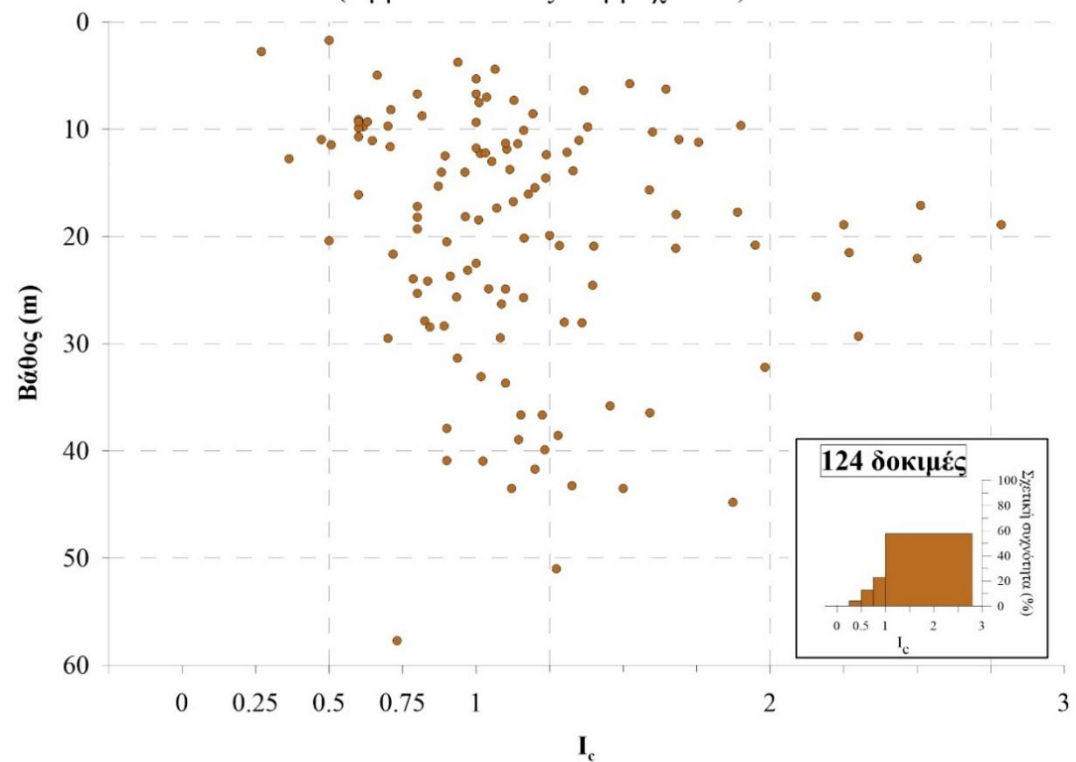
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

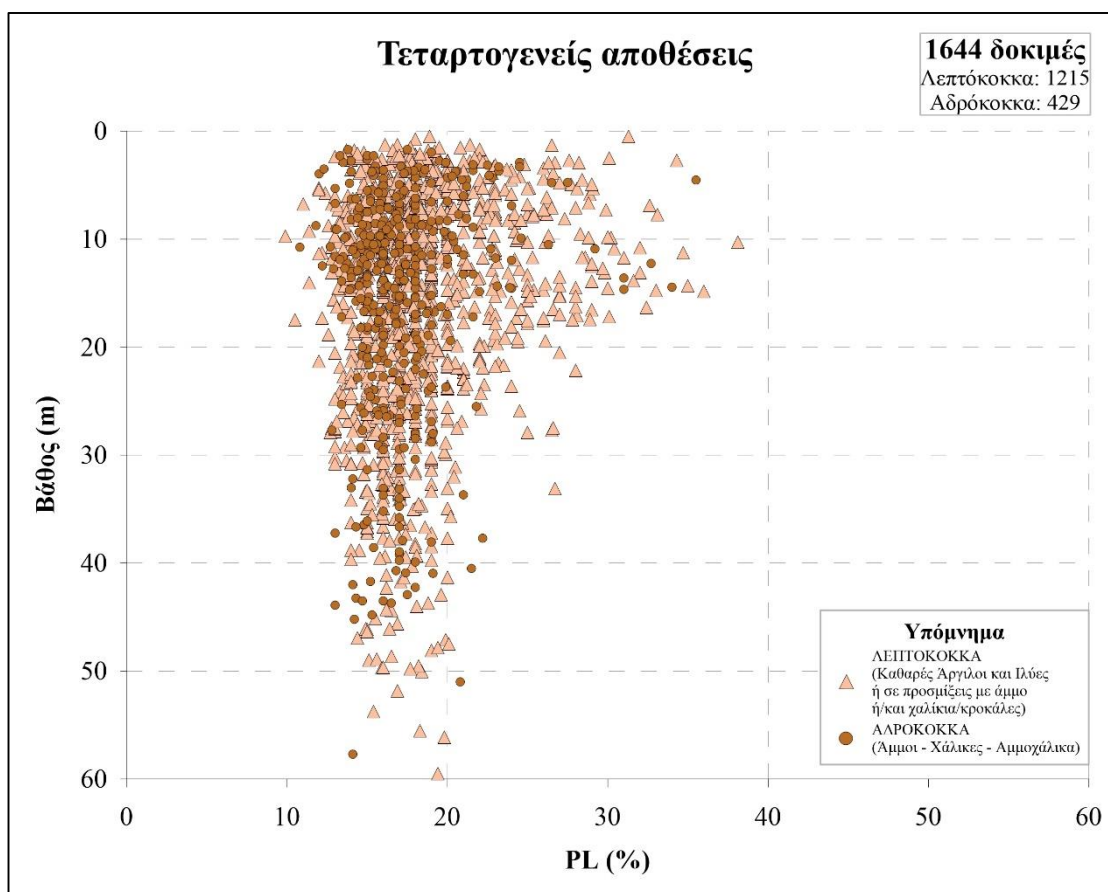
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



Σχήμα 6.41α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Όριο πλαστικότητας - PL

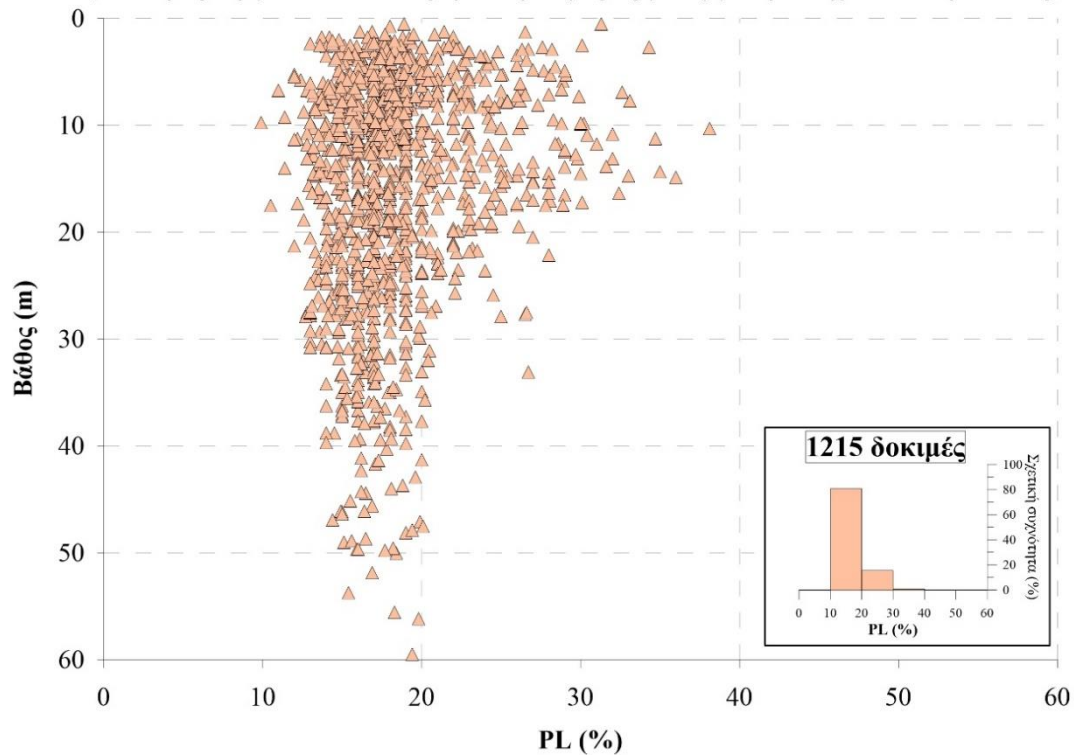
Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής τιμών PL για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας (σχήμα 6.42), συνολικά εκτελέστηκαν 1644 δοκιμές, εκ των οποίων οι 1215 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 429 σε αδρόκοκκα. Τα αποτελέσματα προβάλλονται στο σχήμα 6.43α.β και υποδεικνύουν την επικράτηση τιμών $10\% < PL \leq 20\%$ σε ποσοστό 83% εντός πολύ μαλακής-μαλακής ισχνής αργίλου με άμμο και σποραδικούς χάλικες έως μαλακής έως σταθερής, αμμώδους ισχνής αργίλου. Στα αδρόκοκκα υλικά συναντάται ακόμη μεγαλύτερο ποσοστό στο συγκεκριμένο εύρος τιμών (88%). Πρόκειται για αποθέσεις που αποτελούνται κατά βάση από μέτρια πυκνή, αργιλώδη άμμος με λεπτά-μεσαία χαλίκια κατά τόπους, μικρής έως μέσης πλαστικότητας έως ιλυώδης άμμος. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το εύρος των τιμών PL μειώνεται συνολικά με το βάθος. Συγκεκριμένα, για βάθη 0-20 m, οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές που παρατηρούνται στα λεπτόκοκκα υλικά είναι $PL=9.9-38.1\%$ και στα αδρόκοκκα $PL=10.8-35.5\%$. Για βάθη μεγαλύτερα των 20 m παρατηρούνται σαφώς μικρότερα εύρη τιμών τα οποία περιορίζονται σε $PL=12-28\%$ και $PL=12.8-22.2\%$ αντίστοιχα.



Σχήμα 6.42: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

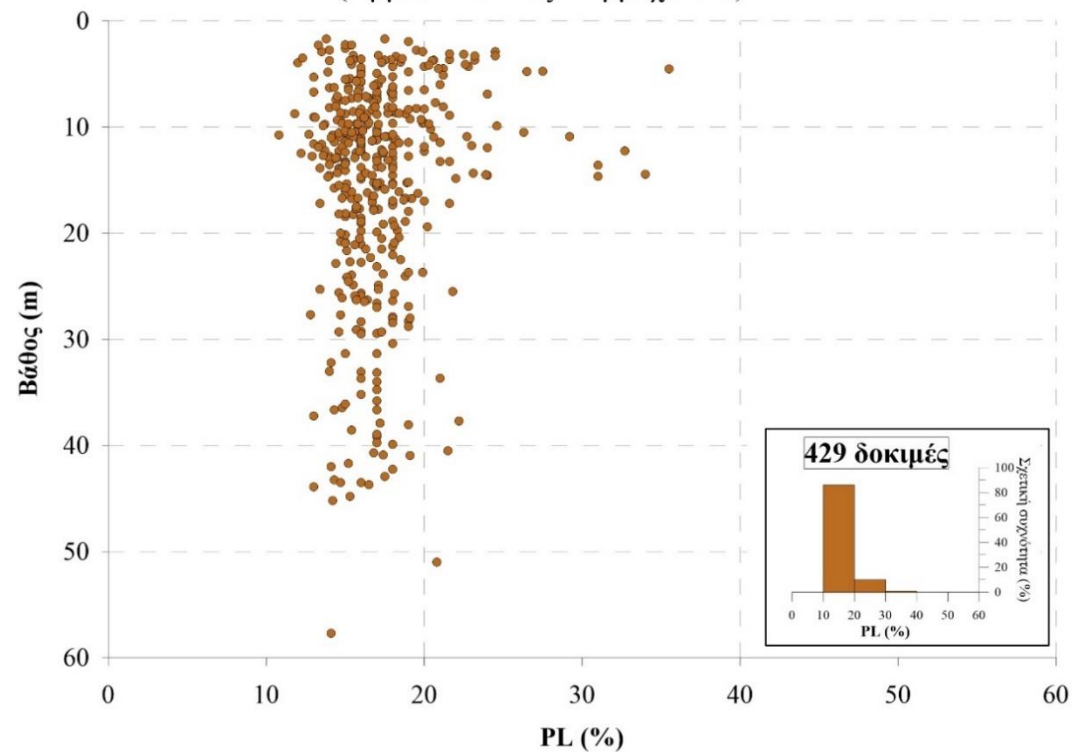
Τεταρτογενείς αποθέσεις ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Τεταρτογενείς αποθέσεις ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

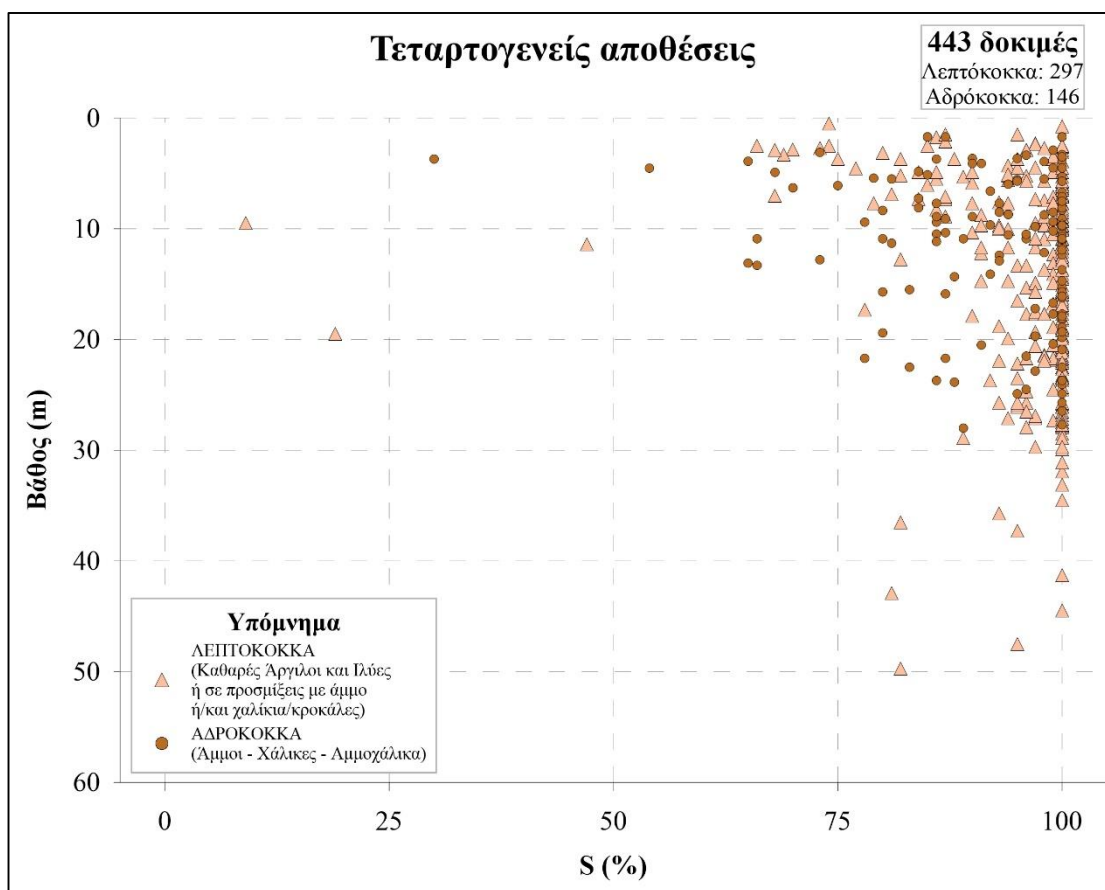
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



Σχήμα 6.43α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Βαθμός κορεσμού - S

Τα διαθέσιμα δεδομένα του βαθμού κορεσμού με το βάθος για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις παρουσιάζονται στο σχήμα 6.44 Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής τιμών S, εκτελέστηκαν συνολικά 443 δοκιμές, εκ των οποίων οι 297 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 146 σε αδρόκοκκα. Σε ότι αφορά στο λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών (σχήμα 6.45α), το 47% αντιστοιχεί σε τιμές $75\% \leq S < 100\%$ χαρακτηρίζοντας τους εδαφικούς σχηματισμούς ως βρεγμένους. Τιμές $S=100\%$ εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 53% κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός κορεσμένων δειγμάτων αποτελούμενων από μαλακή έως σταθερή, ισχνή άργιλο με άμμο, με διάσπαρτες ψηφίδες και λεπτούς γωνιώδεις χάλικες πρασινοσχιστολιθικής προέλευσης και σποραδικές κροκάλες. Στα χονδρόκοκκα υλικά, παρατηρείται παρόμοια εικόνα αφού στην πλειονότητα τους επικρατούν τιμές $75\% \leq S < 100\%$ (σχήμα 6.45β) προσδιορίζοντας βρεγμένα εδάφη σε ποσοστό 51%, αλλά και κορεσμένα εδάφη σε ποσοστό 42%. Σημειώνεται επίσης ότι οι συγκεκριμένες δοκιμές διεξήχθησαν αποκλειστικά μέχρι το βάθος των 30 m.

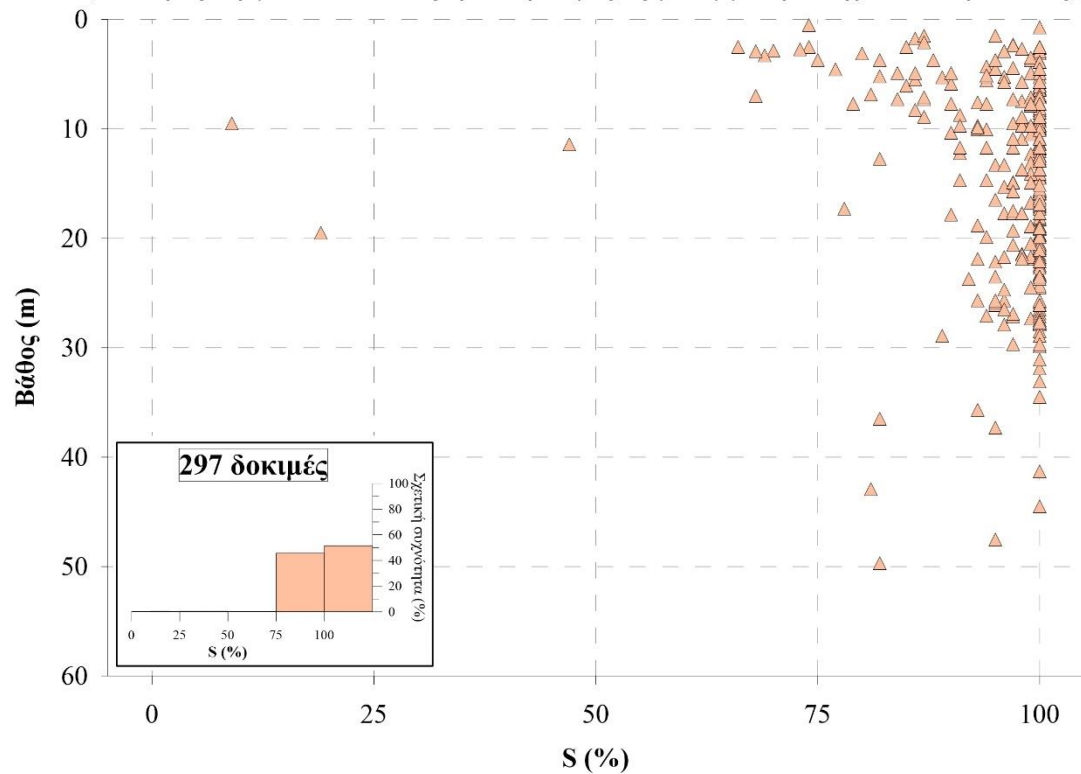


Σχήμα 6.44: Διάγραμμα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

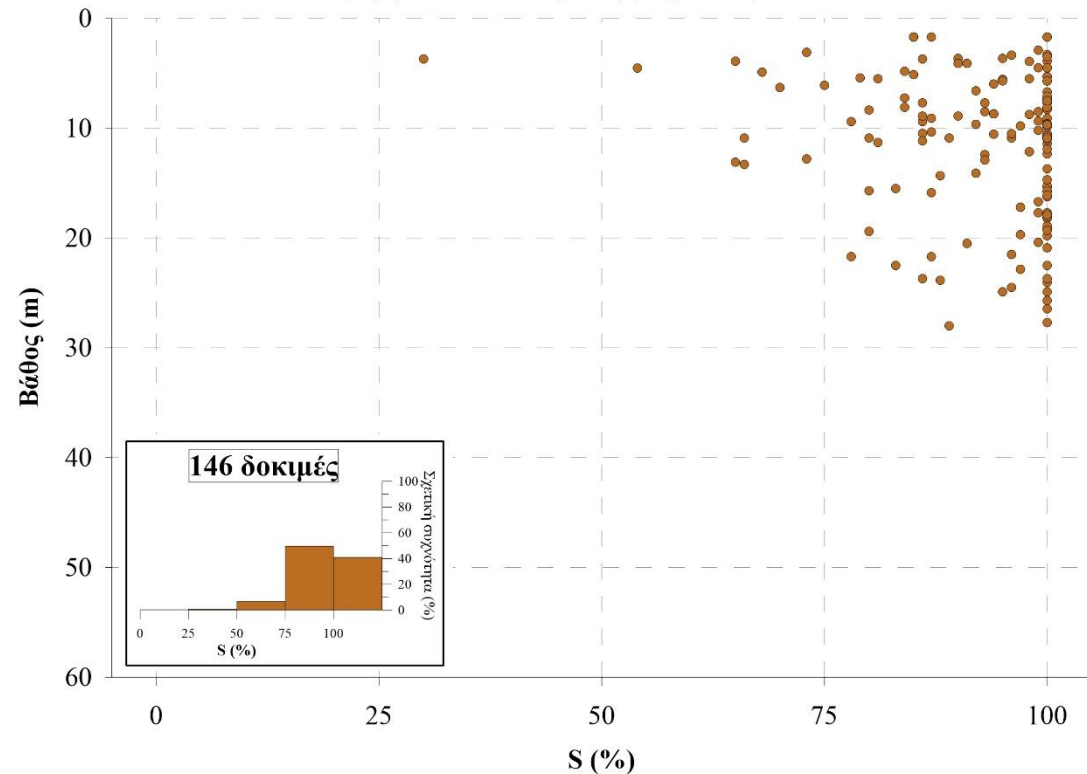
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

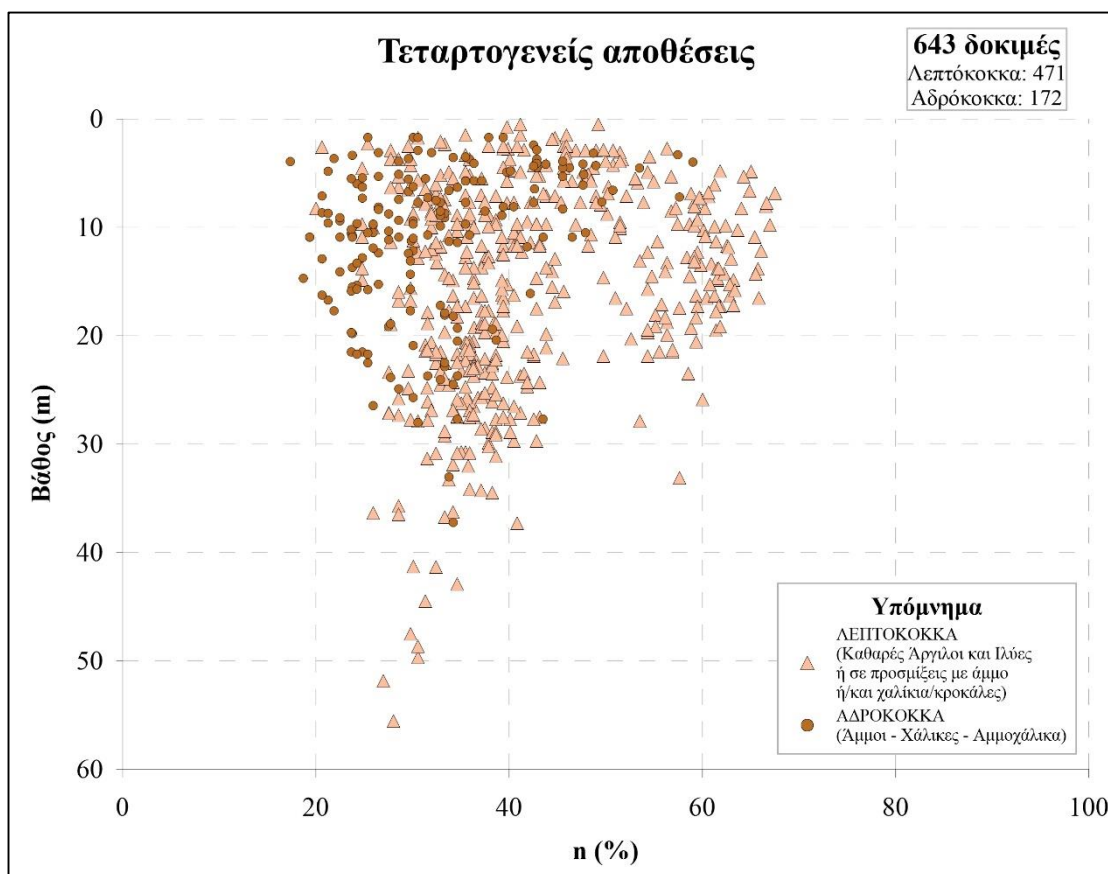
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



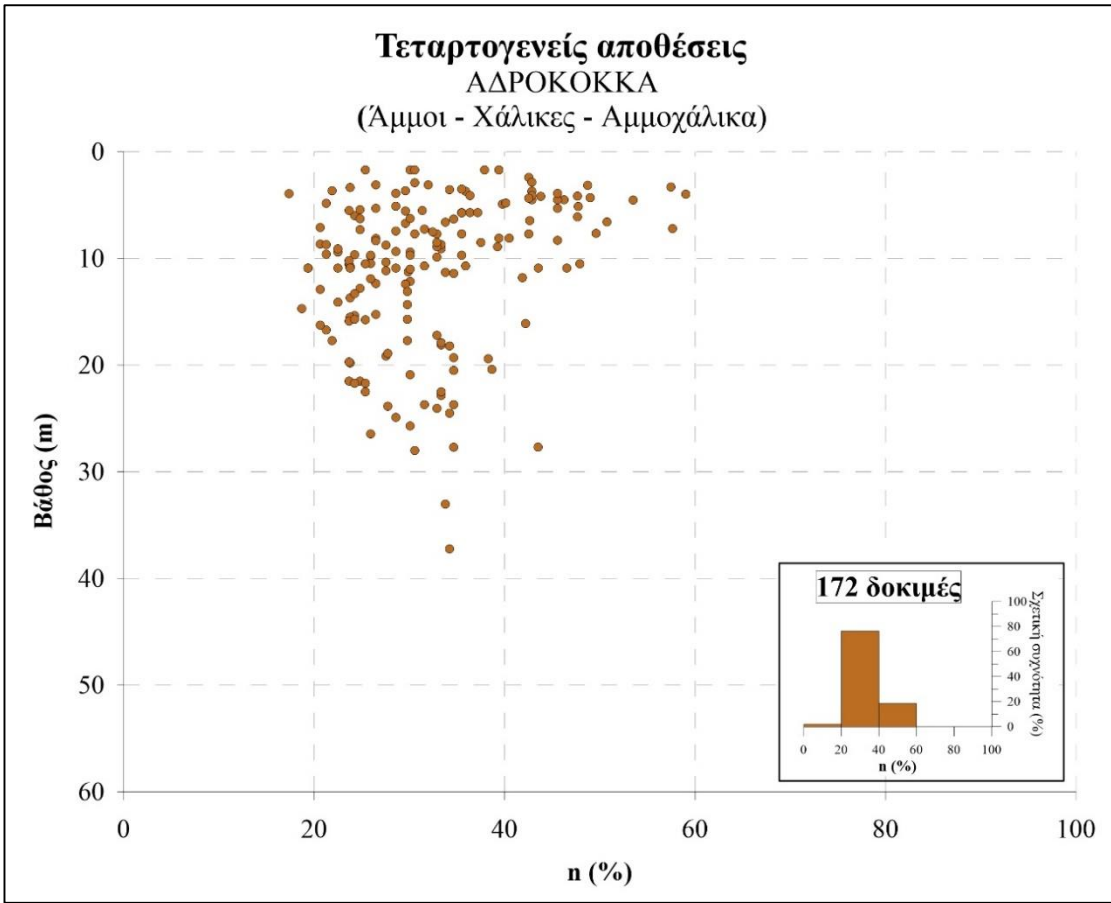
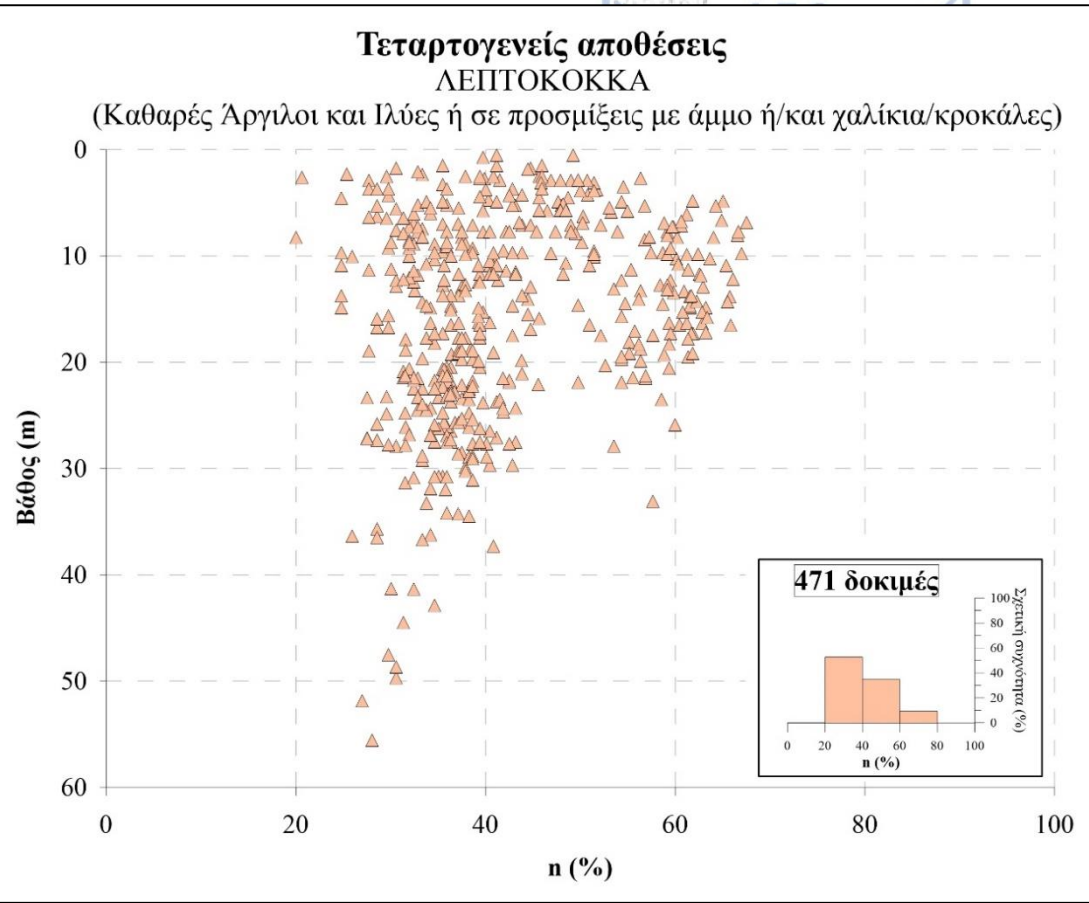
Σχήμα 6.45α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Πορώδες - n

Η κατανομή των τιμών του πορώδους για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.46. Οι τιμές που προβάλλονται αντιστοιχούν σε αποτελέσματα 643 δοκιμών εκ των οποίων οι 471 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 172 σε αδρόκοκκα. Στα λεπτόκοκκα υλικά (σχήμα 6.47α), το 54% αντιστοιχεί σε τιμές $20\% \leq n < 40\%$. Μικρότερο ποσοστό, της τάξης του 36%, παρατηρείται σε τιμές $40\% \leq n < 60\%$, ενώ μόλις το 10% των τιμών περιορίζονται σε τιμές $n = 60-68\%$ και προέκυψε από δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός πολύ μαλακής έως μαλακής ιλύος-αργίλου υψηλής πλαστικότητας με οργανικά και ιλυώδους μαργαϊκής αργίλου με όστρακα. Όσον αφορά στα χονδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.47β), στην πλειονότητα τους (78%) επικρατούν τιμές $20\% \leq n < 40\%$ από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν μέχρι το βάθος των 37 m.



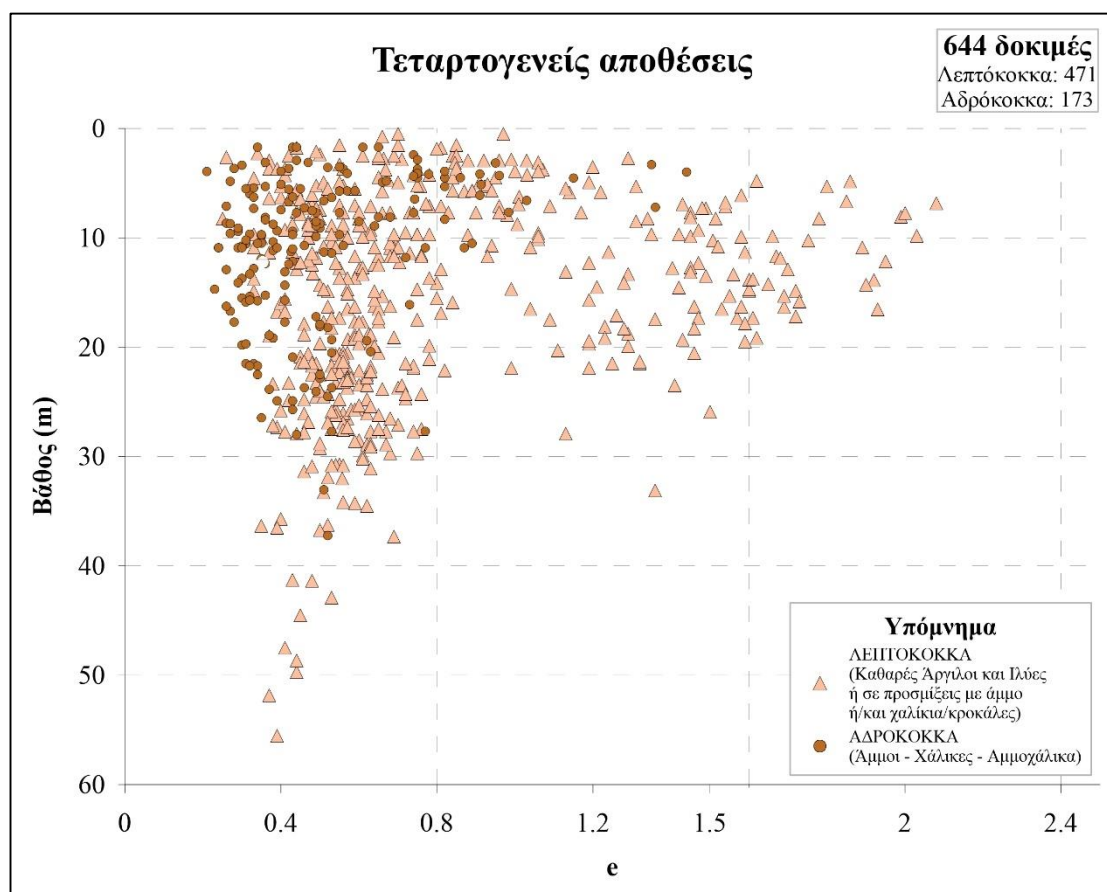
Σχήμα 6.46: Διάγραμμα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας



Σχήμα 6.47α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Δείκτης πόρων - e

Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής τιμών e για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας σχήμα 6.48, συνολικά εκτελέστηκαν 644 δοκιμές εκ των οποίων οι 471 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 173 σε αδρόκοκκα. Στα λεπτόκοκκα υλικά (σχήμα 6.49α), το 75% αντιστοιχεί σε τιμές $0.4 < e \leq 1.2$. Σε μικρότερο ποσοστό (10%) συναντώνται τιμές $e > 1.5$ μέχρι το βάθος των 26 m. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο εντός αποθέσεων αποτελούμενων από άργιλο, σκούρου χρώματος, υψηλής πλαστικότητας, μαλακής-μέσης συνεκτικότητας με παρουσία θραυσμάτων κοχυλιών και οσμή οργανικών. Όσον αφορά στα χονδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.49β), στην πλειονότητά τους (90%) επικρατούν τιμές $0.2 < e \leq 0.8$ από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν μέχρι το βάθος των 37 m. Τιμές $0.8 < e < 1.5$ συναντώνται μέχρι το βάθος των 11 m και πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο εντός αργιλώδους-ιλυώδους άμμου, γκρίζου έως μαύρου χρώματος, πολύ χαλαρή, με οργανικά και θραύσματα οστράκων.

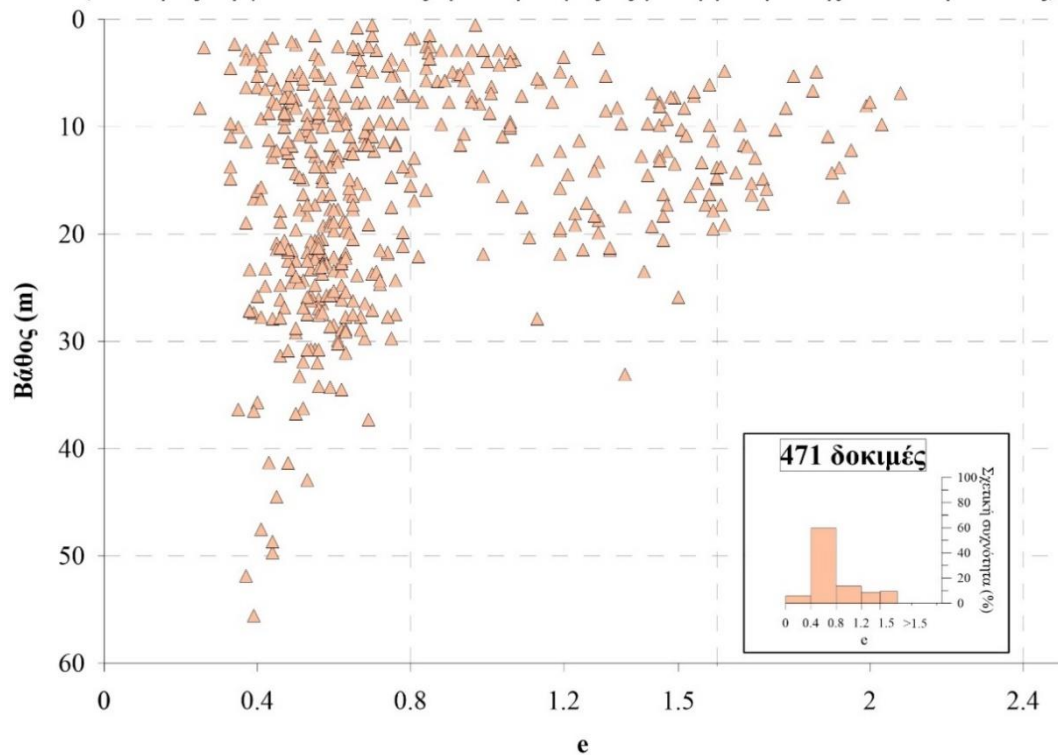


Σχήμα 6.48: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

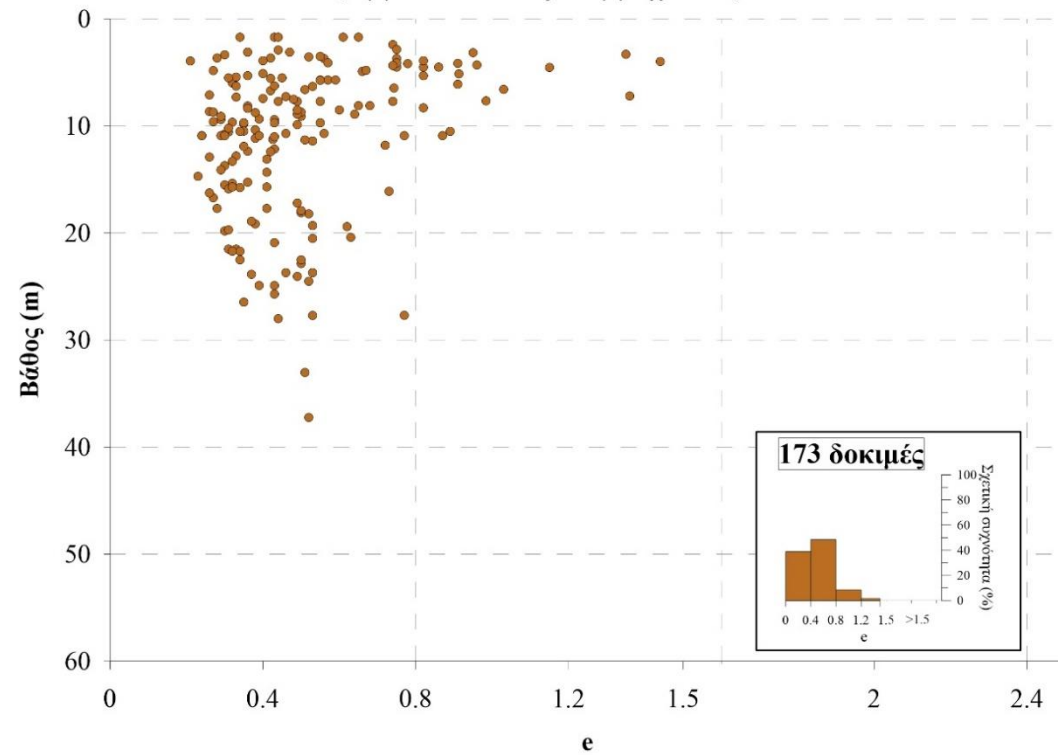
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

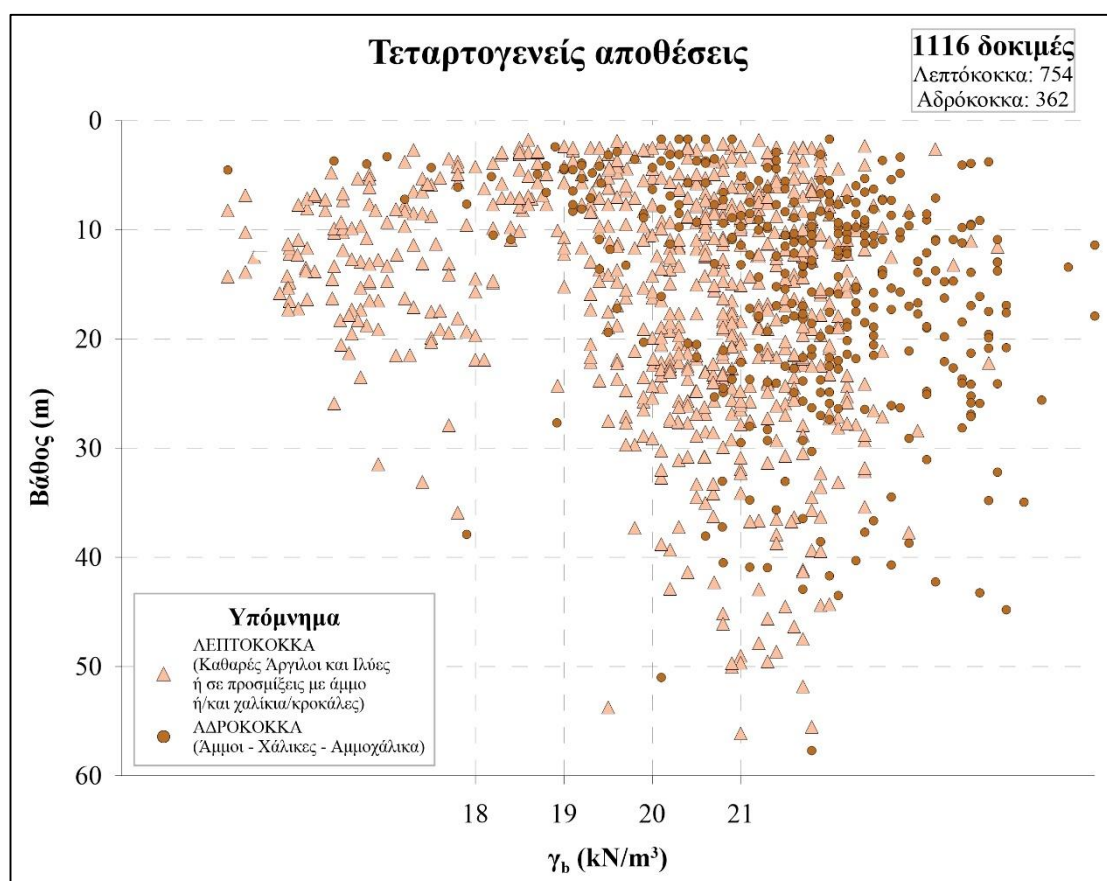
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



Σχήμα 6.49α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Υγρό φαινόμενο βάρος – γ_b

Η κατανομή των τιμών του υγρού φαινόμενου βάρους για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.50. Συνολικά εκτελέστηκαν 1116 δοκιμές, εκ των οποίων οι 754 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 362 σε αδρόκοκκα. Σε ότι αφορά στο λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών (σχήμα 6.51α), το 76% αντιστοιχεί σε τιμές $19 \leq \gamma_b \leq 23.9 \text{ kN/m}^3$. Τιμές μικρότερες του 19 kN/m^3 εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 24% κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν μέχρι το βάθος των 36 m σε δείγματα σταθερής, αμμώδους ιλύος έως αμμώδους ισχνής αργίλου μέσης πλαστικότητας με ασβεστιτικά συγκρίματα. Στα χονδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.51β), επικρατούν τιμές $20 \leq \gamma_b \leq 25 \text{ kN/m}^3$ σε ποσοστό 87% του συνόλου των δοκιμών. Τιμές $\gamma_b < 20 \text{ kN/m}^3$ συναντώνται κυρίως μέχρι το βάθος των 25 m και πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο εντός χαλαρής έως μέτρια πυκνής, καστανής, ιλυώδους λεπτόκοκκης-μεσόκοκκης άμμου με χάλικες πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης.

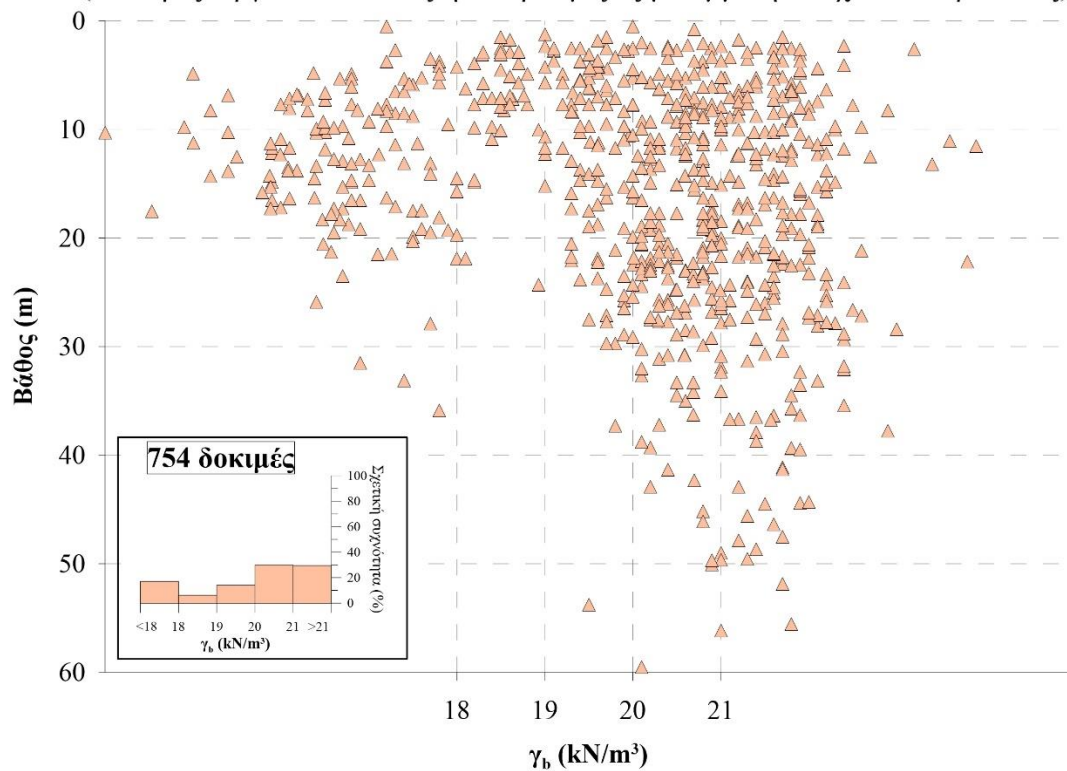


Σχήμα 6.50: Διάγραμμα κατανομής τιμών υγρού φαινόμενου βάρους (γ_b) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

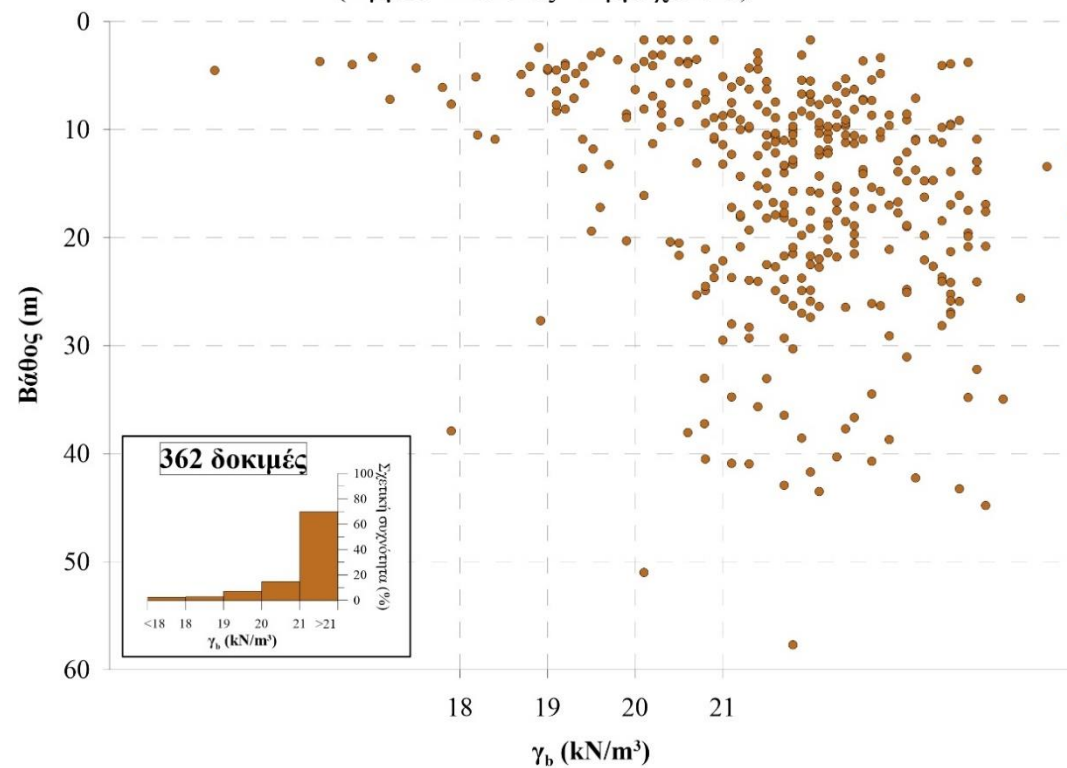
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

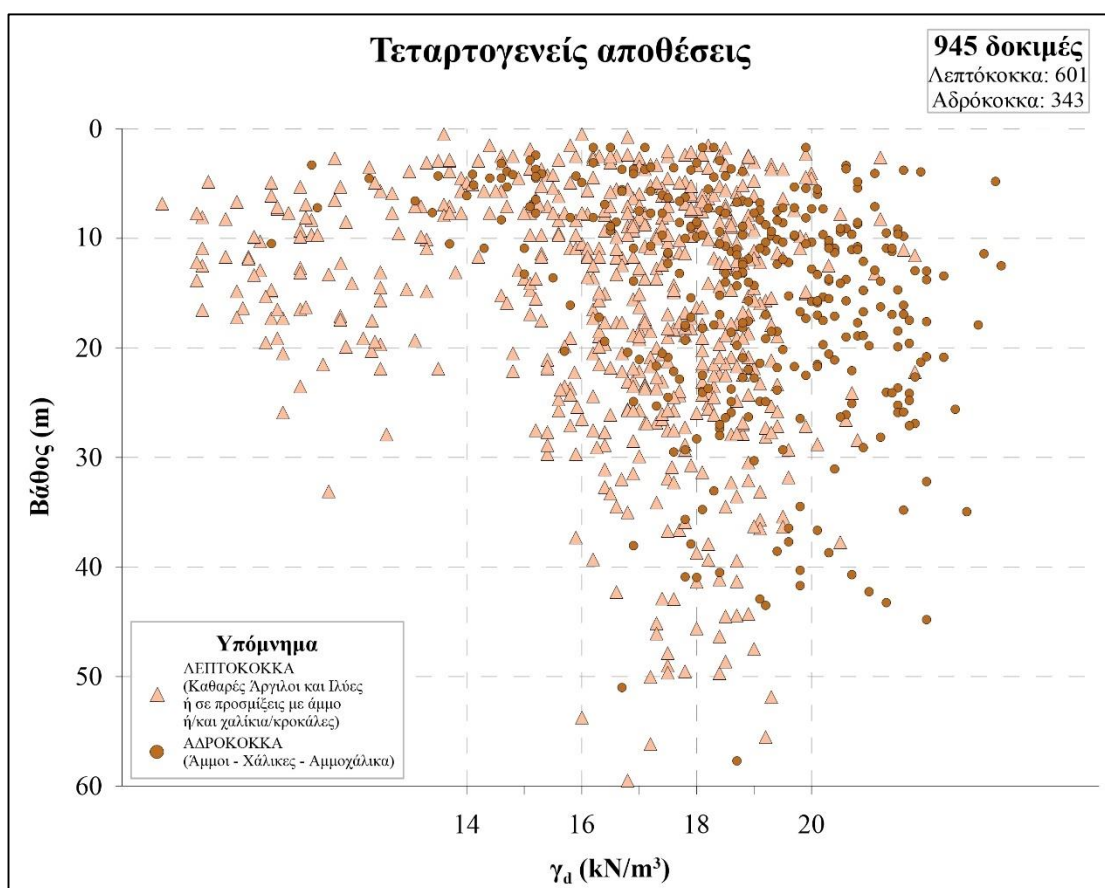
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



Σχήμα 6.51α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών υγρού φαινόμενου βάρους (γ_b) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Ξηρό φαινόμενο βάρος – γ_d

Η κατανομή των τιμών του ξηρού φαινόμενου βάρους για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.52. Συνολικά εκτελέστηκαν 945 δοκιμές, εκ των οποίων οι 601 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 343 σε αδρόκοκκα. Σε ότι αφορά στα λεπτόκοκκα υλικά (σχήμα 6.53α), το 67% αντιστοιχεί σε τιμές $16 < \gamma_d \leq 20 \text{ kN/m}^3$. Τιμές μικρότερες του 16 kN/m^3 εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 32% κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν κυρίως μέχρι το βάθος των 30 m σε δείγματα μαλακής έως στιφρής αμμώδους ισχνής αργίλου με ασβεστιτικά συγκρίματα και σταθερής έως στιφρής αμμώδους ελαστικής ιλύος. Στα χονδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.53β), επικρατούν τιμές εντός του εύρους $\gamma_d = 16.5\text{-}23.3 \text{ kN/m}^3$ σε ποσοστό 85% του συνόλου των δοκιμών. Πρόκειται για δείγματα αποθέσεων αποτελούμενων από μέτρια πυκνούς, αργιλώδεις-ιλυώδεις χαλίκες με άμμο έως μέτρια πυκνή, αργιλώδη άμμο με χαλίκια.

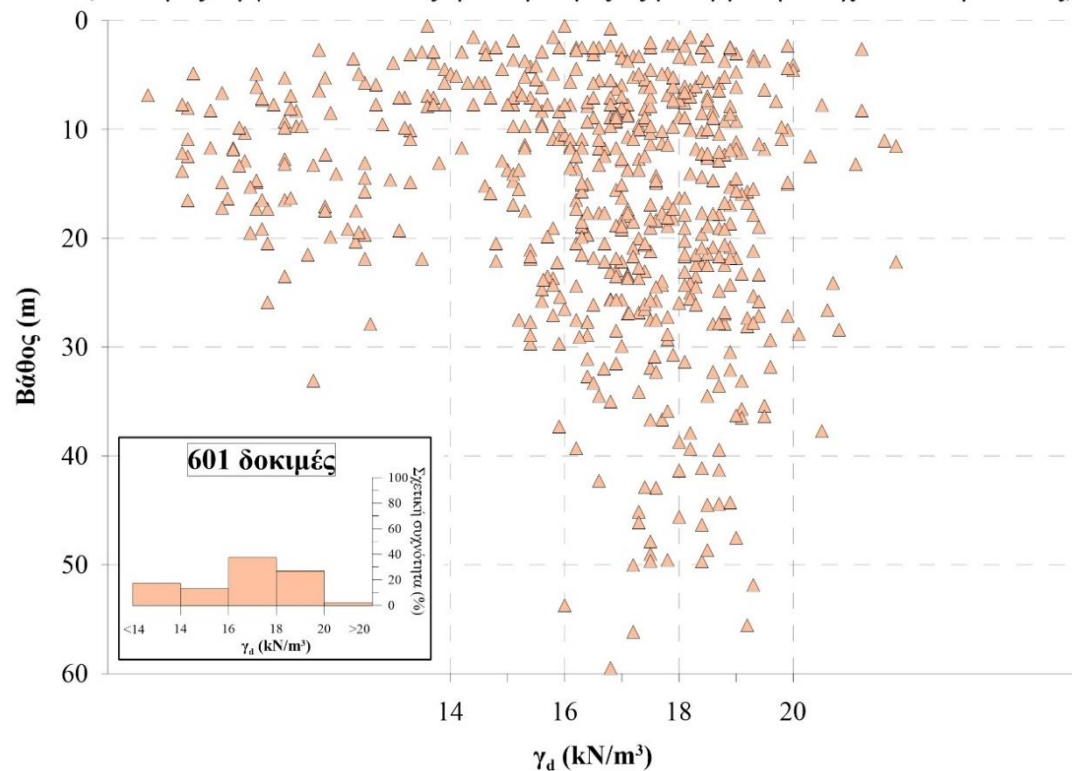


Σχήμα 6.52: Διάγραμμα κατανομής τιμών ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_d) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

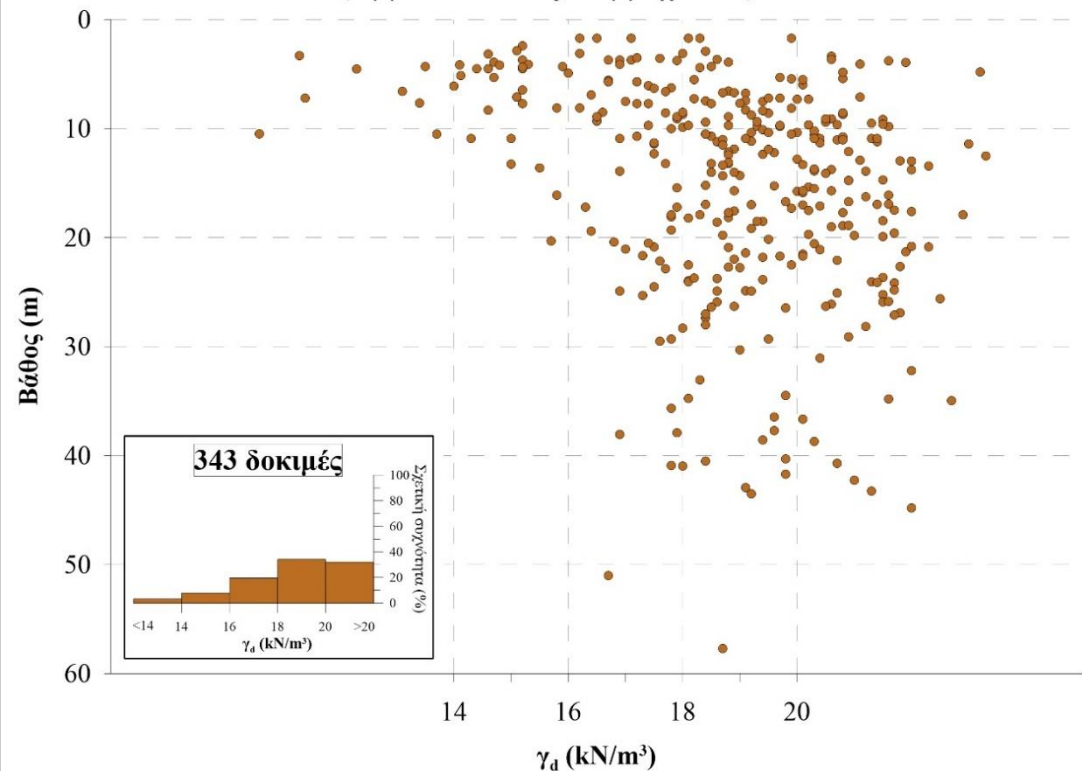
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Τεταρτογενείς αποθέσεις

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

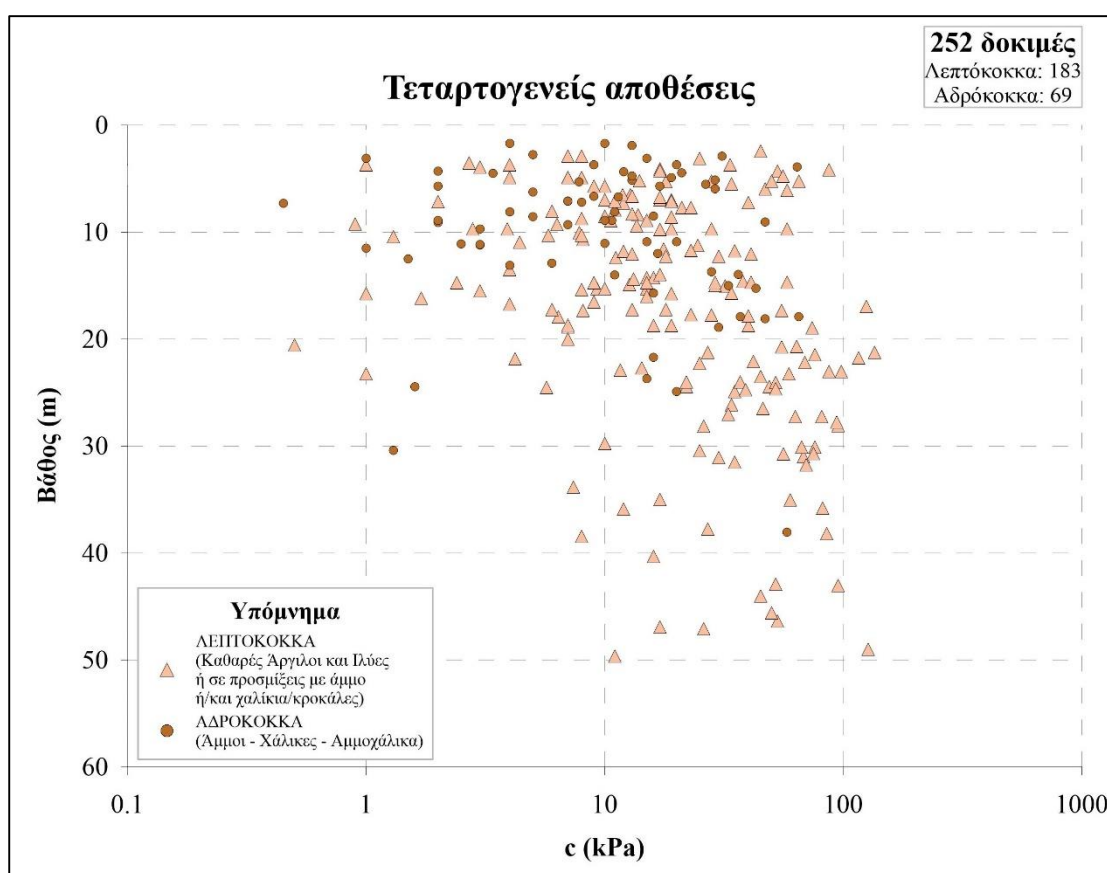
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



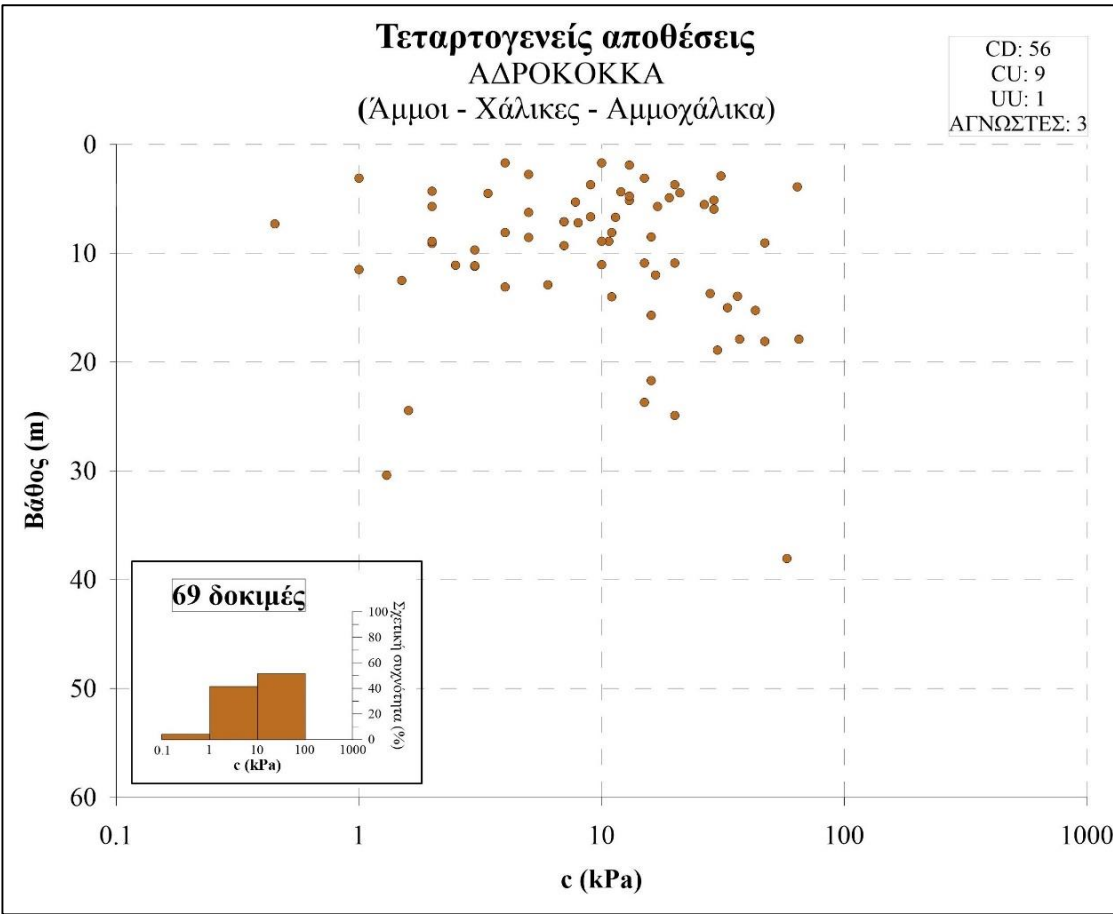
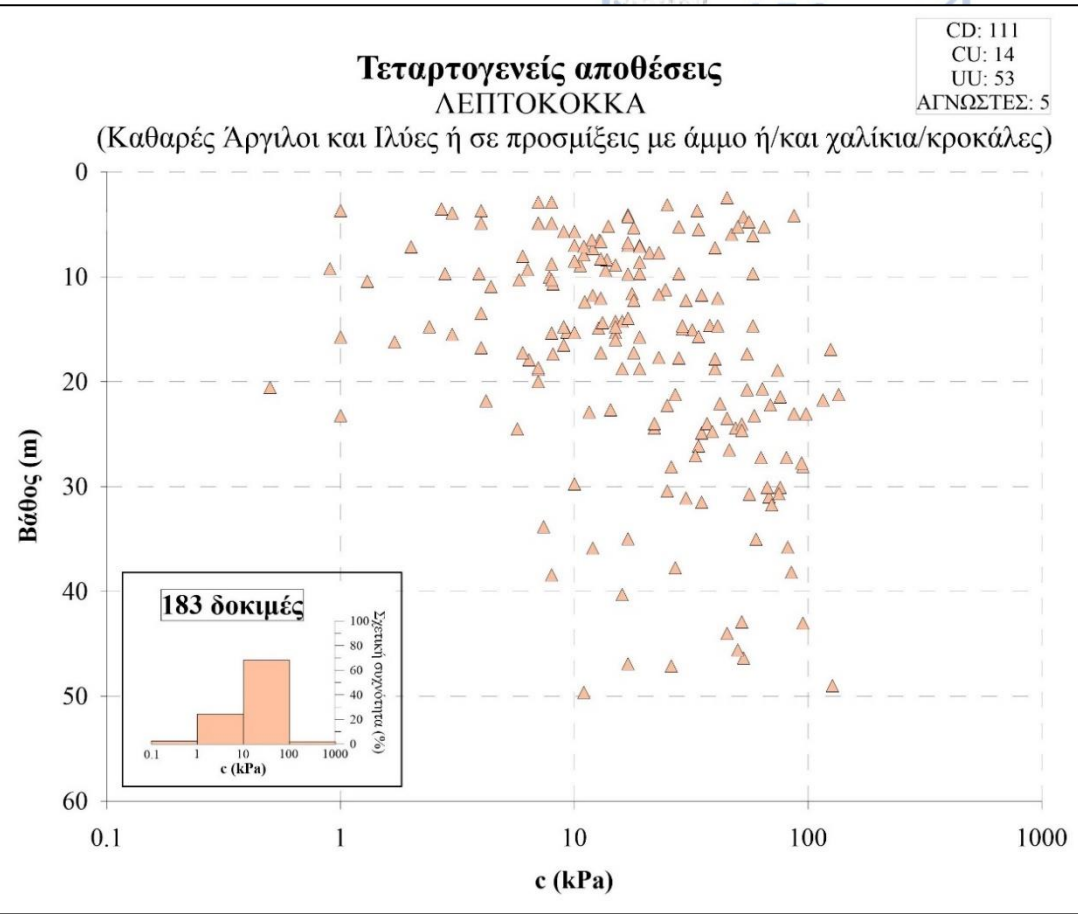
Σχήμα 6.53α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ξηρού φαινομένου βάρους (γ_d) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής – c , ϕ (δοκιμή άμεσης διάτμησης)

Τα αποτελέσματα των δοκιμών άμεσης διάτμησης που διενεργήθηκαν σε εδαφικά δοκίμια, εντός των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας, παρουσιάζονται στα διαγράμματα κατανομής τιμών c σχήματος 6.54. Συνολικά εκτελέστηκαν 252 δοκιμές εκ των οποίων 183 σε λεπτόκοκκα υλικά και 69 σε αδρόκοκκα. Ο κυρίαρχος τύπος είναι αυτός της βραδείας δοκιμής με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου (CD). Οι τιμές στα λεπτόκοκκα υλικά κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (70%), από 10 έως 100 kPa (σχήμα 6.55α) για βάθη 0-50 m, ενώ συναντώνται και χαμηλότερες τιμές, σε μικρότερο ποσοστό σε βάθη που δεν απαντώνται κάτω από τα 25 m. Αναφορικά με την κατανομή των τιμών συνοχής στα αδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.55β), αυτές κυμαίνονται κυρίως από 3 έως 30 kPa (66% των τιμών) και προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν κατά κύριο λόγο στα πρώτα 20 m.

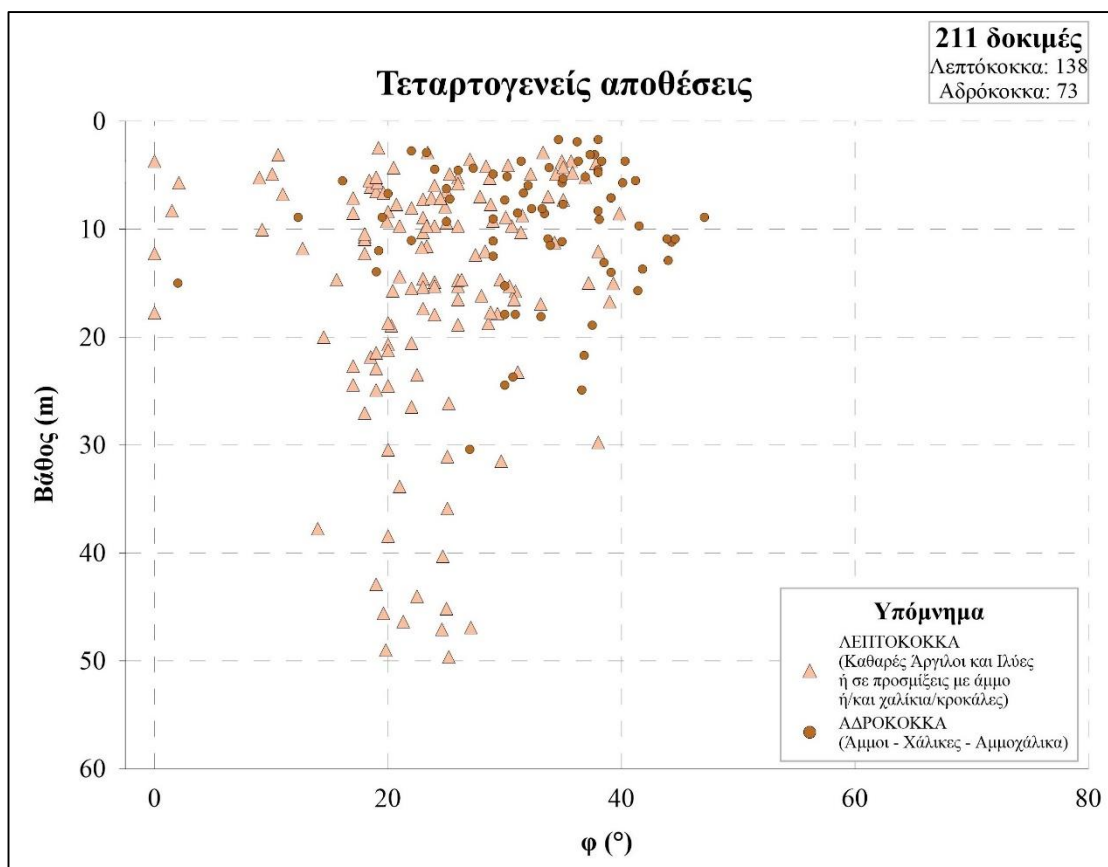


Σχήμα 6.54: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

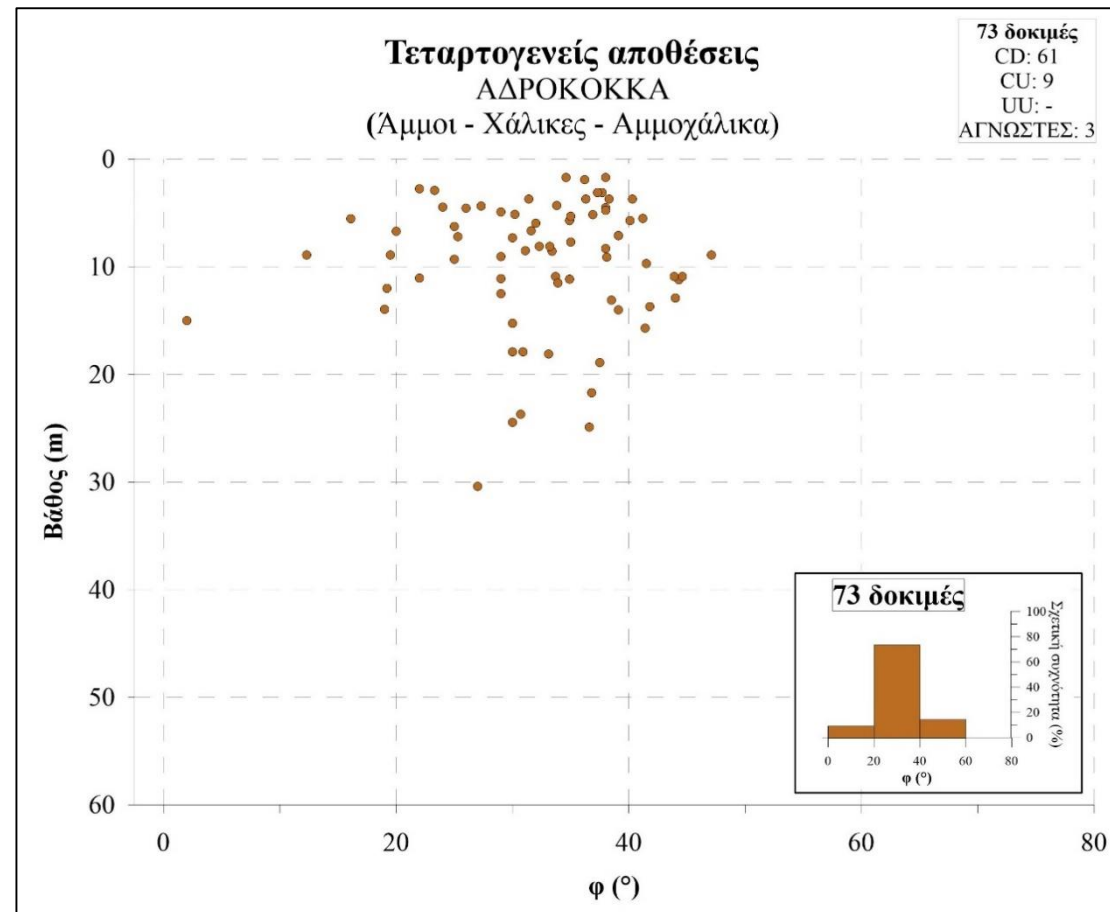
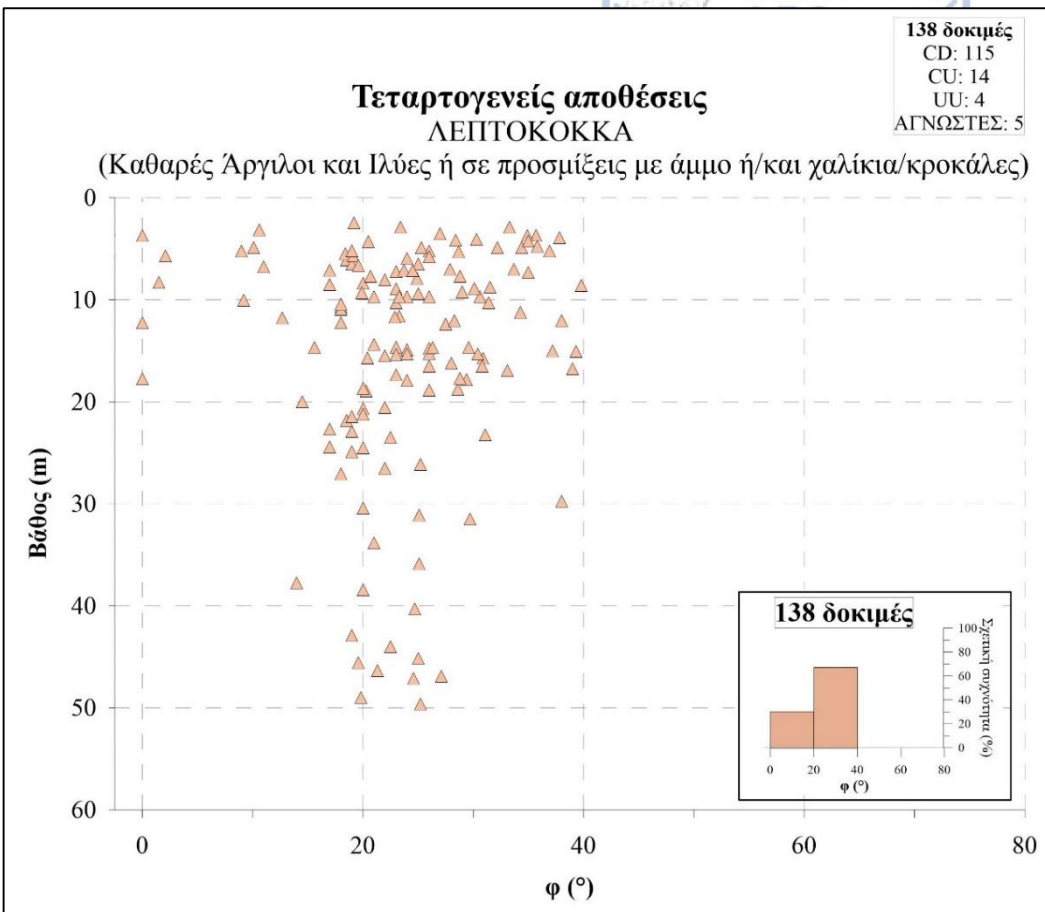


Σχήμα 6.55α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Για τον προσδιορισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής, εκτελέστηκαν 211 δοκιμές άμεσης διάτμησης εκ των οποίων, οι 138 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 73 σε αδρόκοκκα (σχήμα 6.56). Κυρίαρχος τύπος είναι η βραδεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου (CD). Από το (σχήμα 6.57α) προκύπτει ότι στα λεπτόκοκκα υλικά παρατηρούνται κατά κύριο λόγο τιμές που κυμαίνονται από 15° έως 40°. Τιμές $\phi = 0^\circ - 20^\circ$ εμφανίζονται κατά βάση στα πρώτα 25 m κι εντός μαλακής έως σταθερής και τοπικά στιφρής ισχνής αργίλου με άμμο ή εντός αμμώδους ισχνής αργίλου, ιλύος με άμμο έως αμμώδους ιλύος, μικρής έως μέσης πλαστικότητας. Ως προς την κατανομή των τιμών ϕ στα αδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.57β), παρατηρείται σαφής επικράτηση τιμών (75%) μεταξύ 20° και 40°. Ωστόσο, εντοπίζονται και κάποιες περιορισμένες τιμές $\phi < 20^\circ$ οι οποίες προέκυψαν από δοκιμές που εκτελέστηκαν εντός πολύ χαλαρής-μετρίως πυκνής, λεπτόκοκκης έως μεσόκοκκης ιλυώδους-αργιλωδους άμμου με λεπτά χαλίκια, χωρίς πλαστικότητα έως τοπικά μικρής-μέσης πλαστικότητας. Τέλος, τιμές $\phi > 40^\circ$ εντοπίζονται σε ποσοστό της τάξης του 15% από δοκιμές άμεσης διάτμησης σε δοκίμια αργιλωδους, ιλυώδους αμμοχάλικου, πυκνού-πολύ πυκνού έως κατά θέσεις χαλικώδους άμμου ή εντός χαλαρών έως μετρίως πυκνών, αργιλωδών χαλικιών με άμμο.



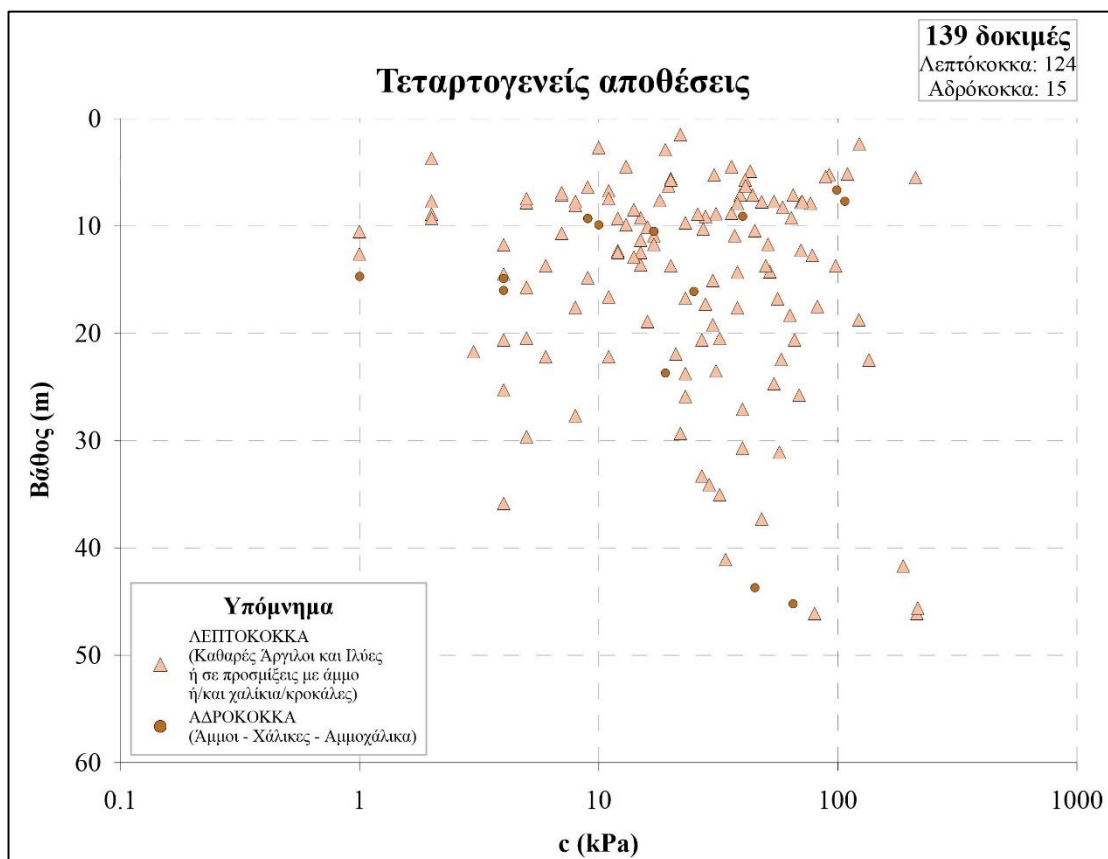
Σχήμα 6.56: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας



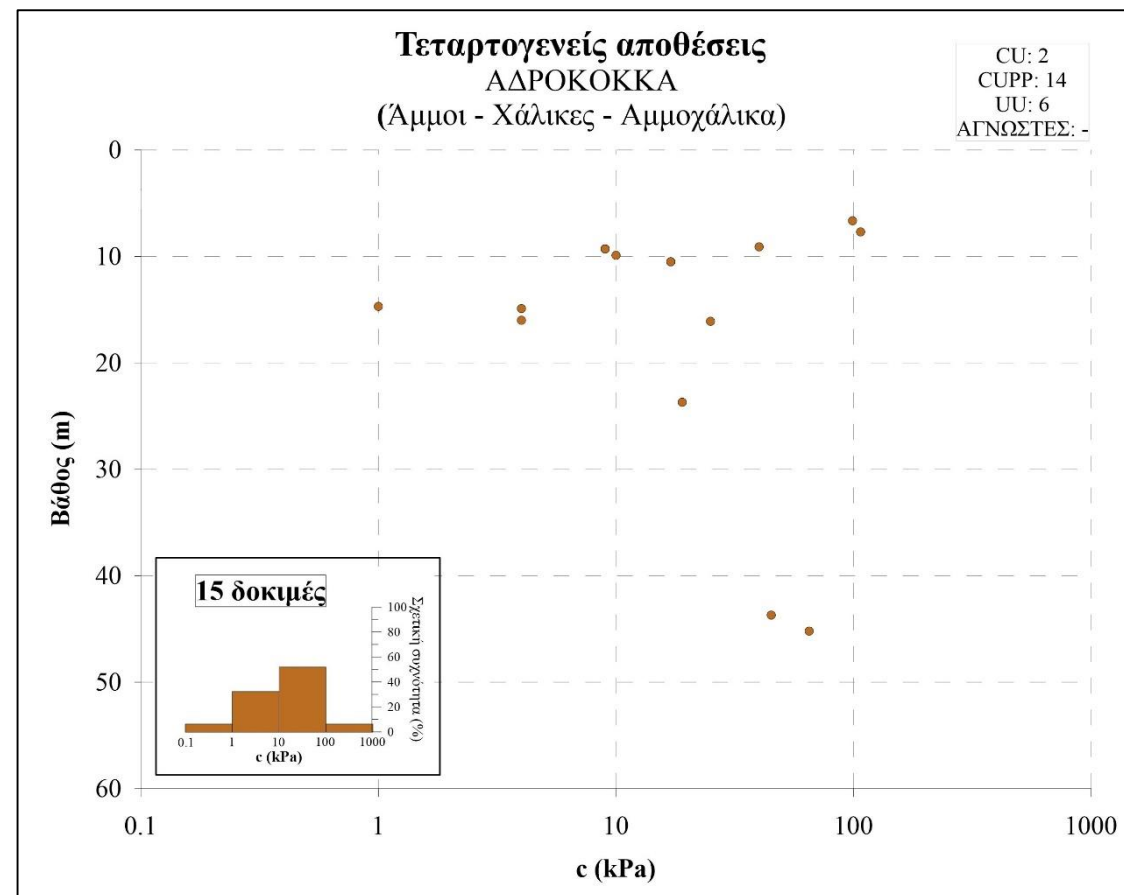
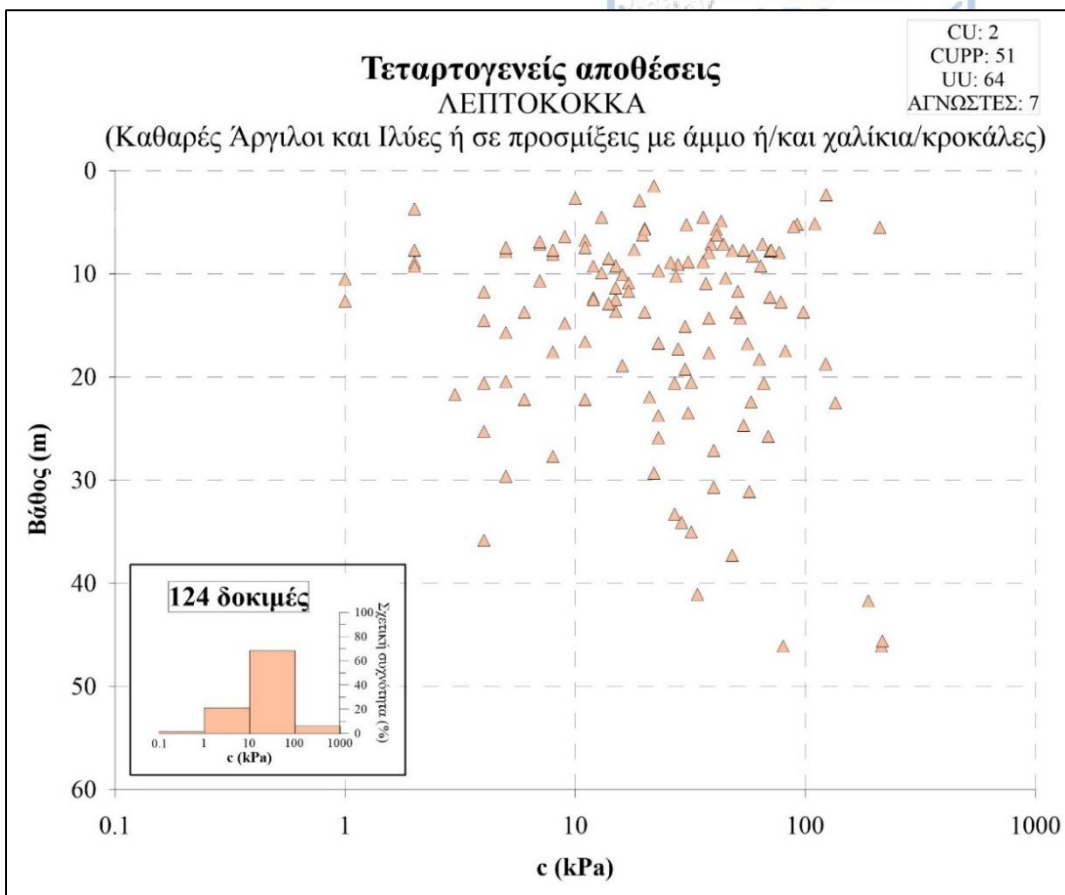
Σχήμα 6.57α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής – c , ϕ (δοκιμή τριαξονικής φόρτισης)

Τα αποτελέσματα των δοκιμών τριαξονικής φόρτισης που διενεργήθηκαν σε εδαφικά δοκίμια, εντός των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας, παρουσιάζονται στα διαγράμματα κατανομής τιμών c σχήματος 6.58. Συνολικά εκτελέστηκαν 139 δοκιμές εκ των οποίων 124 σε λεπτόκοκκα υλικά και 15 σε αδρόκοκκα. Ο κυρίαρχος τύπος είναι αυτός της ταχείας δοκιμής χωρίς στερεοποίηση και χωρίς αποστράγγιση (UU). Οι τιμές στα λεπτόκοκκα υλικά κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (70%), από 10 έως 100 kPa (σχήμα 6.59α) για βάθη 0-50 m, ενώ συναντώνται και χαμηλότερες τιμές, σε μικρότερο ποσοστό σε βάθη που δεν ξεπερνούν τα 35 m. Τιμές $c > 100$ kPa παρατηρούνται σε διάφορα βάθη, εντός σταθερής έως στιφρής και τοπικά πολύ στιφρής, ισχνής αργίλου με άμμο, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας. Αναφορικά με την κατανομή των τιμών συνοχής στα αδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.59β), αυτές κυμαίνονται στο σύνολό τους από 1 έως 107 kPa και προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν κατά κύριο λόγο στα πρώτα 23.5 m.

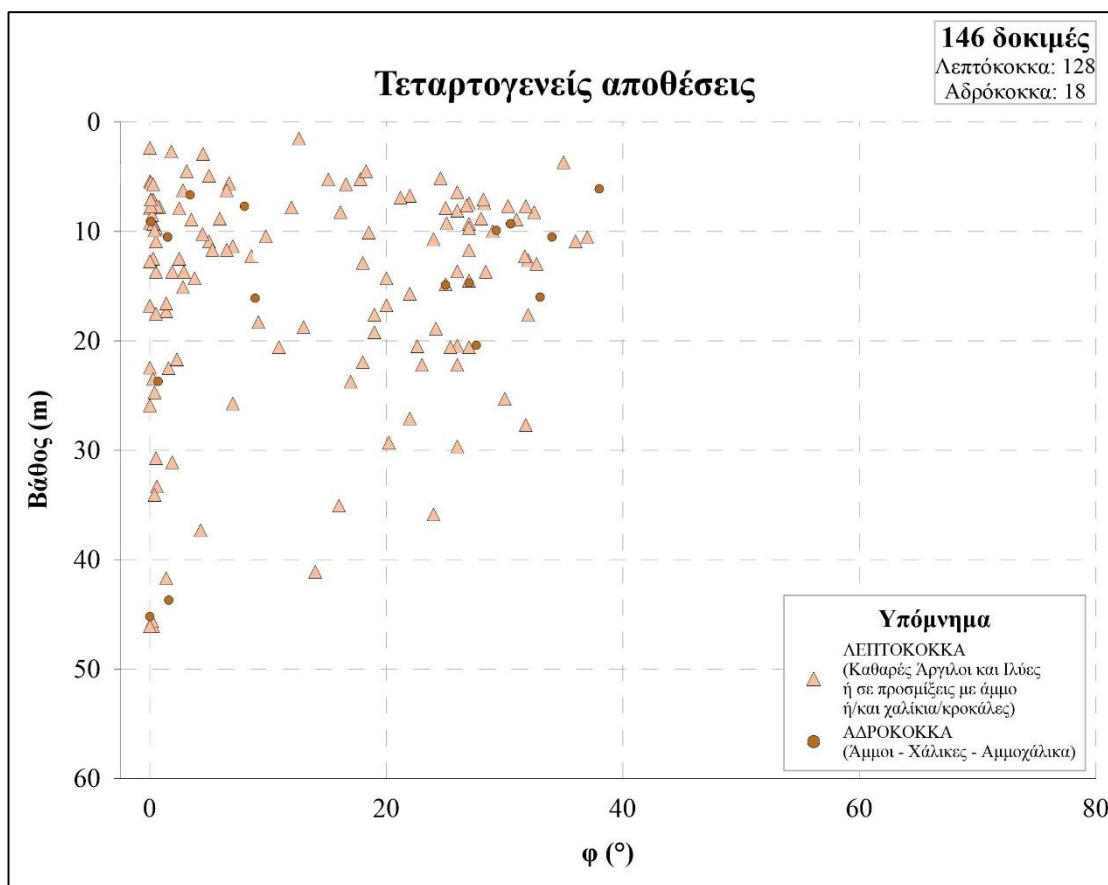


Σχήμα 6.58: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

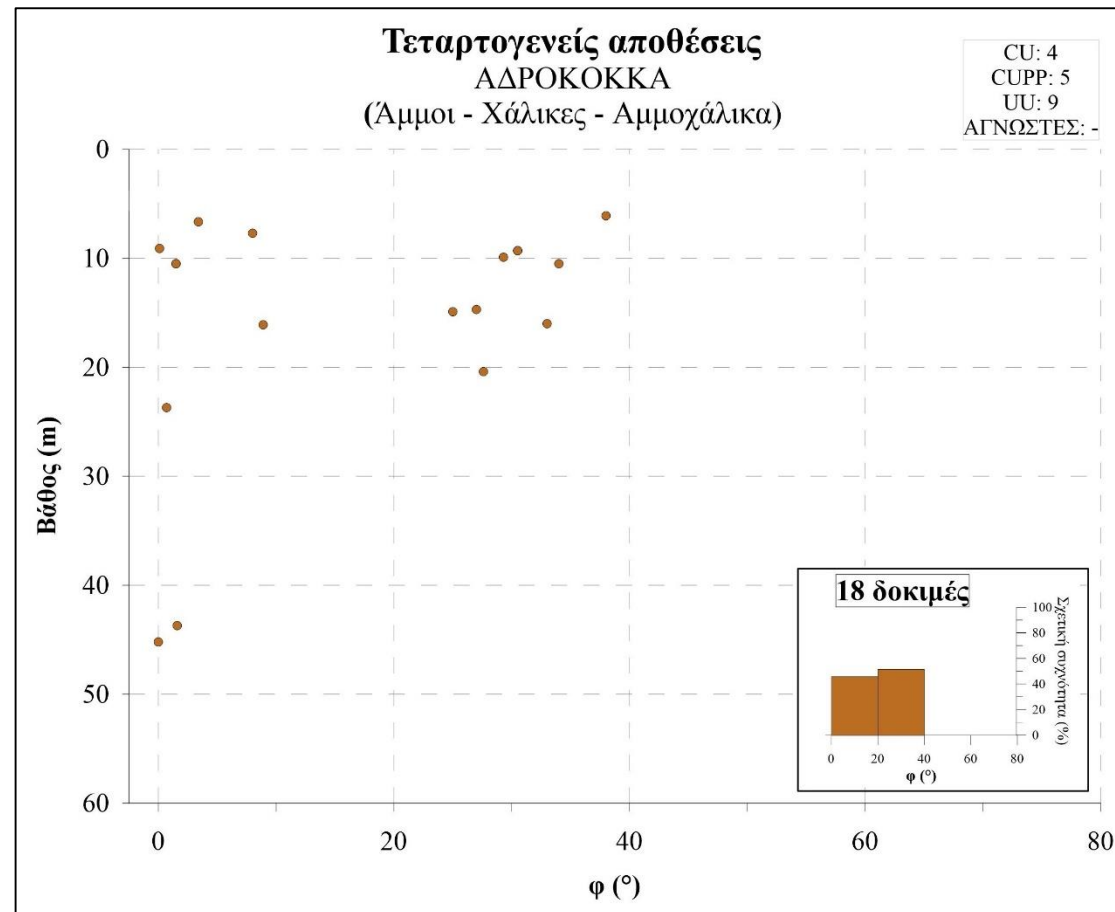
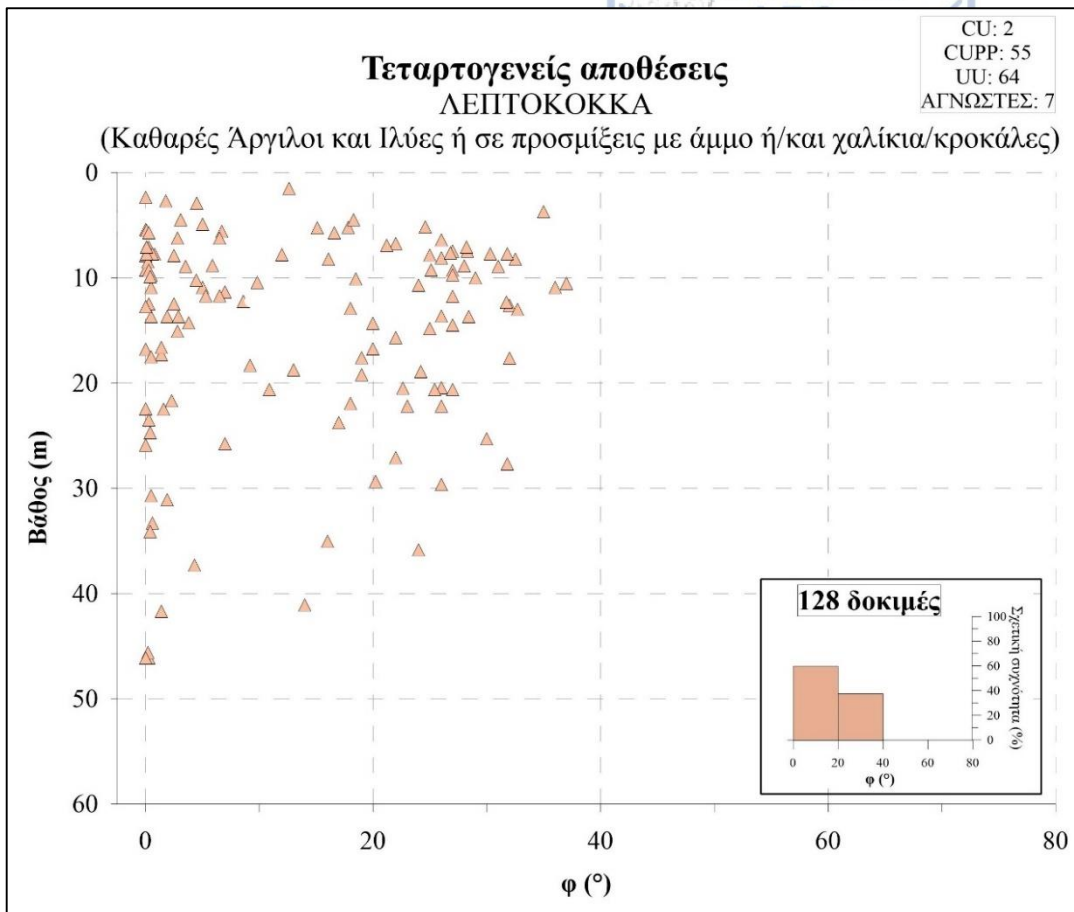


Σχήμα 6.59α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

Για τον προσδιορισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής, εκτελέστηκαν 146 δοκιμές τριαξονικής φόρτισης εκ των οποίων, οι 128 σε λεπτόκοκκα υλικά και οι 18 σε αδρόκοκκα (σχήμα 6.60). Ο κυρίαρχος τύπος είναι αυτός της ταχείας δοκιμής χωρίς στερεοποίηση και χωρίς αποστράγγιση (UU). Από το (σχήμα 6.61α.β) προκύπτει ότι οι τιμές τόσο στα λεπτόκοκκα υλικά, όσο και στα αδρόκοκκα, κυμαίνονται στο σύνολό τους, από 0 έως 40°. Τιμές $\phi = 0^\circ$ -20° εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 61% και 47% αντίστοιχα. Πρόκειται για δοκιμές τριαξονικής φόρτισης που διενεργήθηκαν, κατά κύριο λόγο, εντός σταθερής έως στιφρής και τοπικά πολύ στιφρής, αμμώδους ισχνής αργίλου με άμμο, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας κι εντός αργιλοιλώδους άμμου, πυκνής έως πολύ πυκνής με διάσπαρτα χαλίκια. Τέλος, τιμές $\phi = 20^\circ$ -40° εντοπίζονται σε ποσοστό της τάξης του 39% στα λεπτόκοκκα υλικά και 53% στα αδρόκοκκα.



Σχήμα 6.60: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας



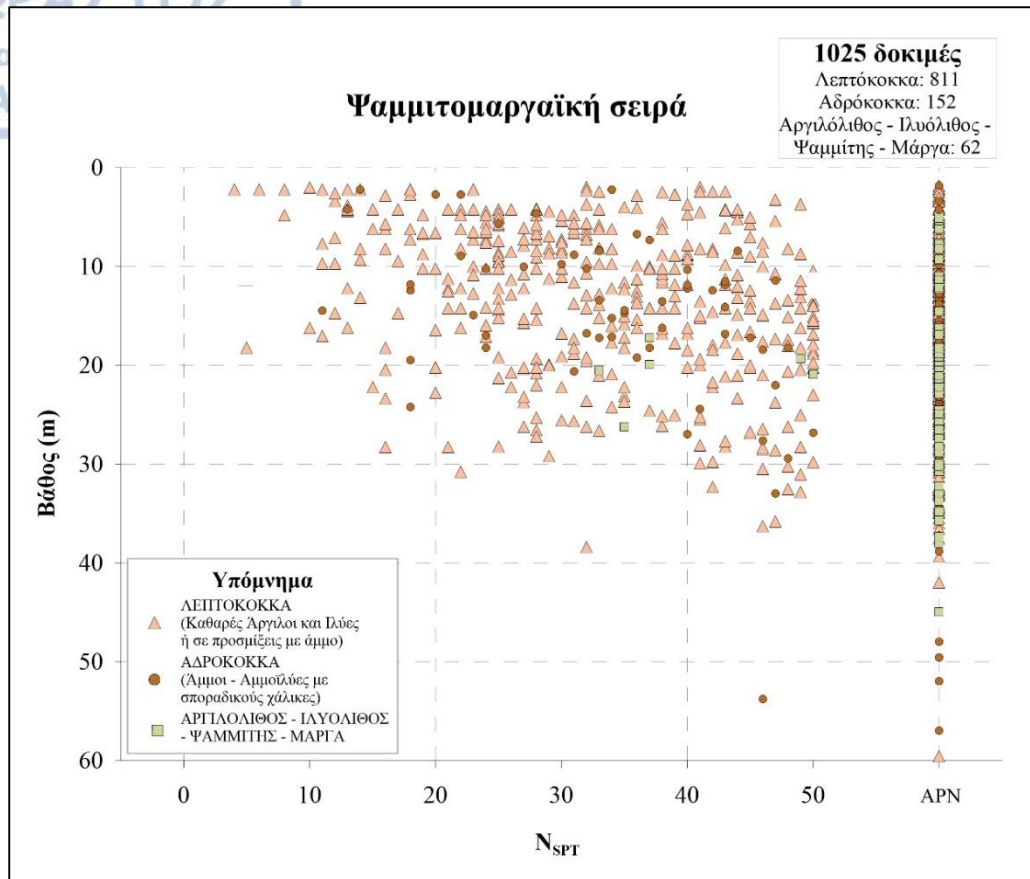
Σχήμα 6.61α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας

6.5.3 Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας

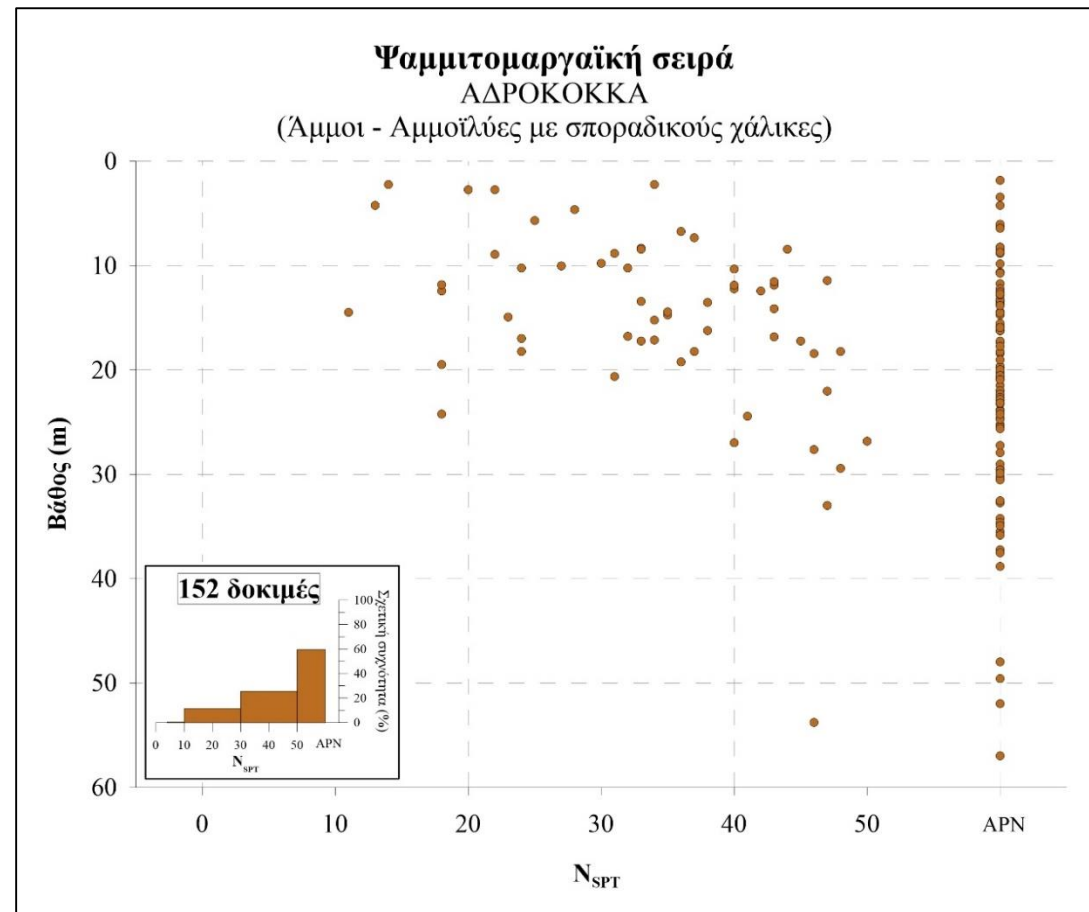
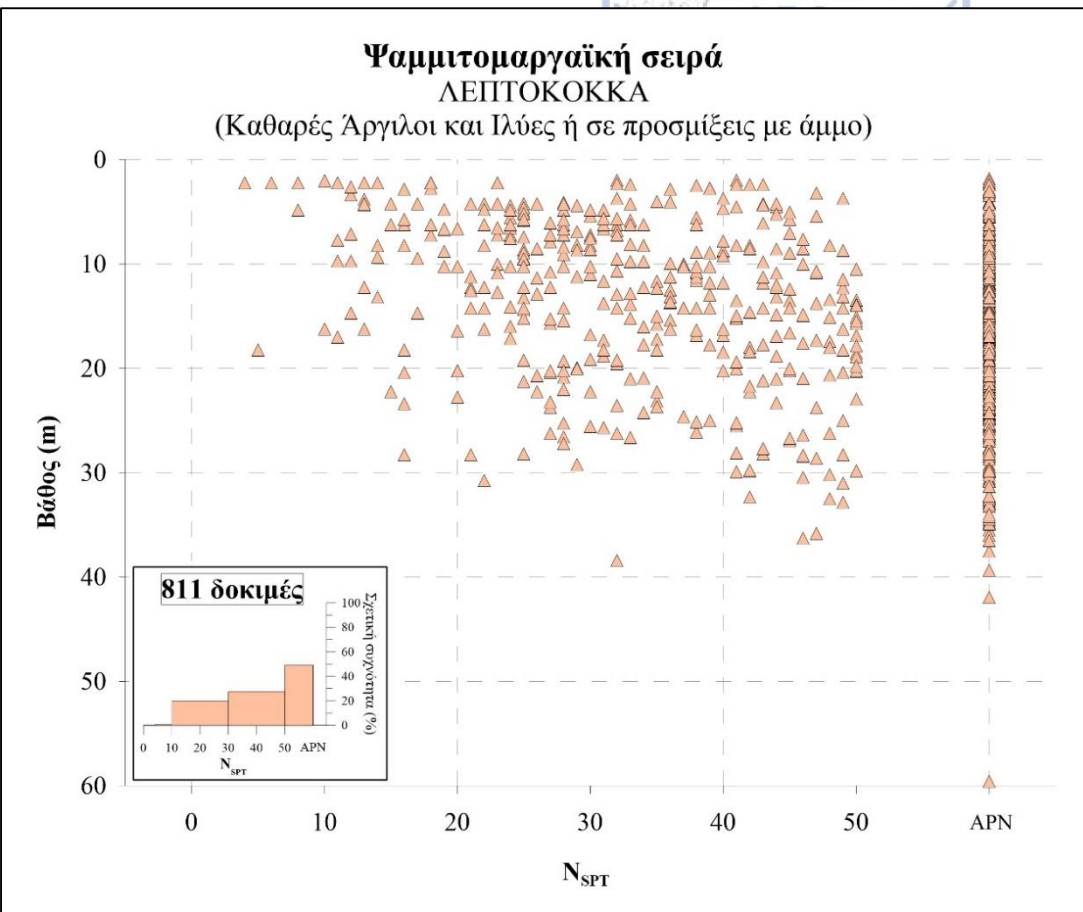
6.5.3.1 Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά

Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης - SPT

Εντός της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς έχουν εκτελεστεί 1025 δοκιμές πρότυπης διείσδυσης (σχήμα 6.62). Απ' αυτές, 811 αντιστοιχούν σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε λεπτόκοκκα υλικά, 152 σε αδρόκοκκα και 62 στους λοιπούς σχηματισμούς. Η πλειονότητα των δοκιμών έχει εκτελεστεί σε βάθη μικρότερα των 30 m. Σύμφωνα με το σχήμα 6.63α, για τα λεπτόκοκκα υλικά το 50% αντιστοιχεί σε αρνήσεις, ενώ μικρότερα ποσοστά της τάξης του 28% και 20% αντιστοιχούν σε $N_{SPT} = 30-50$ και $N_{SPT} = 10-30$ αντίστοιχα. Η κατανομή των τιμών SPT για τα αμμώδη παρουσιάζει παρόμοια εικόνα μ' αυτή των αργιλικών, με το ποσοστό των αρνήσεων να αγγίζει το 61% των δοκιμών (σχήμα 6.63β). Στην περίπτωση της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς παρατηρείται σταδιακή αύξηση των τιμών με το βάθος, όπου για βάθη μεγαλύτερα των 25 m τα αποτελέσματα των δοκιμών στα αδρόκοκκα υλικά αντιστοιχούν σε $N_{SPT} > 40$. Στα λεπτόκοκκα, αντίστοιχες τιμές επικρατούν σε βάθη μεγαλύτερα των 30 m. Ακόμη, ενδεικτικό του πολύ πυκνού και πολύ στιφρού έως σκληρού χαρακτήρα των σχηματισμών είναι ότι αυτοί συναντώνται συχνά, σε διάφορα βάθη, ως ημίβραχοι, δηλαδή ως ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή (στην περίπτωση των αδρόκοκκων) και αργιλόλιθοι, ιλυόλιθοι, μάργα (στην περίπτωση των λεπτόκοκκων). Οι σχηματισμοί αυτοί, παρότι ομαδοποιούνται στις αντίστοιχες κατατάξεις με βάση το επικρατέστερο υλικό (πίνακας 5.1), εντούτοις, εξετάζονται ως ξεχωριστή κατηγορία στις στατιστικές κατανομές λόγω της φύσης τους. Η πλειονότητα των τιμών SPT για τον αργιλόλιθο, τον ιλυόλιθο, τον ψαμμίτη και τη μάργα είναι μεγαλύτερες από 50 υποδηλώνοντας άρνηση διείσδυσης του δειγματολήπτη εντός των συγκεκριμένων σχηματισμών (Παράρτημα III).



Σχήμα 6.62: Διάγραμμα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (N_{SPT}) για την ψαμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων

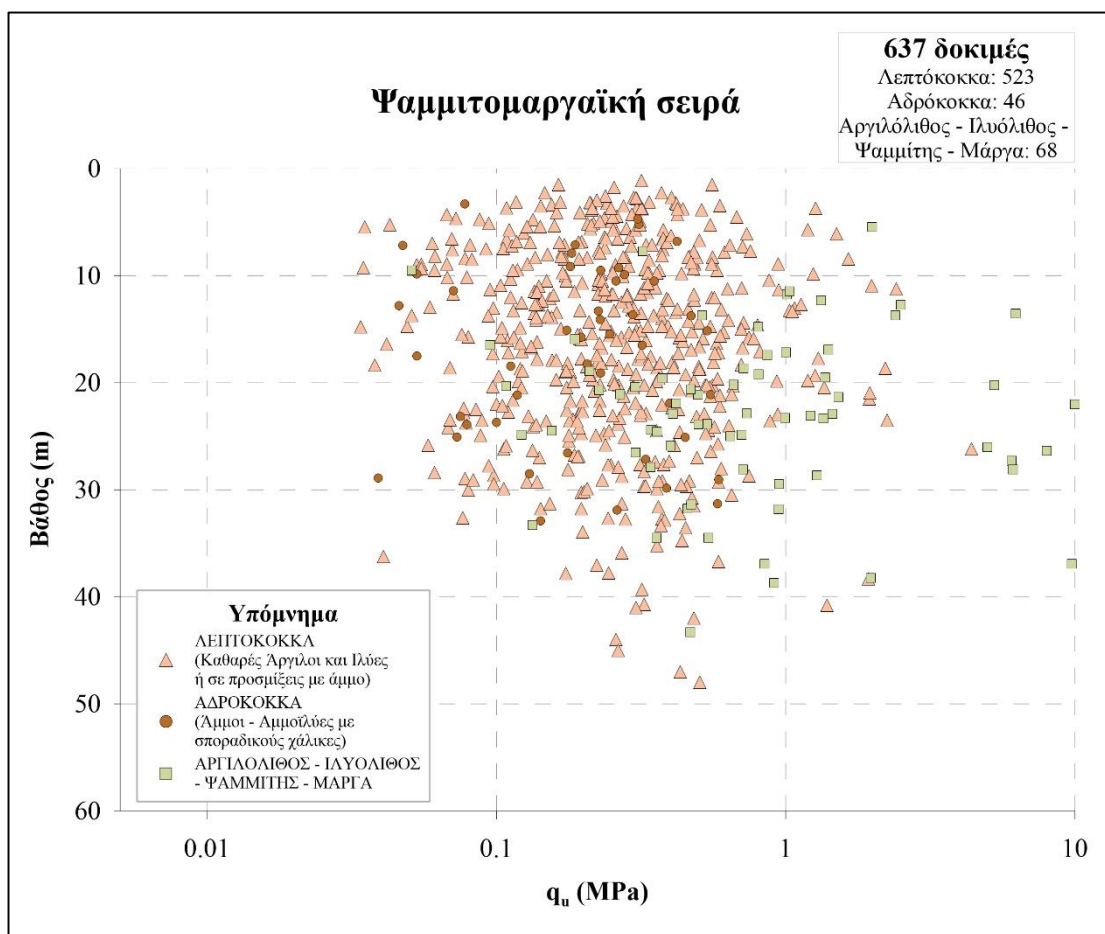


Σχήμα 6.63α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδυσης (N_{SPT}) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη - q_u

Σύμφωνα με το σχήμα 6.64 έχουν διεξαχθεί συνολικά 637 δοκιμές για τον προσδιορισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, εκ των οποίων 523 σε λεπτόκοκκα, 46 σε αδρόκοκκα και 68 σε λοιπούς σχηματισμούς. Από την αξιολόγηση του διαγράμματος της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων, προκύπτει ότι στην πλειονότητά τους οι τιμές κυμαίνονται από 0.1 έως 1 MPa (σχήμα 6.65α.β), όπως και στην περίπτωση των ερυθρών αργίλων.

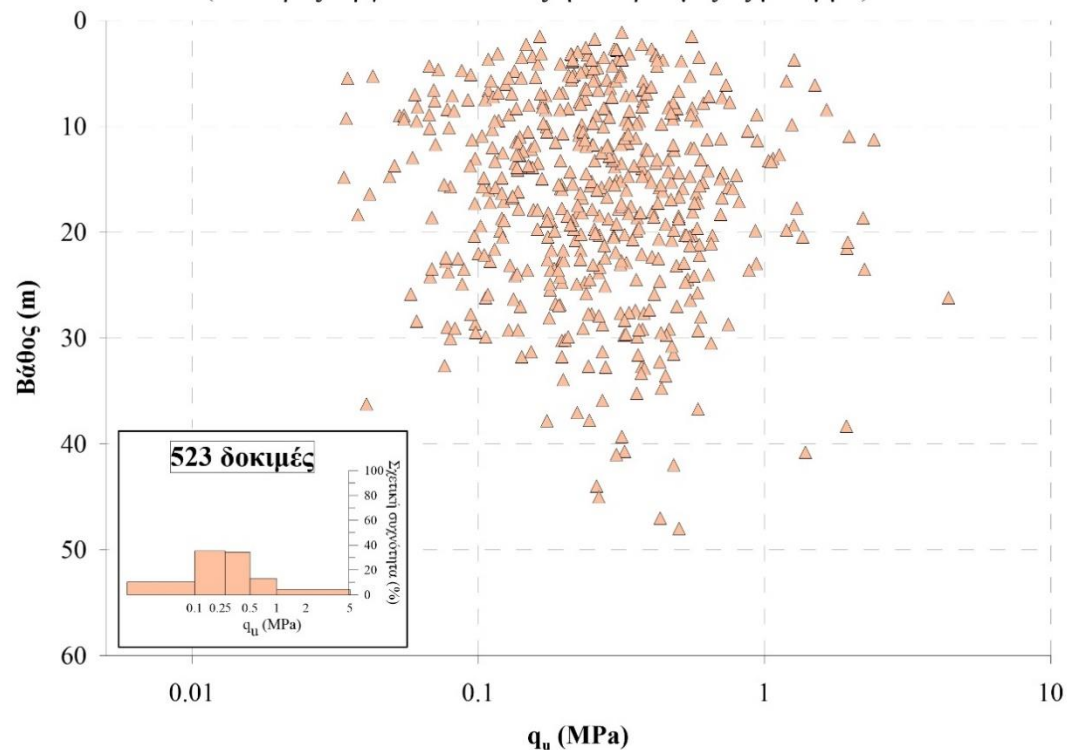
Πιο συγκεκριμένα, τόσο στα λεπτόκοκκα όσο και στα αδρόκοκκα υλικά εντοπίζονται κατά βάση τιμές q_u που καλύπτουν το εύρος 0.01-1 MPa, χωρίς ωστόσο να παρατηρούνται ιδιαίτερα χαμηλές τιμές (~0.01 MPa) και για τις δύο περιπτώσεις. Παρόλα αυτά, σε σχηματισμούς όπως η στιφρή έως πολύ στιφρή και τοπικά σκληρή παχιά άργιλος παρατηρήθηκαν τιμές $q_u > 1$ MPa ακόμη και σε βάθη μικρότερα των 5 m. Τέλος, σε βάθη όπου εκτελέστηκαν δοκιμές με σκοπό τον προσδιορισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη και συναντήθηκαν σχηματισμοί όπως ο ασθενής ιθόλιθος/αργιόλιθος/ψαμμίτης ή η στιφρή έως πολύ στιφρή μάργα η οποία κοκκομετρικά χαρακτηρίζεται ως ιλύς μικρής-μέσης πλαστικότητας απαντώνται τιμές $q_u > 5$ MPa (Παράρτημα ΙΙΙ).



Σχήμα 6.64: Διάγραμμα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων

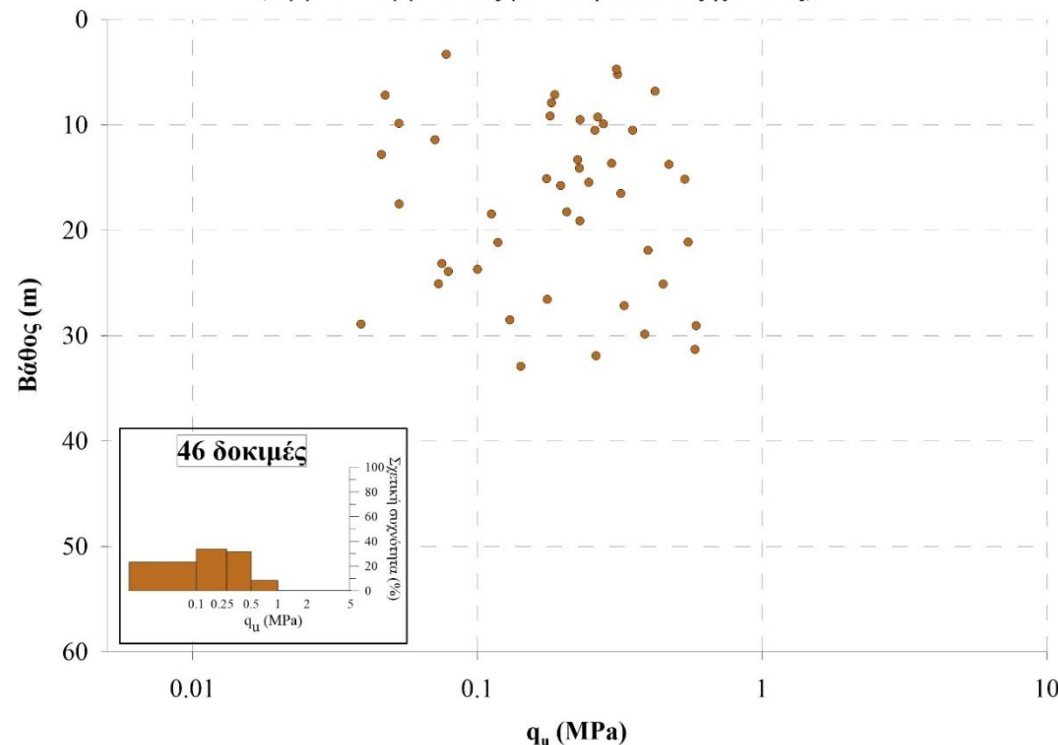
Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο)



Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

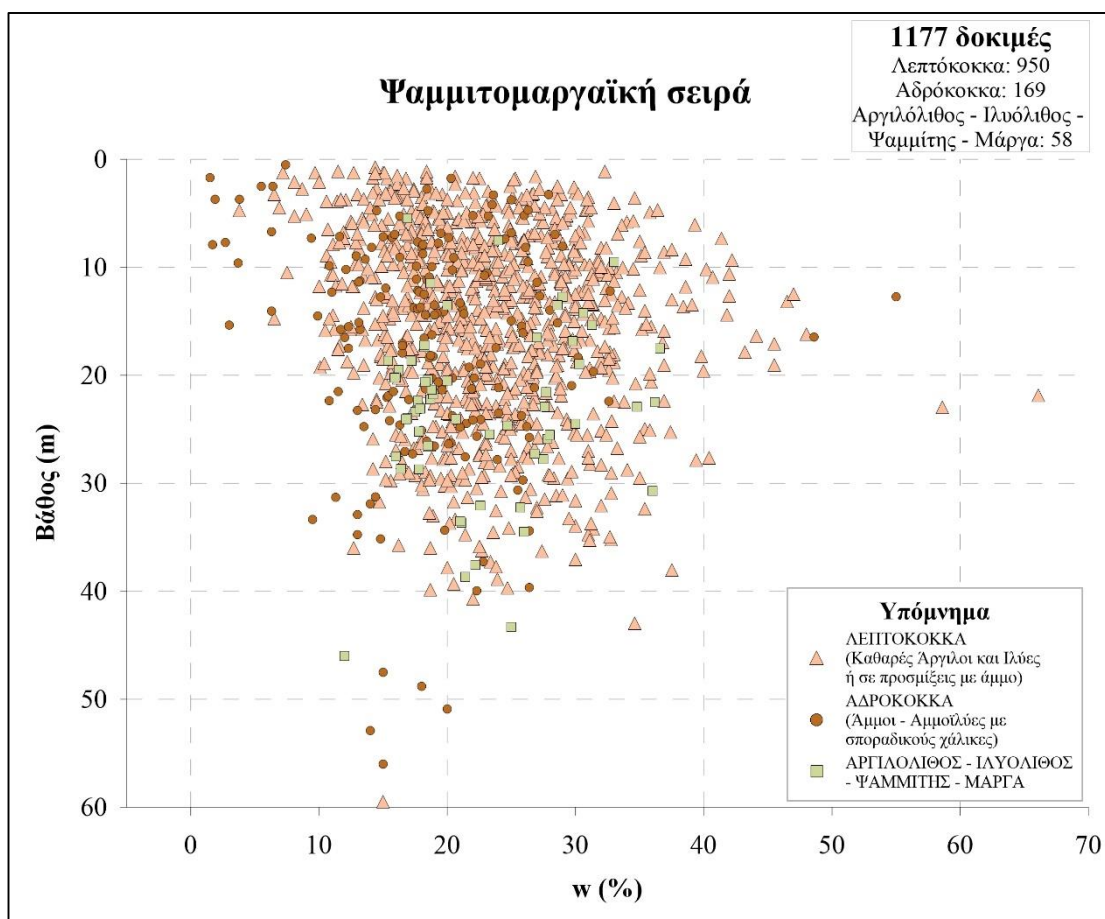
(Άμμοι - Αμμοϊλύες με σποραδικούς χάλικες)



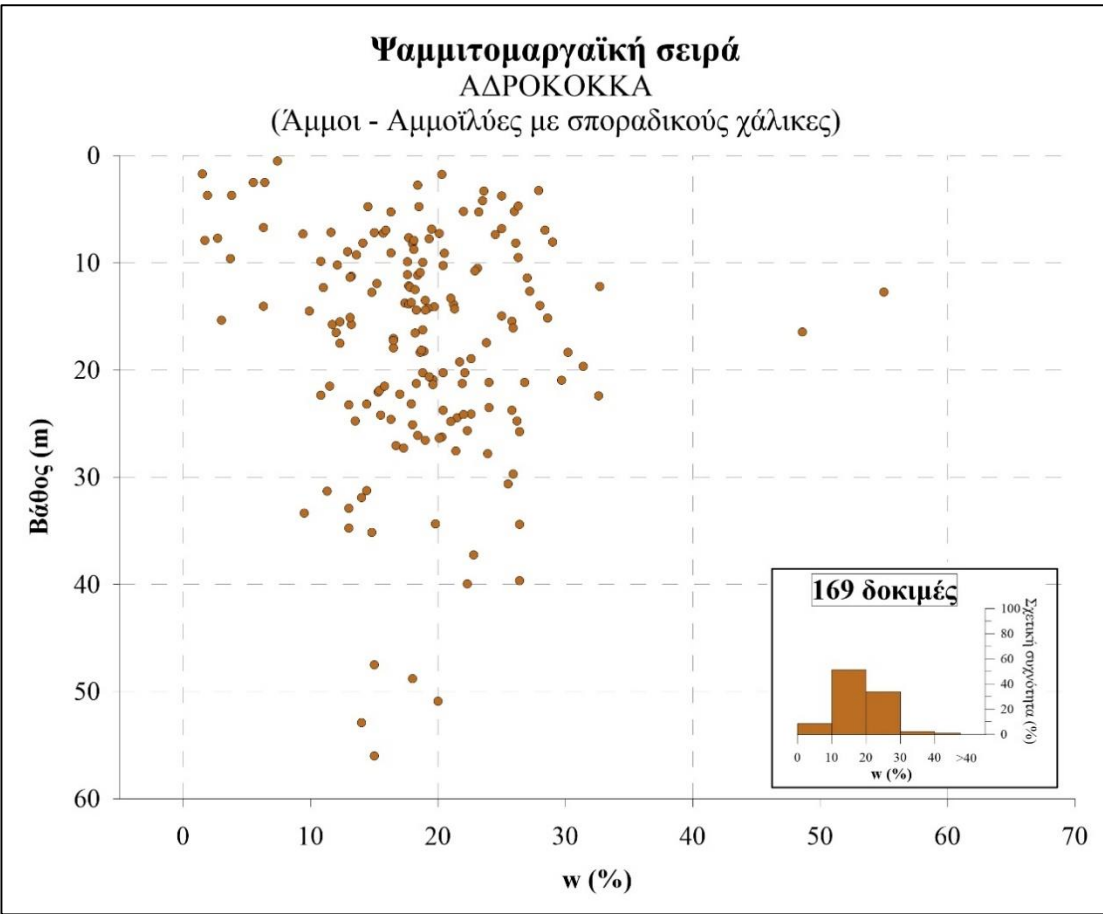
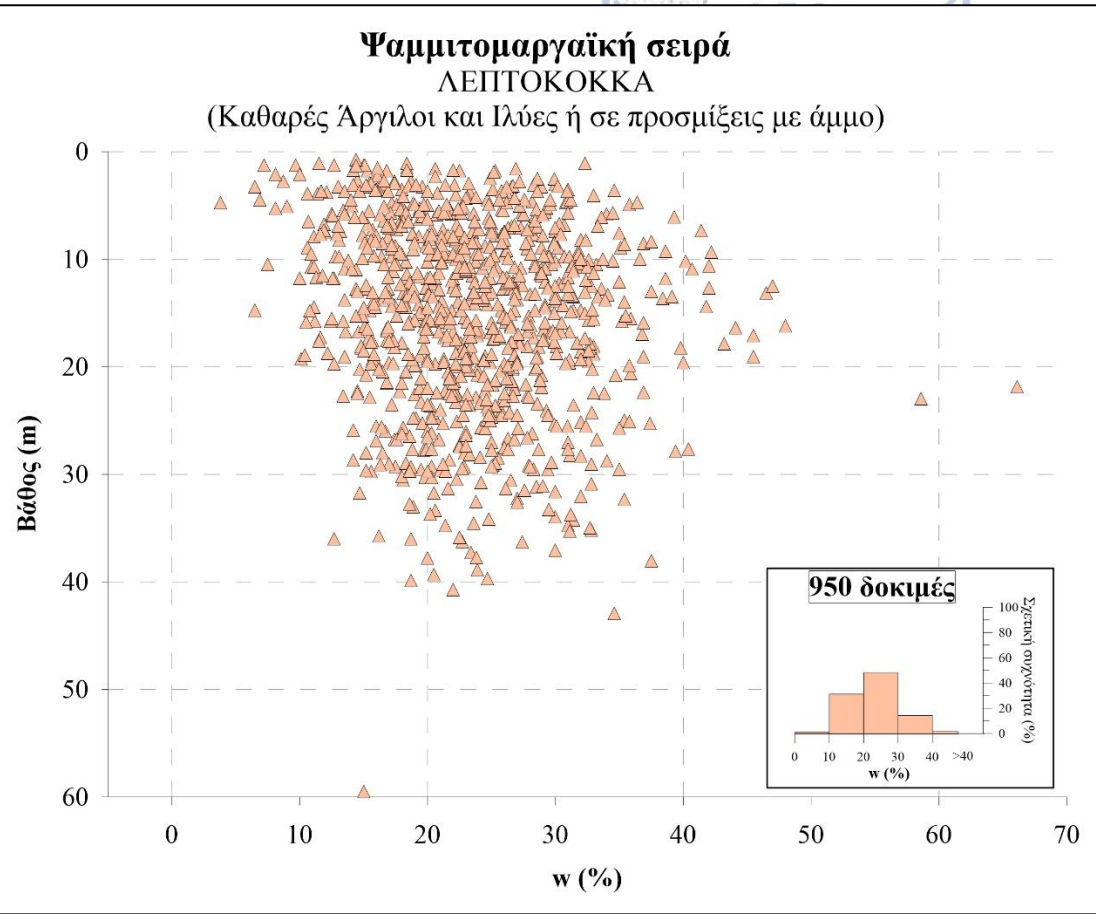
Σχήμα 6.65α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Περιεχόμενη υγρασία - w

Στο σχήμα 6.66 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών της περιεχόμενης υγρασίας με το βάθος για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων. Σύμφωνα μ' αυτό, έχουν διεξαχθεί συνολικά 1177 δοκιμές, εκ των οποίων 950 σε λεπτόκοκκα, 169 σε αδρόκοκκα και 58 σε λοιπούς σχηματισμούς. Από την αξιολόγηση του διαγράμματος, προκύπτει ότι στην πλειονότητά τους οι τιμές κυμαίνονται από 10 έως 30%. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζονται κατά βάση τιμές $w=10-20\%$ σε ποσοστό 32% για τα λεπτόκοκκα και 53% για τα αδρόκοκκα, καθώς και $w=20-30\%$ σε ποσοστό 50% και 35% αντίστοιχα (σχήμα 6.67α.β). Οι χαμηλότερες τιμές περιεχόμενης υγρασίας ($<10\%$) εντοπίζονται σε δείγματα μετρίως πυκνής έως πυκνής, ιλυώδους-αργιλώδους άμμου. Αναφορικά με τους υπόλοιπους σχηματισμούς παρατηρούνται τιμές οι οποίες βρίσκονται εντός του εύρους $w=12-36\%$ και προέρχονται από δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός πολύ σφιγρής μάργας, ασθενούς, ιλυώδους ψαμμίτη, πολύ ασθενούς ασβεστιτικού ιλυολίθου και αργιολίθου με ανθρακικά συσσωματώματα (Παράρτημα III).



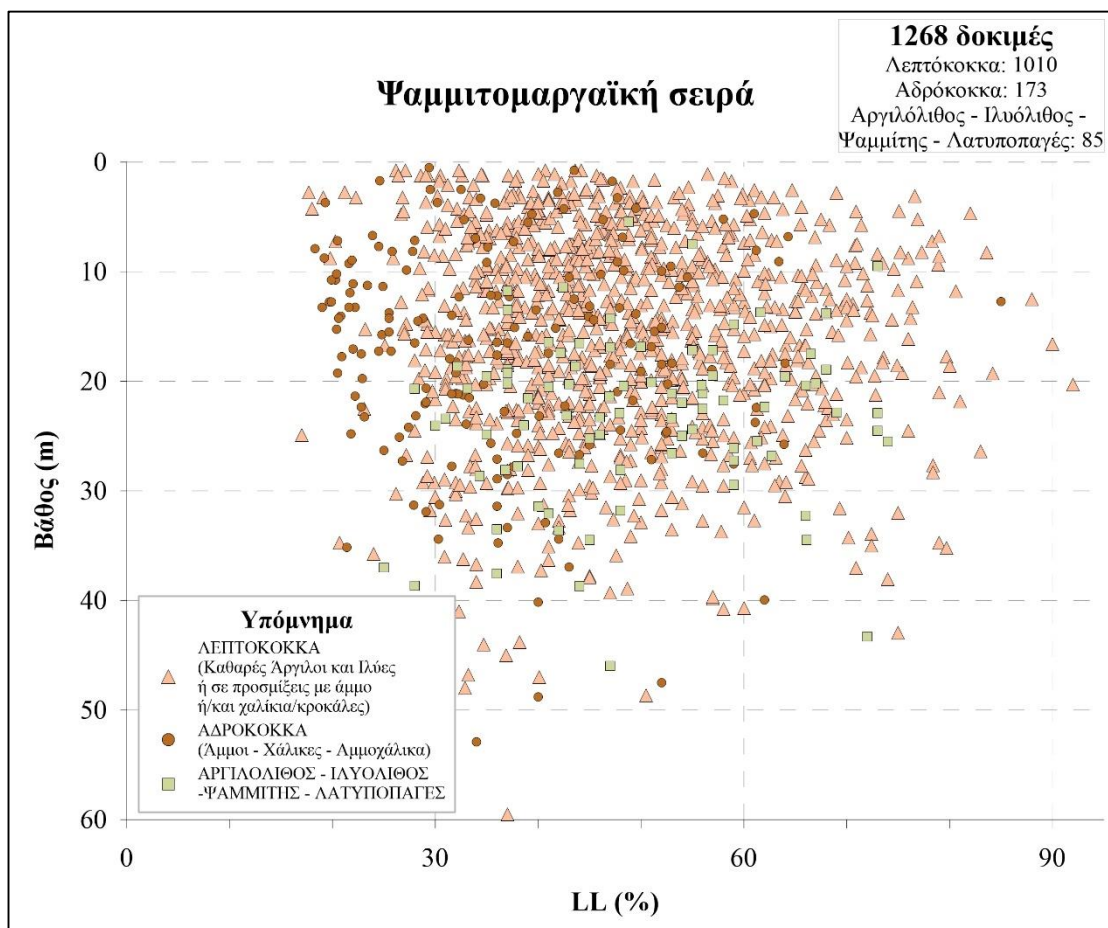
Σχήμα 6.66: Διάγραμμα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων



Σχήμα 6.67α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογένων αποθέσεων

Όριο υδαρότητας - LL

Σύμφωνα με το σχήμα 6.68 έχουν διεξαχθεί συνολικά 1268 δοκιμές για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας στο σχηματισμό της ψαμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων, εκ των οποίων 1010 σε λεπτόκοκκα, 173 σε αδρόκοκκα και 85 σε λοιπούς σχηματισμούς. Στην πλειονότητά τους τα δείγματα ελήφθησαν για τα πρώτα 40 m. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την επικράτηση τιμών $35\% \leq LL \leq 70\%$ στα λεπτόκοκκα υλικά (σχήμα 6.69α) καθώς και σε σχηματισμούς όπως ο ιλύολιθος, ο αργιλόλιθος, η μάργα, ο μαργαϊκός ασβεστόλιθος κι ο ψαμμίτης (Παράρτημα ΙΙΙ). Στα αδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.69β) η μέγιστη τιμή που παρατηρείται είναι $LL = 85\%$ στα 12.5 m σε δείγμα χαλικώδους άμμου, υψηλής πλαστικότητας, πυκνής έως πολύ πυκνής αποθέσεως. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη τιμή θεωρείται ακραία, καθώς δεν αποτελεί τυπικό παράδειγμα του συνόλου των τιμών για βάθη 10-15 m, οι οποίες δεν ξεπερνούν το 55% χαρακτηρίζοντας τα εδαφικά υλικά ως χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας (σχήμα 6.69).

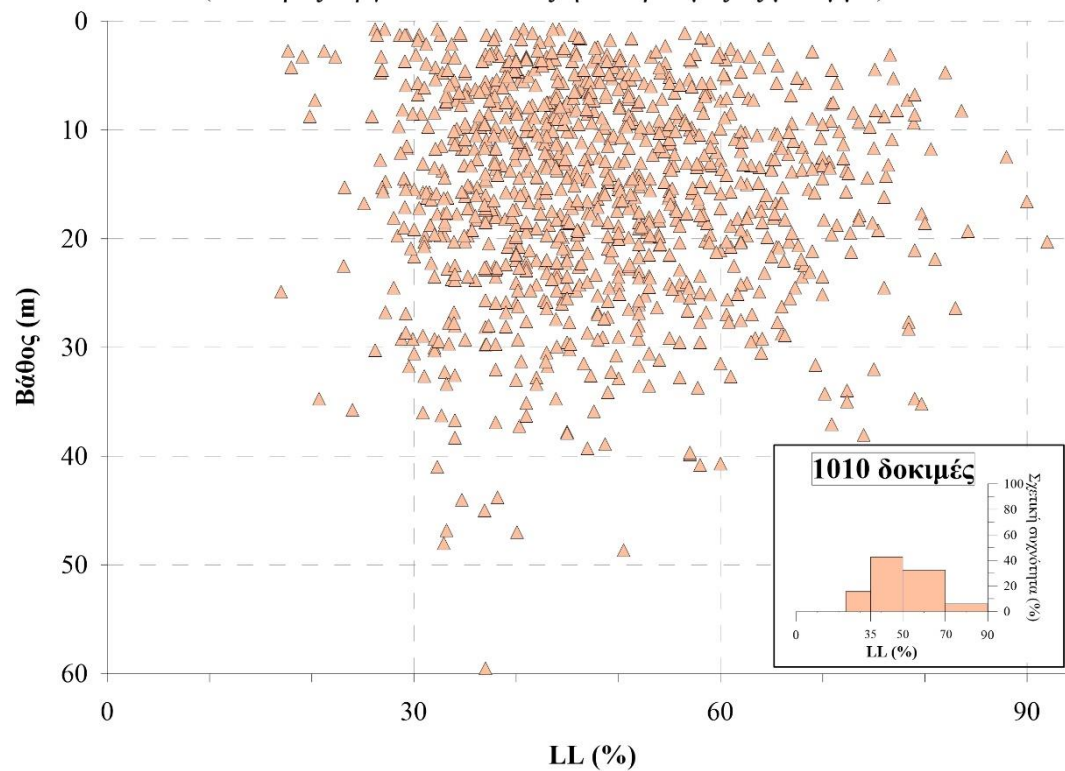


Σχήμα 6.68: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για την ψαμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων

Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

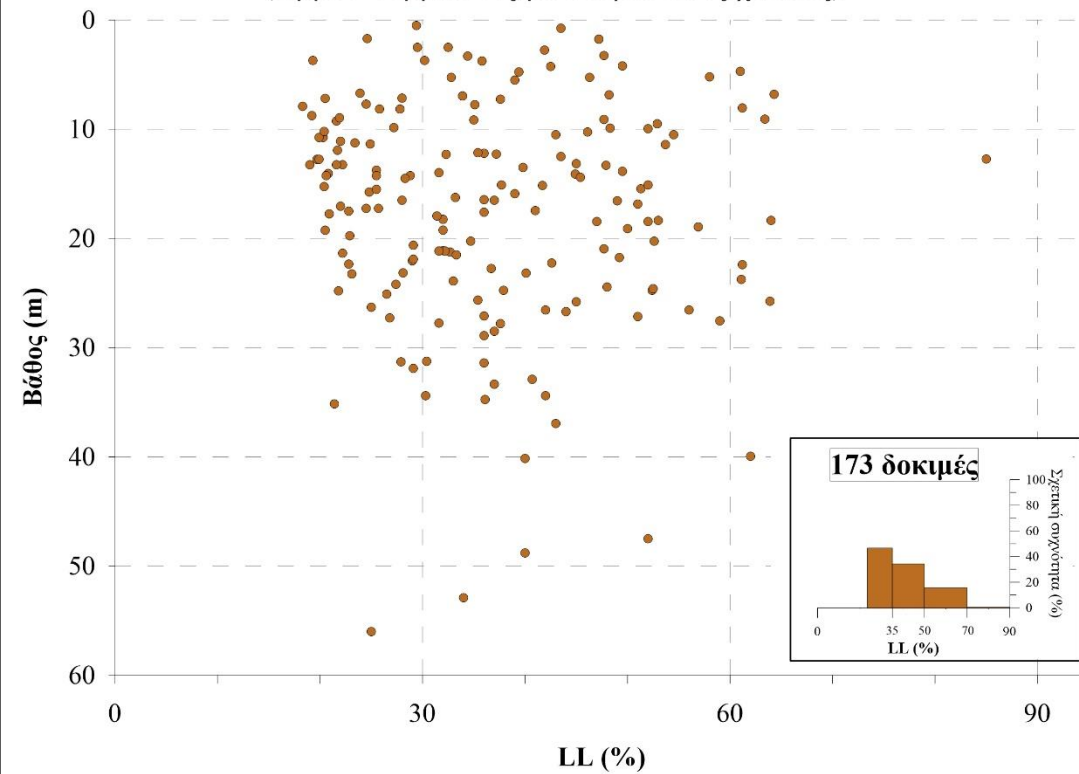
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο)



Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

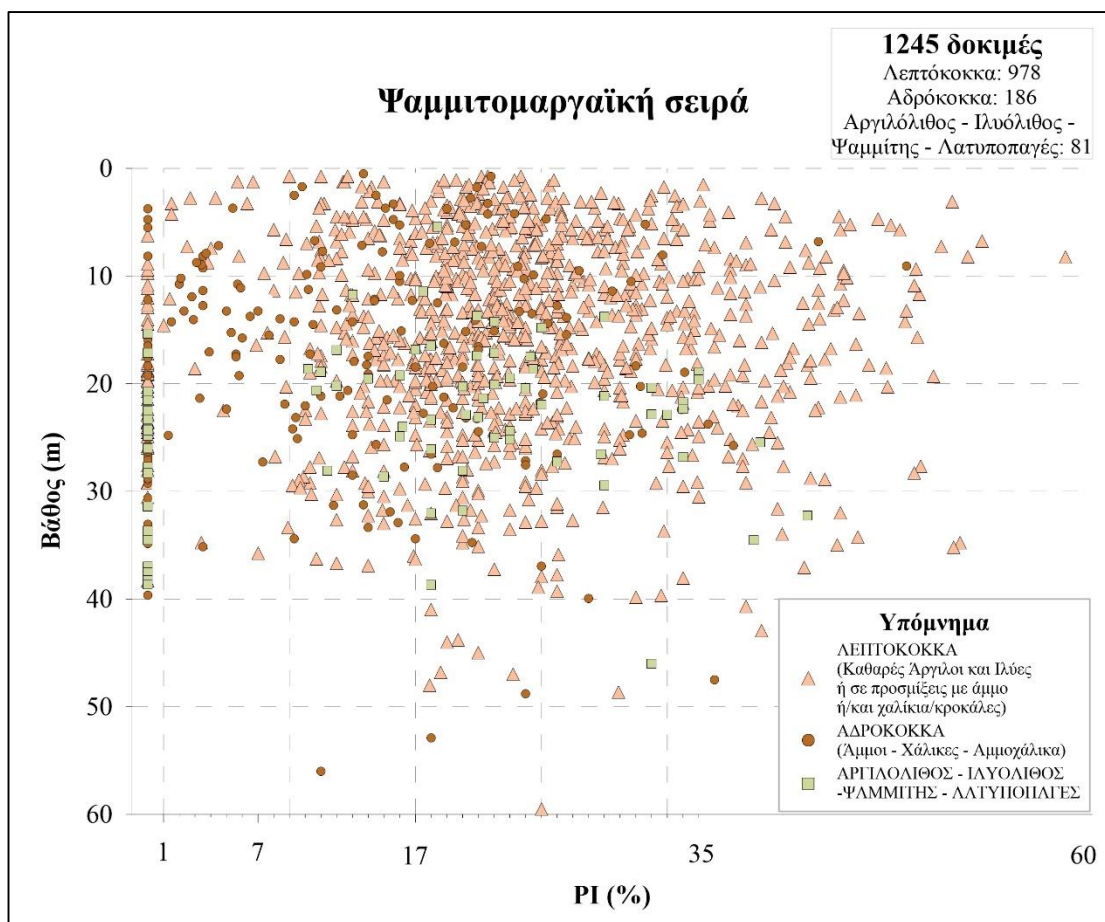
(Άμμοι - Αμμοϊλύες με σποραδικούς χάλικες)



Σχήμα 6.69α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Δείκτης πλαστικότητας - PI

Τα διαθέσιμα δεδομένα του δείκτη πλαστικότητας με το βάθος για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων, παρουσιάζονται στο σχήμα 6.70. Σύμφωνα με τα διαγράμματα, συνολικά εκτελέστηκαν 1245 δοκιμές, εκ των οποίων 978 σε λεπτόκοκκα υλικά, 186 σε αδρόκοκκα και 81 σε λοιπούς σχηματισμούς. Σε ότι αφορά στο λεπτόκοκκο κλάσμα (σχήμα 6.71α), το 62% αντιστοιχεί σε τιμές $17 \leq PI \leq 35$ προσδιορίζοντας υλικά υψηλής πλαστικότητας. Το ποσοστό για το αντίστοιχο εύρος τιμών στα αδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.71β), είναι μόλις 32%, ενώ τα υπόλοιπα διαθέσιμα δεδομένα αντιστοιχούν είτε σε μη πλαστικά υλικά, είτε σε εδάφη χαμηλής πλαστικότητας. Στο διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας για τους λοιπούς σχηματισμούς (Παράρτημα ΙΙΙ), παρατηρείται επικράτηση στις τιμές $7 \leq PI \leq 35$ με την πλειονότητα αυτών να έχουν διεξαχθεί στο βάθος 10-40 m. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρατηρούνται και κάποιες τιμές $PI=0$. Πρόκειται για δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός ασθενούς, ιλυώδους ψαμμίτη ο οποίος κοκκομετρικά χαρακτηρίζεται ως λεπτόκοκκη, ιλυώδης άμμος, χωρίς πλαστικότητα, ή εντός ασθενούς ιλυόλιθου, χωρίς πλαστικότητα.

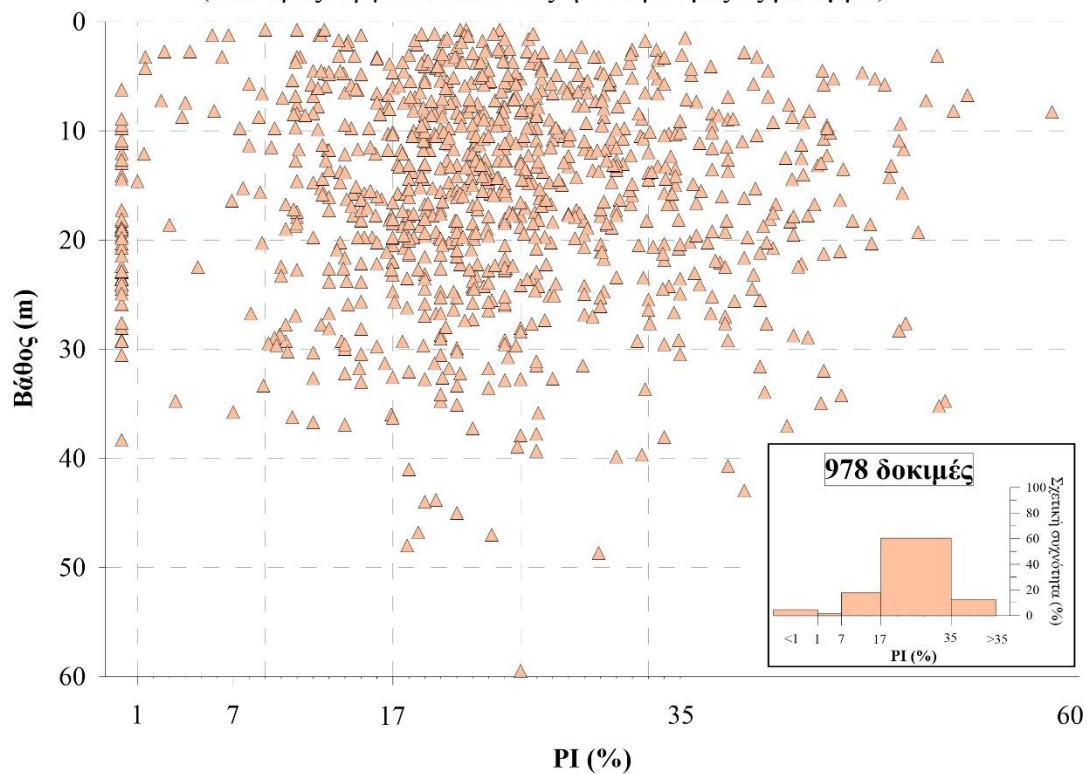


Σχήμα 6.70: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων

Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

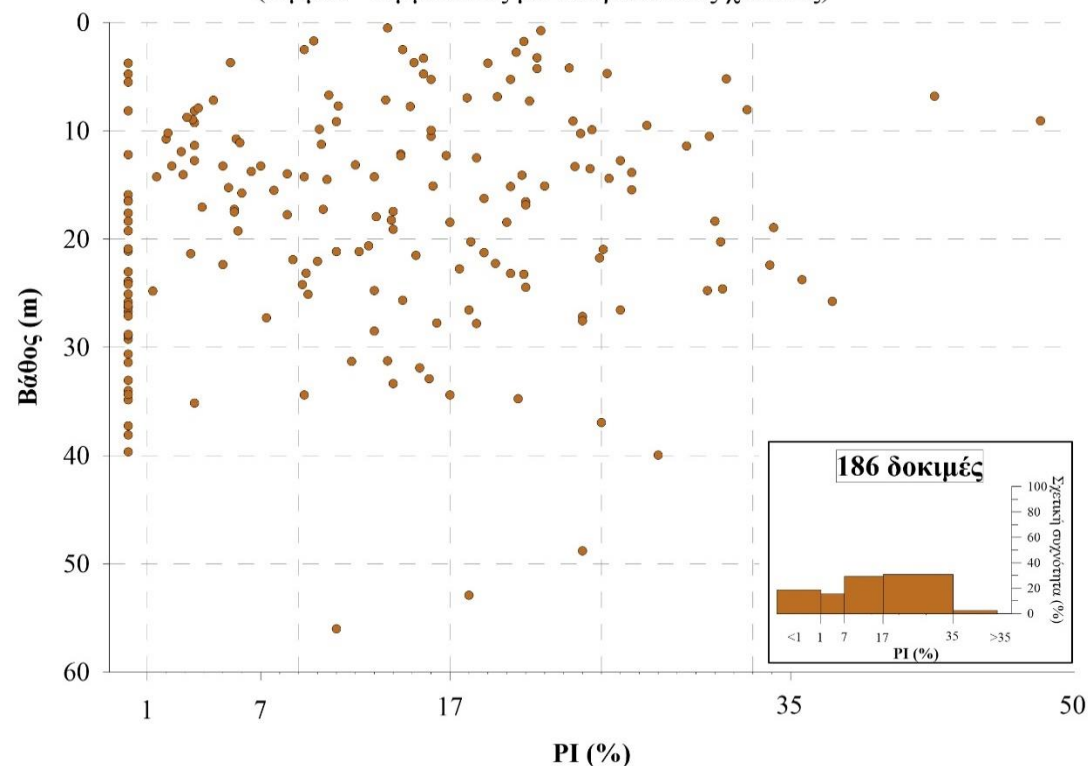
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο)



Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

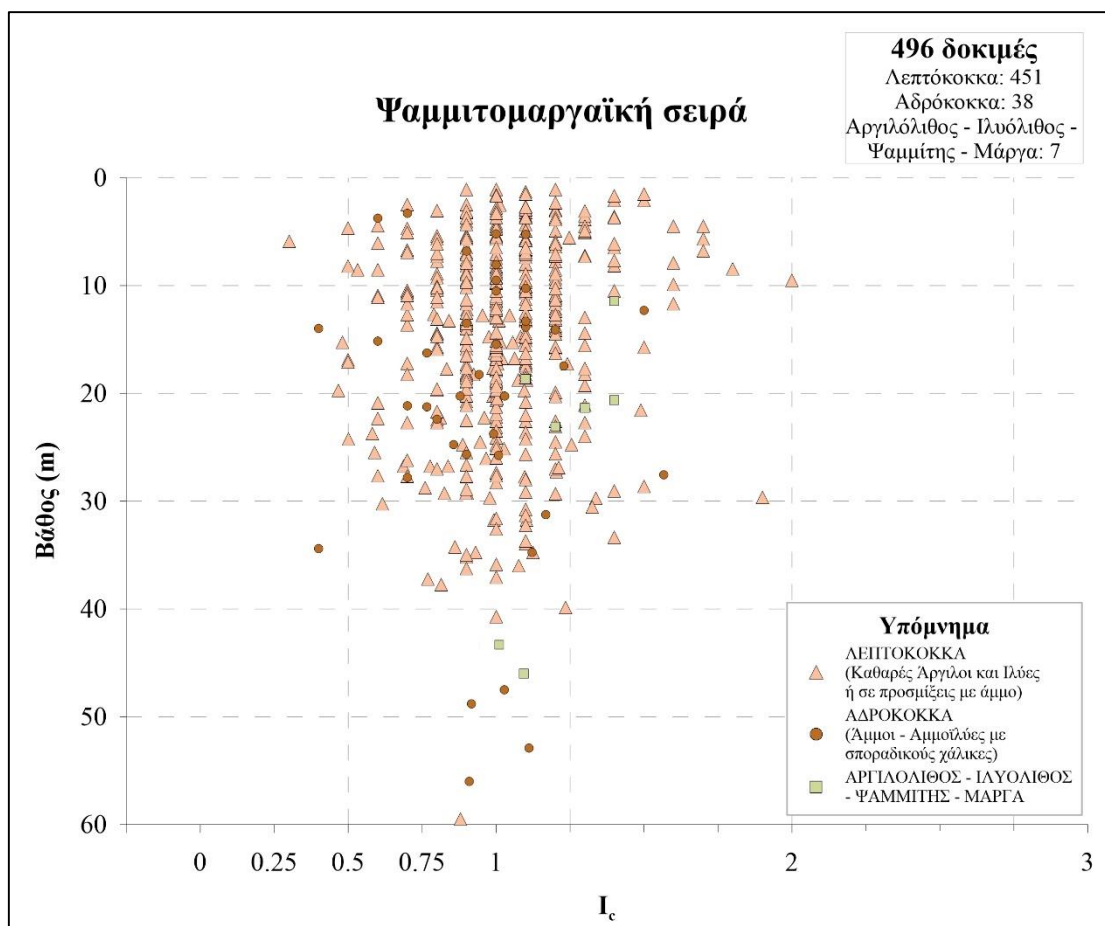
(Άμμοι - Αμμοιλύες με σποραδικούς χάλικες)



Σχήμα 6.71α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Δείκτης συνεκτικότητας – I_c

Στο σχήμα 6.72 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη συνεκτικότητας με το βάθος για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων. Σύμφωνα μ' αυτό, εκτελέστηκαν συνολικά 496 δοκιμές, εκ των οποίων 451 σε λεπτόκοκκα υλικά, 38 σε αδρόκοκκα και 7 σε λοιπούς σχηματισμούς. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την επικράτηση τιμών $I_c > 0.75$ σε ποσοστό 92% στα λεπτόκοκκα υλικά, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στα αδρόκοκκα είναι 82% χαρακτηρίζοντας τους εδαφικούς σχηματισμούς ως πολύ στιφρούς έως σκληρούς (σχήμα 6.73α.β). Τιμές $0.25 < I_c \leq 0.50$ εμφανίζονται και στις δύο περιπτώσεις αλλά σε πολύ μικρό ποσοστό. Αυτές εντοπίζονται κατά βάση εντός αμμώδους αργίλου η οποία εμφανίζεται τοπικά με χαμηλή πλαστικότητα, καθώς κι εντός αργιλώδους άμμου με σημαντικό ποσοστό χαλίκων. Αναφορικά με τις τιμές I_c των υπόλοιπων σχηματισμών (Παράρτημα ΙΙΙ), αυτές είναι στο σύνολό τους μεγαλύτερες της μονάδας. Οι δοκιμές για τον προσδιορισμό του I_c πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα σκληρής ασβεστιτικής ισχνής-παχιάς αργίλου, καθώς και εντός αμμώδους ιλυολίθου, ιλυώδους ψαμμίτη και αργιολίθου με ασβεστιτικά συγκρίματα.

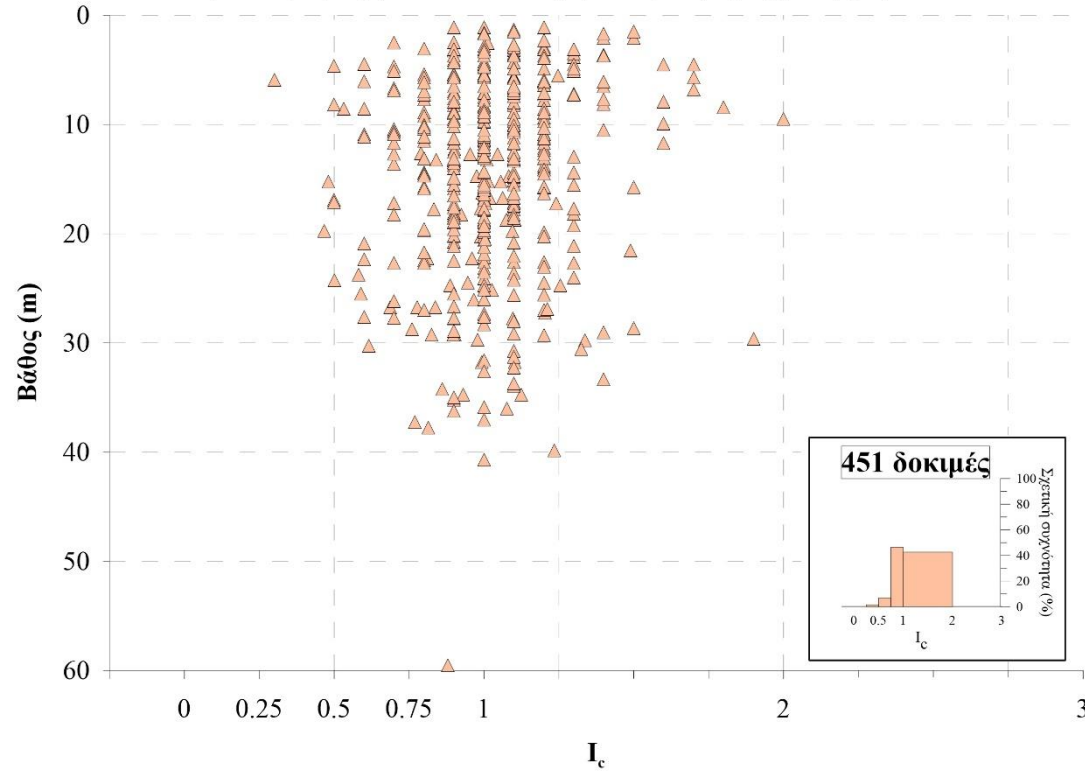


Σχήμα 6.72: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων

Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

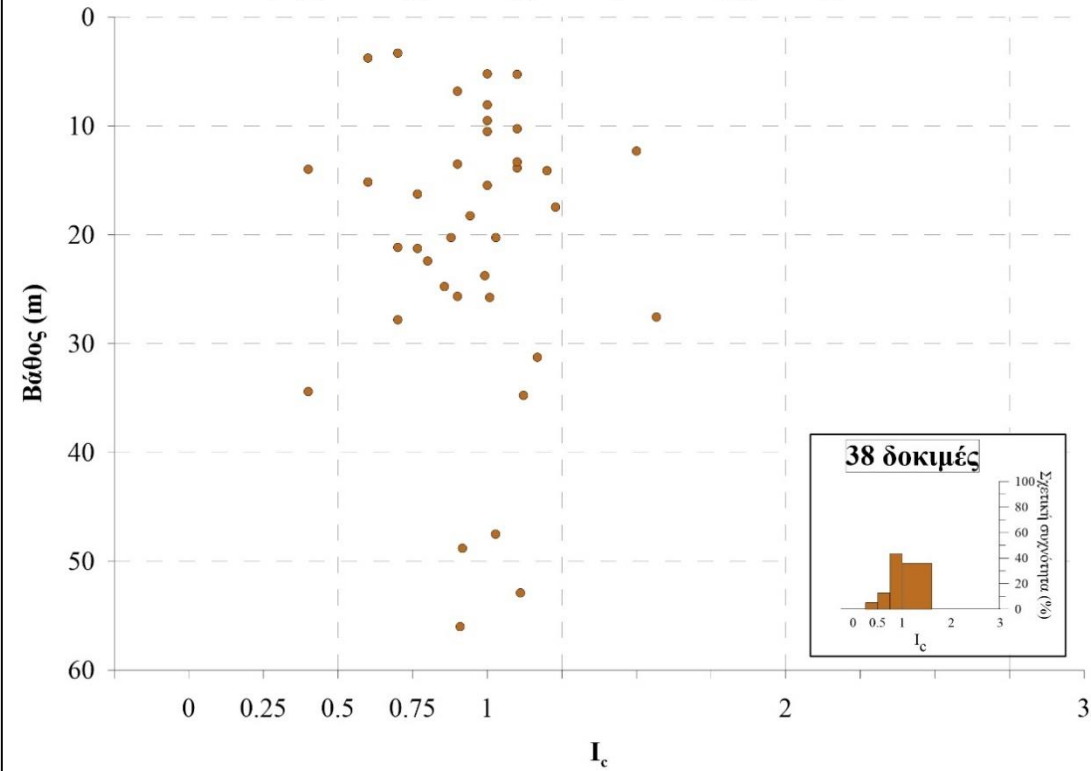
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο)



Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

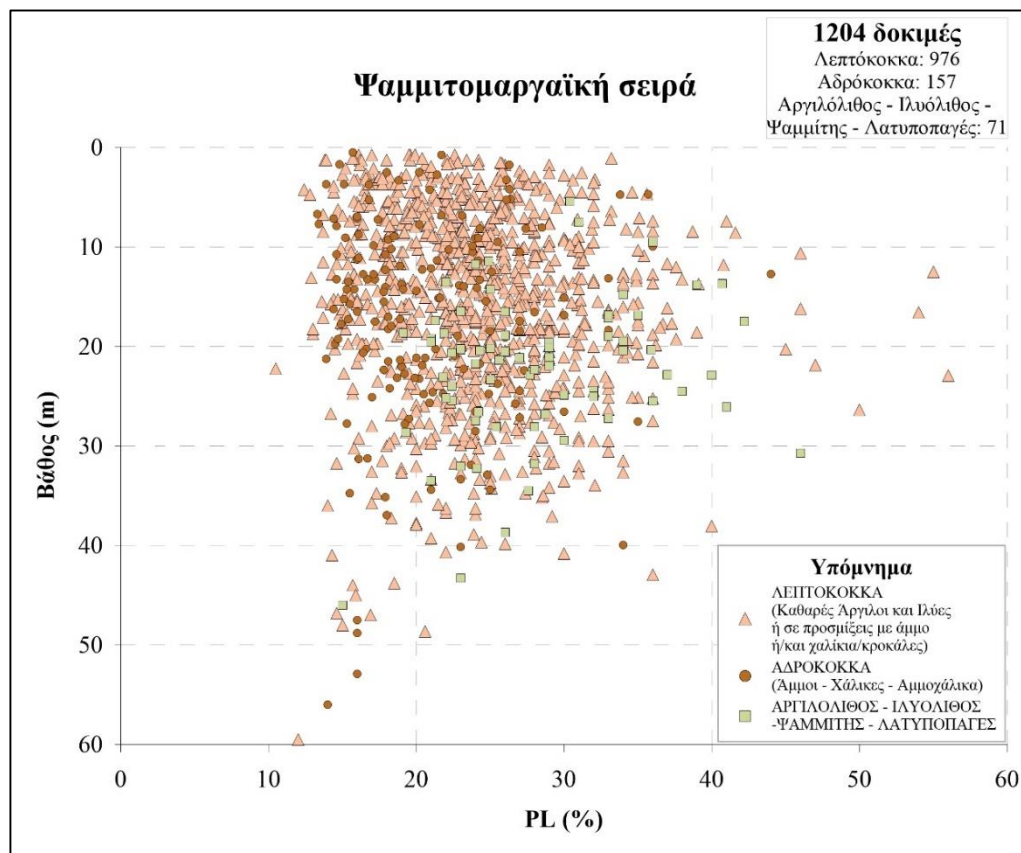
(Άμμοι - Αμμοϊλύες με σποραδικούς χάλικες)



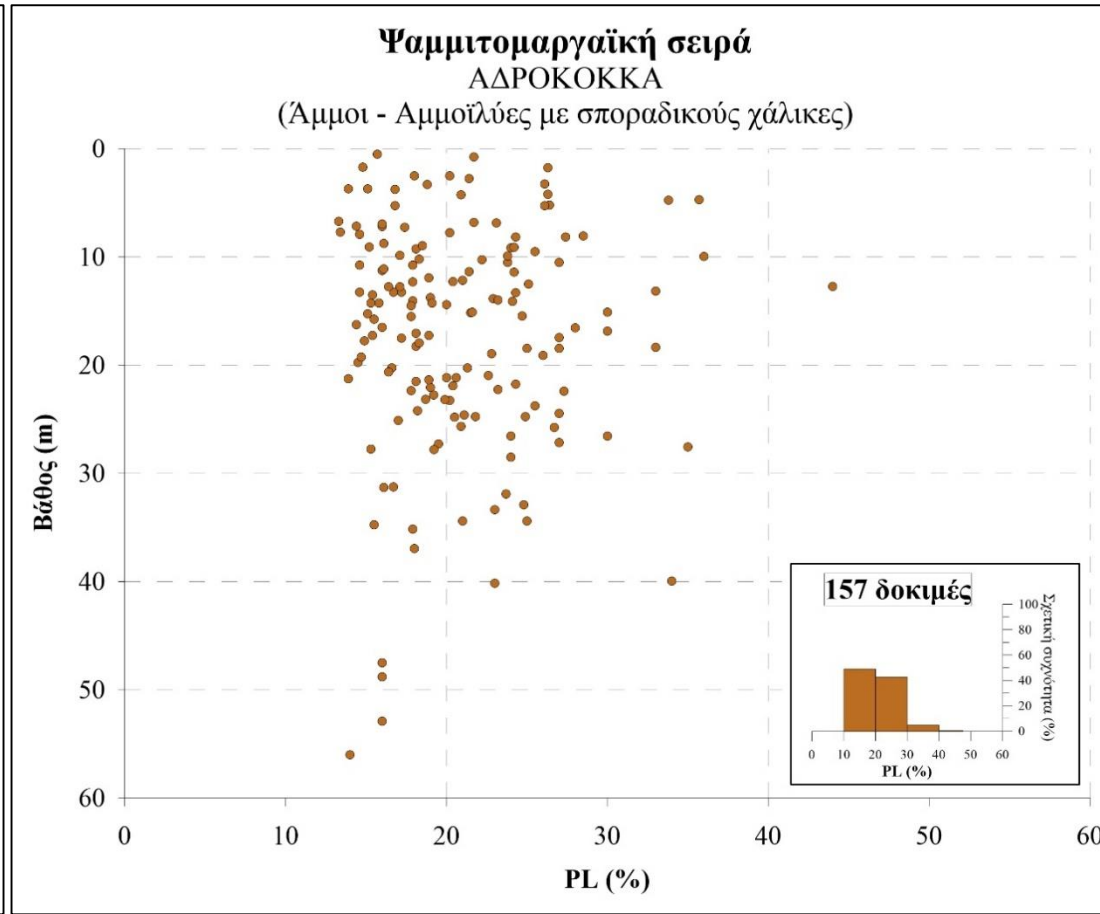
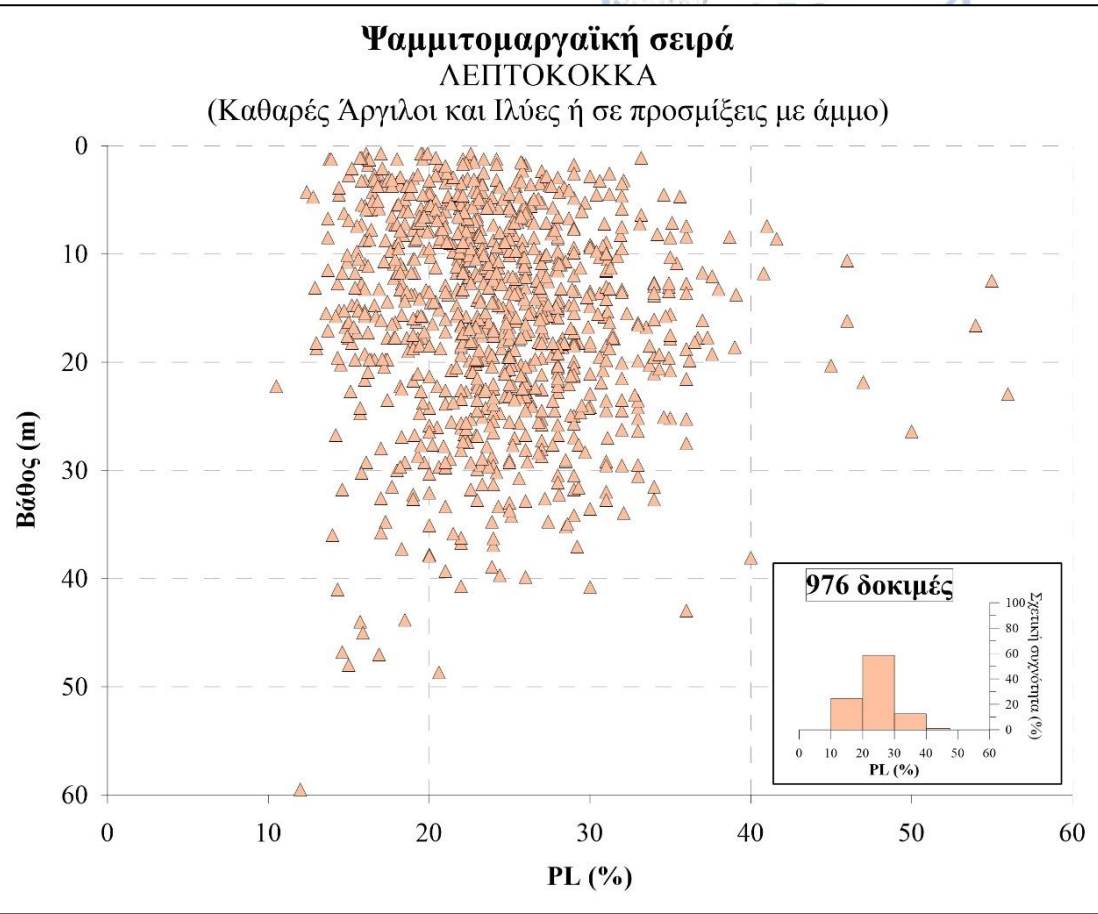
Σχήμα 6.73α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογένων αποθέσεων

Όριο πλαστικότητας - PL

Στο σχήμα 6.74 δίνεται το διάγραμμα κατανομής τιμών PL για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενούς ηλικίας. Συνολικά εκτελέστηκαν 1204 δοκιμές, εκ των οποίων 976 σε λεπτόκοκκα υλικά, 157 σε αδρόκοκκα και 71 σε λοιπούς σχηματισμούς. Τα αποτελέσματα και οι στατιστικές κατανομές του σχήματος 6.75α.β υποδεικνύουν την επικράτηση τιμών $10\% < PL \leq 30\%$ τόσο στα λεπτόκοκκα (86%), όσο και στα αδρόκοκκα υλικά (94%). Τιμές $PL > 30\%$ παρατηρούνται και στις δύο περιπτώσεις κι εντοπίζονται κατά βάση στα πρώτα 30 m. Πρόκειται για δοκιμές που διενεργήθηκαν κυρίως εντός πολύ στιφρής ασβεστιτικής αμμώδους ιλύος, έως αμμώδους παχιάς αργίλου, μέσης-μεγάλης πλαστικότητας με ανθρακικά συσσωματώματα και σε μικρότερο ποσοστό εντός πυκνής, λεπτόκοκκης έως μεσόκοκκης, αργιλώδους άμμου με λίγα λεπτά χαλίκια μεγάλης πλαστικότητας. Ως προς τις τιμές PL των υπόλοιπων σχηματισμών που παρουσιάζονται στο Παράρτημα III, αυτές εντοπίζονται στην πλειονότητά τους (90%) εντός του εύρους $15\% \leq PL \leq 46\%$. Αυτές οι τιμές προέρχονται από δοκιμές που διενεργήθηκαν σε δείγματα πολύ ασθενούς, μαργαϊκού ασβεστολίθου έως σκληρής ασβεστιτικής ισχνης αργίλου με οξείδια Mn / ασθενούς, αμμώδους ιλυολίθου έως ασθενούς, ιλυώδους ψαμμίτη / ασθενούς αργιλολίθου που κοκκομετρικά χαρακτηρίζεται ως αμμώδης παχιά άργιλος / πολύ ασθενούς, ιλυώδους μάργας.



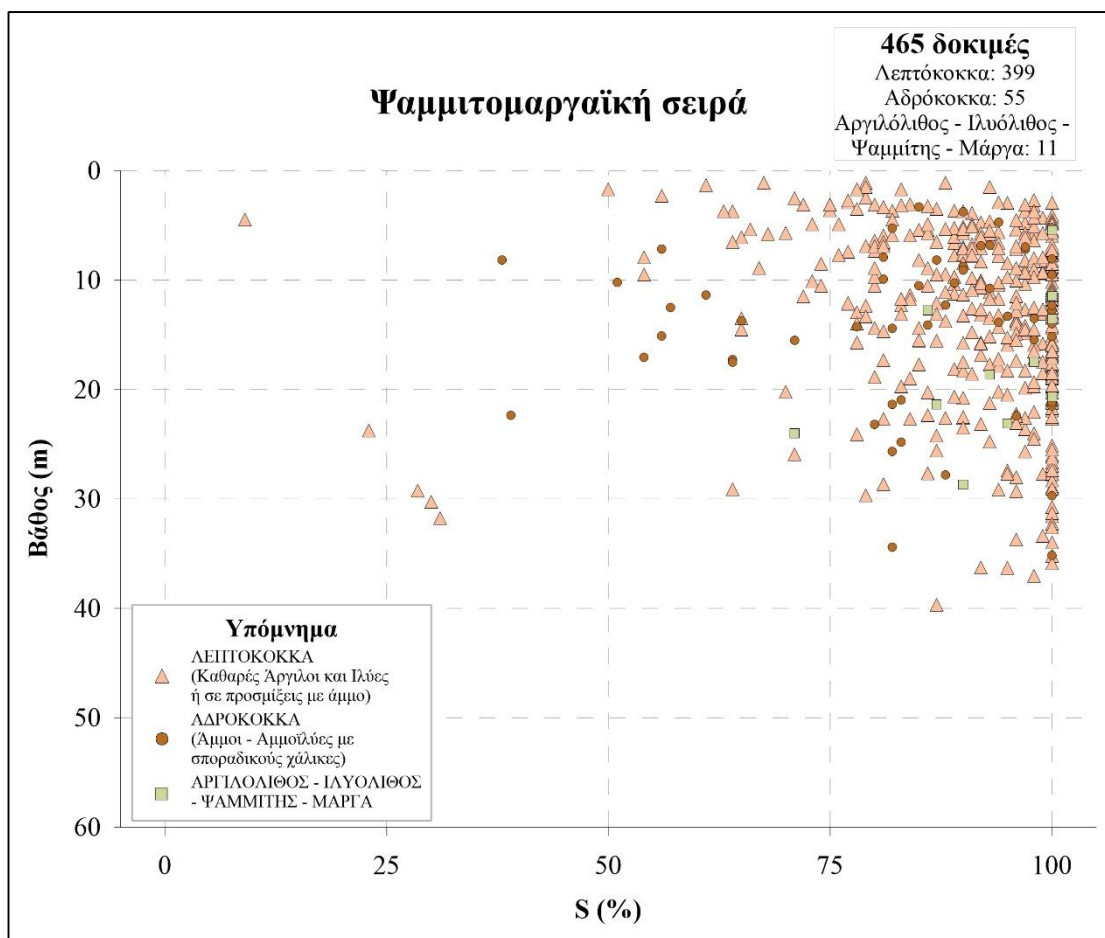
Σχήμα 6.74: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων



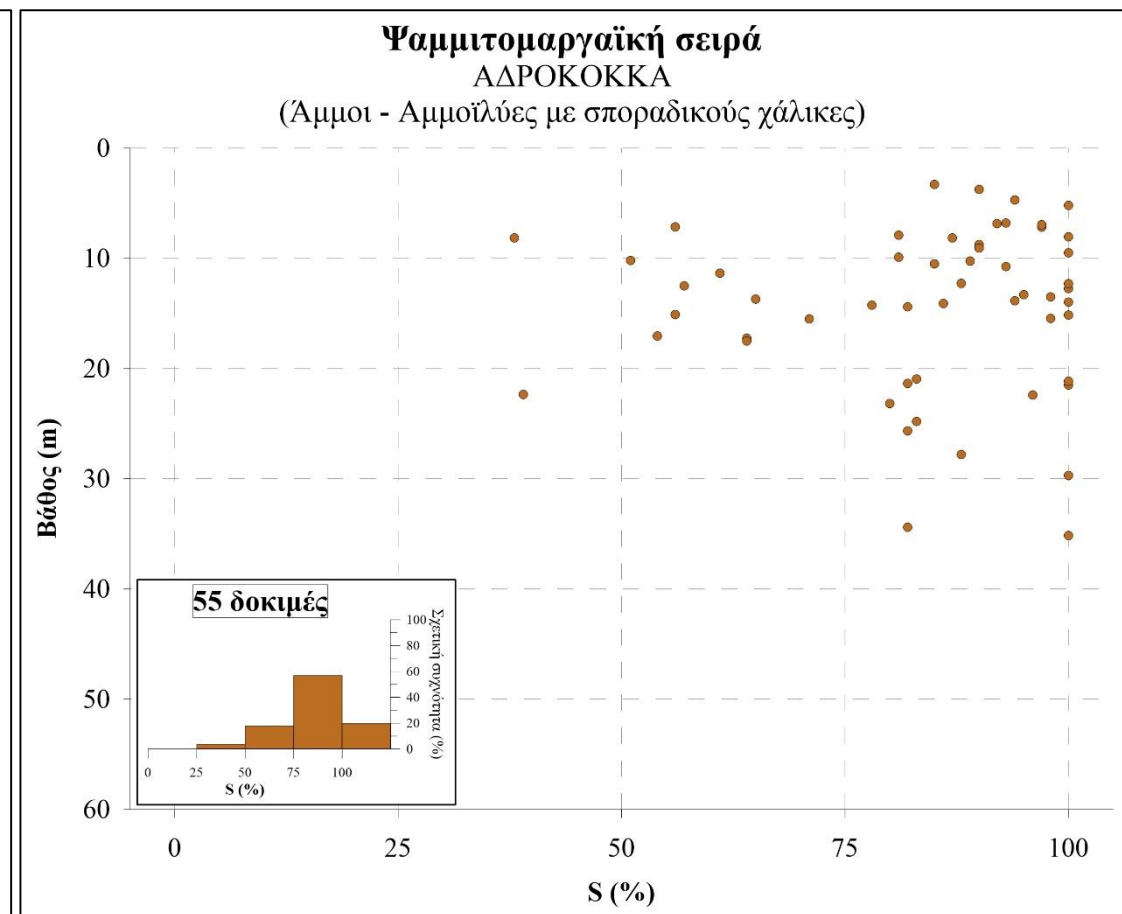
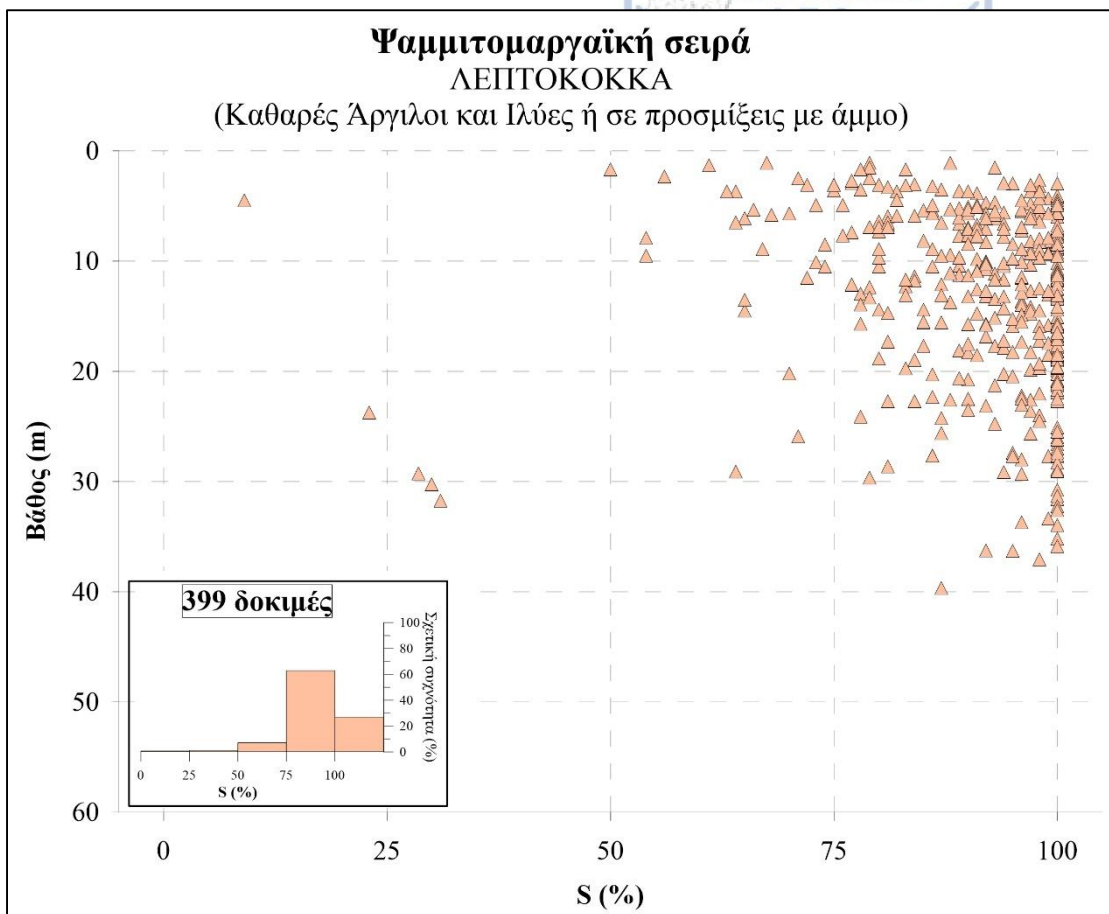
Σχήμα 6.75α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Βαθμός κορεσμού - S

Τα διαθέσιμα δεδομένα του βαθμού κορεσμού με το βάθος για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων παρουσιάζονται στο σχήμα 6.76. Σύμφωνα μ' αυτό, εκτελέστηκαν συνολικά 465 δοκιμές, εκ των οποίων 399 σε λεπτόκοκκα υλικά, 55 σε αδρόκοκκα και 11 σε λοιπούς σχηματισμούς. Οι συγκεκριμένες δοκιμές διεξήχθησαν αποκλειστικά μέχρι το βάθος των 40 m. Τα ιστογράμματα και στις τρεις περιπτώσεις παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα σχετικά με την κατανομή των τιμών. Τιμές $50\% \leq S \leq 100\%$ εντοπίζονται σε μεγαλύτερο ποσοστό στα αδρόκοκκα υλικά (76%). Αντίστοιχα, τιμές $S=100\%$ παρατηρούνται σε σημαντικά ποσοστά τόσο στα λεπτόκοκκα εδάφη (σχήμα 6.77α) όσο και σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός ασθενούς, αμμόδους ιλυολίθου έως ιλυώδους ψαμμίτη ή εντός ασθενούς μαργαϊκού αργιολίθου έως μαργαϊκού ψαμμίτη χαρακτηρίζοντας κορεσμένους τους συγκεκριμένους σχηματισμούς (Παράρτημα ΙΙΙ). Τέλος, τιμές $S \leq 50\%$ παρατηρούνται σε κάποιες δοκιμές εντός δειγμάτων αμμόδους αργίλου με διάσπαρτα χαλίκια και ιλυώδους άμμου (σχήμα 6.77β) χαρακτηρίζοντας ως ύφυγη έως υγρή την κατάσταση του εδάφους.



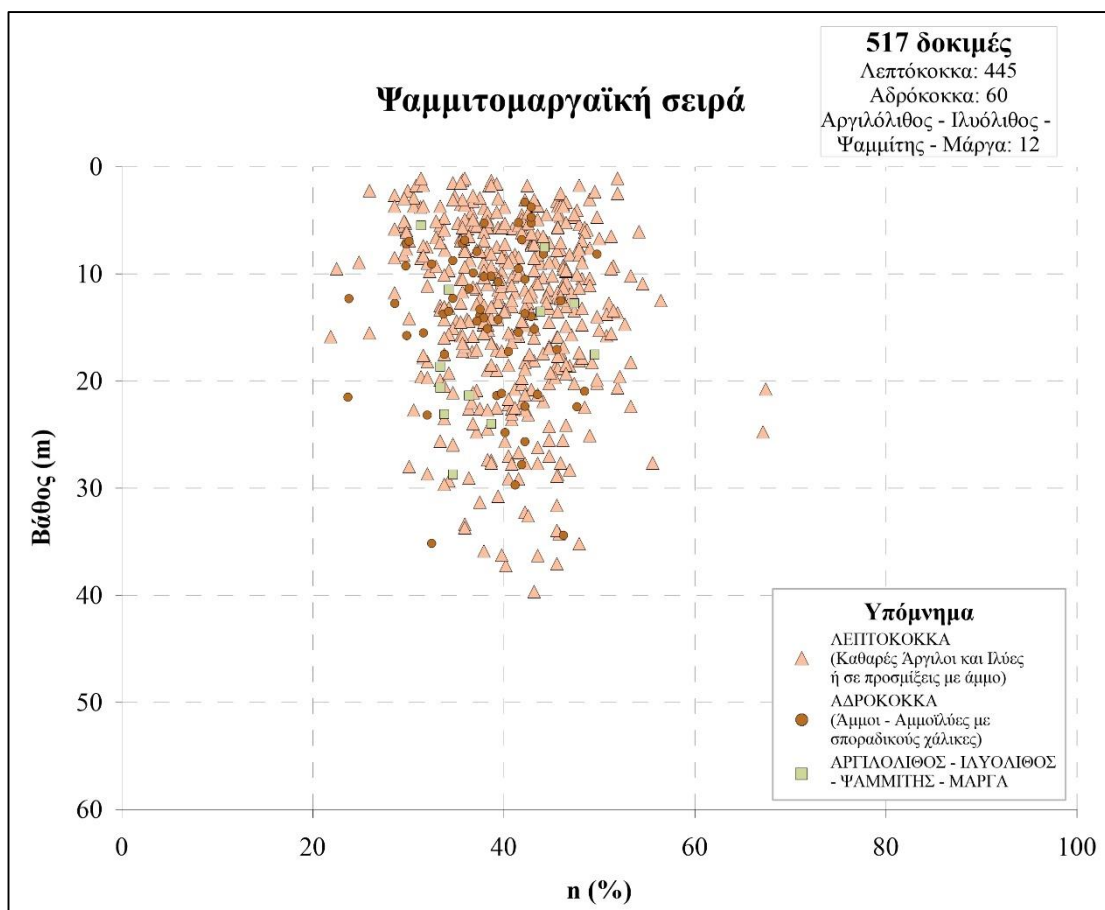
Σχήμα 6.76: Διάγραμμα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων



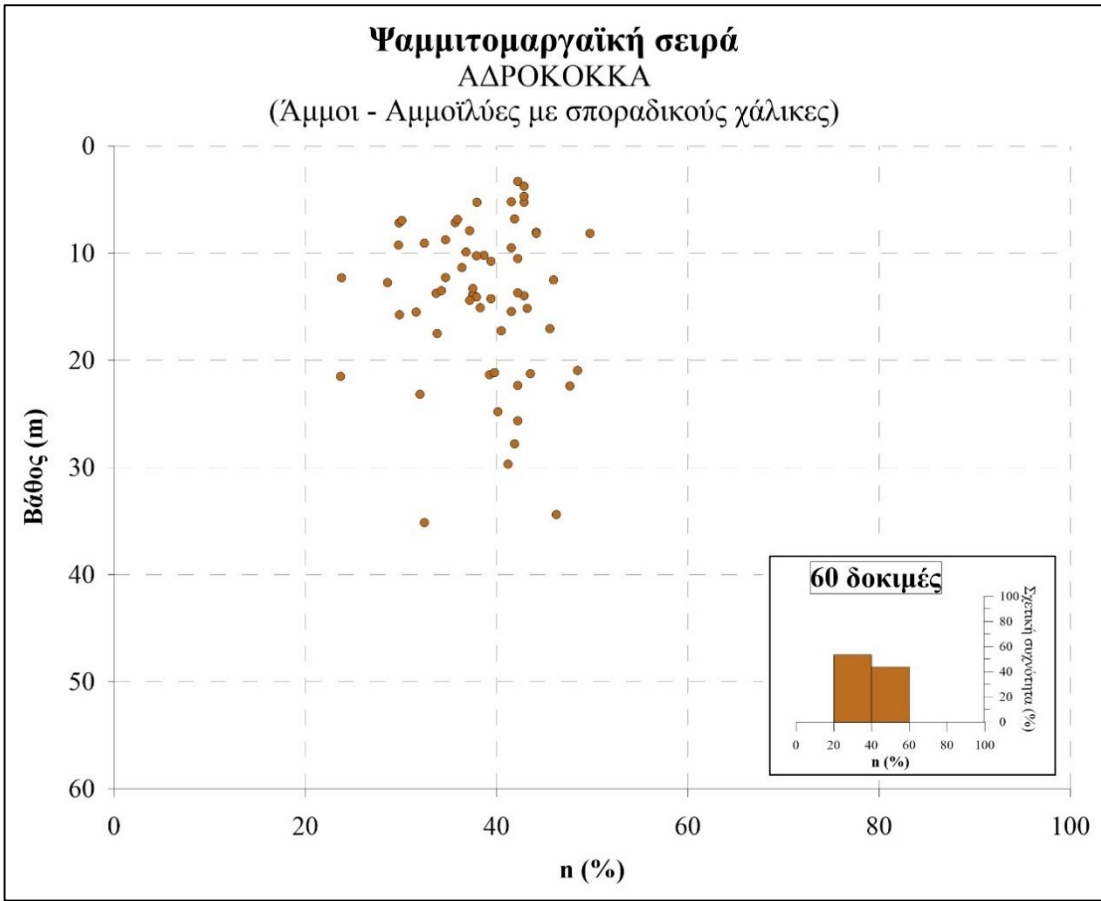
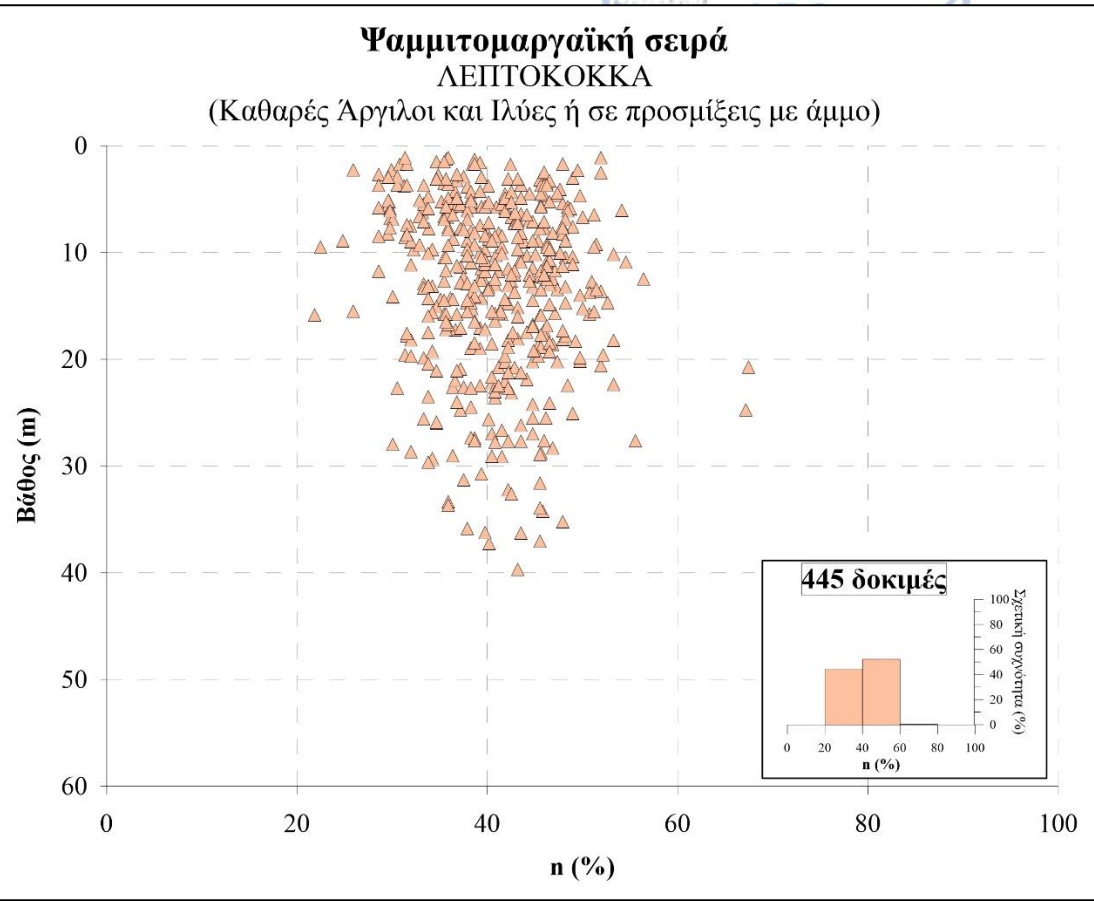
Σχήμα 6.77α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Πορώδες - n

Η κατανομή των τιμών του πορώδους για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 6.78. Οι τιμές που προβάλλονται αντιστοιχούν σε αποτελέσματα 517 δοκιμών. Από αυτές, 445 αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν σε λεπτόκοκκα υλικά, 60 σε αδρόκοκκα και 12 σε λοιπούς σχηματισμούς. Και στις τρεις περιπτώσεις οι τιμές του πορώδους κυμαίνονται μεταξύ $20\% \leq n < 60\%$. Συγκεκριμένα στα λεπτόκοκκα (σχήμα 6.79α) παρατηρούνται τιμές $20\% \leq n < 40\%$ σε ποσοστό 46% και $40\% \leq n < 60\%$ σε ποσοστό 54%. Επιπλέον, εντοπίζονται και δύο τιμές $n > 60\%$ που προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός δειγμάτων μαργαϊκής αργίλου έως αμμώδους αργίλου καστανού έως καστανότεφρου χρώματος. Οι τιμές στα αδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.79β) περιορίζονται αποκλειστικά εντός του εύρους $n = 24-50\%$ για μέτρια πυκνή έως πυκνή, ασβεστιτική, ιλυώδη/αργιλώδη άμμο με ασβεστιτικά συγκρίματα ή κομμάτια αποσπασμένου πετρώματος. Τέλος, στους υπόλοιπους σχηματισμούς (ασβεστιτικός ιλυόλιθος/αργιλόλιθος, μαργαϊκός ασβεστόλιθος/ψαμμίτης και μάργα) τα αποτελέσματα των δοκιμών για τον προσδιορισμό του πορώδους φανερώνουν τιμές $n = 31-49\%$ από τα 5.5 έως τα 28.7 m (Παράρτημα ΙΙΙ).



Σχήμα 6.78: Διάγραμμα κατανομής τιμών πορώδους (n) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων



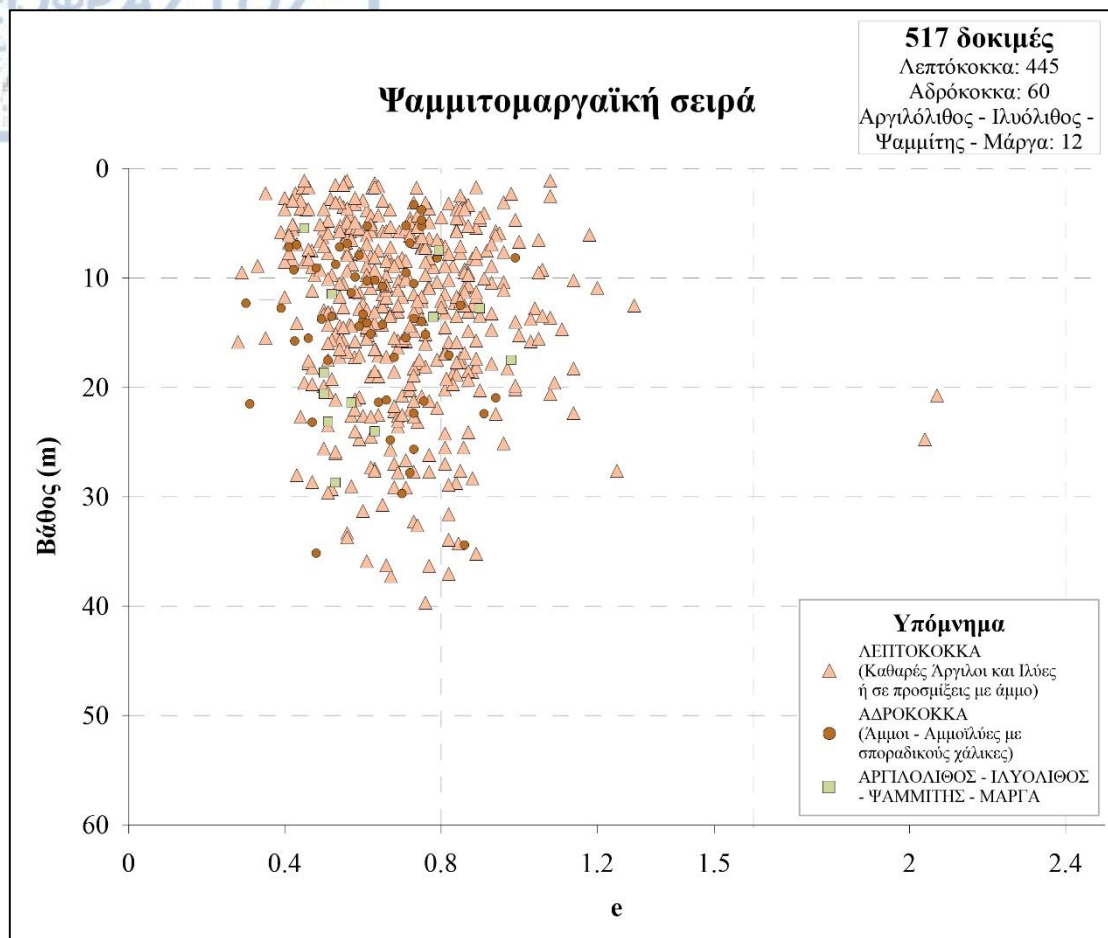
Σχήμα 6.79α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Δείκτης πόρων - e

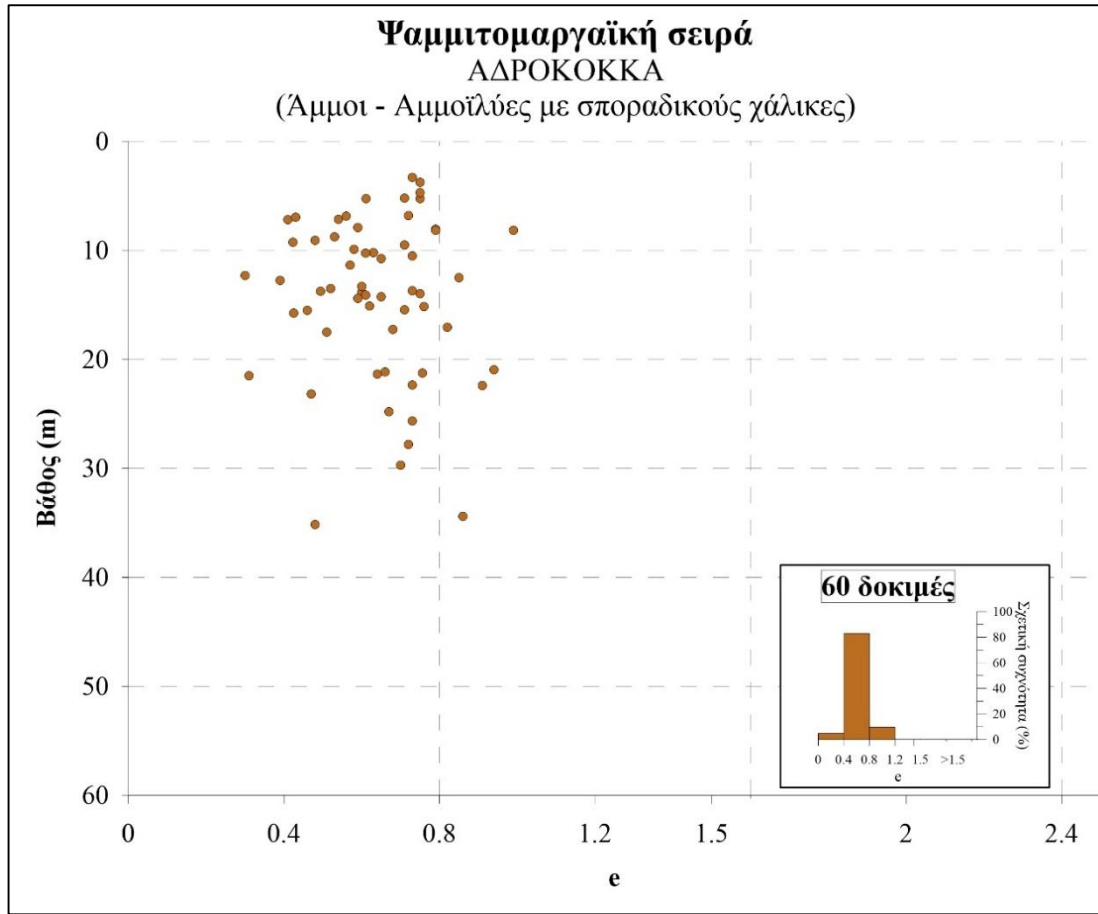
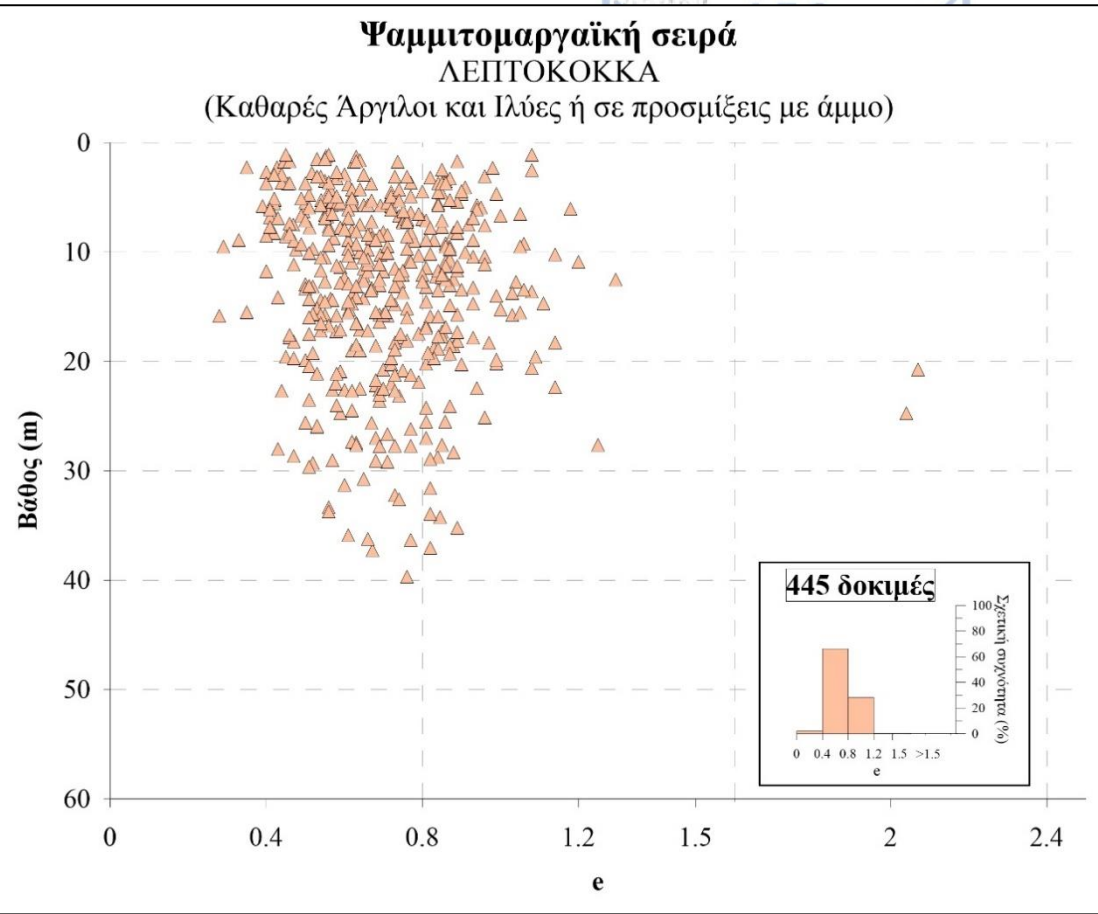
Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής τιμών e για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

Νεογενών αποθέσεων (σχήμα 6.80), συνολικά εκτελέστηκαν 517 δοκιμές εκ των οποίων 445 σε λεπτόκοκκα υλικά, 60 σε αδρόκοκκα και 12 σε λοιπούς σχηματισμούς. Στο σύνολό τους οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν μέχρι τα 40 m. Στα λεπτόκοκκα υλικά (σχήμα 6.81α), το 96% αντιστοιχεί σε τιμές $0.3 < e \leq 1.3$ για δείγματα αργίλου-αμμώδους αργίλου, χαμηλής-μέσης πλαστικότητα, έως πολύ στιφρής-σκληρής και κατά θέσεις ασβεστιτικής ισχνής αργίλου. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι παρατηρούνται μόλις δύο τιμές ($e = 2.04$ και $e = 2.07$) οι οποίες προέκυψαν από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν αποκλειστικά εντός μαργαϊκής αργίλου έως αμμώδους αργίλου καστανού έως καστανότεφρου χρώματος. Όσον αφορά στα χονδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.81β), στο σύνολό τους οι τιμές βρίσκονται εντός του εύρους $e = 0.3-1$. Ως προς τις τιμές του δείκτη πόρων των υπόλοιπων σχηματισμών που παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ, εντοπίζονται στην σύνολό τους εντός του εύρους $e = 0.45-0.98$ για βάθη από 5.5 έως 28.7 m. Αυτές οι τιμές προέρχονται από δοκιμές που διενεργήθηκαν σε δείγματα:

- πολύ ασθενούς, ασβεστιτικού ιλυολίθου-αργιολίθου
- ασθενούς, υπόλευκου μαργαϊκού ασβεστολίθου έως κατά θέσεις ασβεστιτικής ισχνής αργίλου με οξείδια Mn
- ασθενούς μαργαϊκού ψαμμίτη
- υγιούς έως λίγο αποσαθρωμένης μάργας η οποία κοκκομετρικά κατατάσσεται ως ιλύς υψηλής πλαστικότητας



Σχήμα 6.80: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά
Νεογενών αποθέσεων



Σχήμα 6.81α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

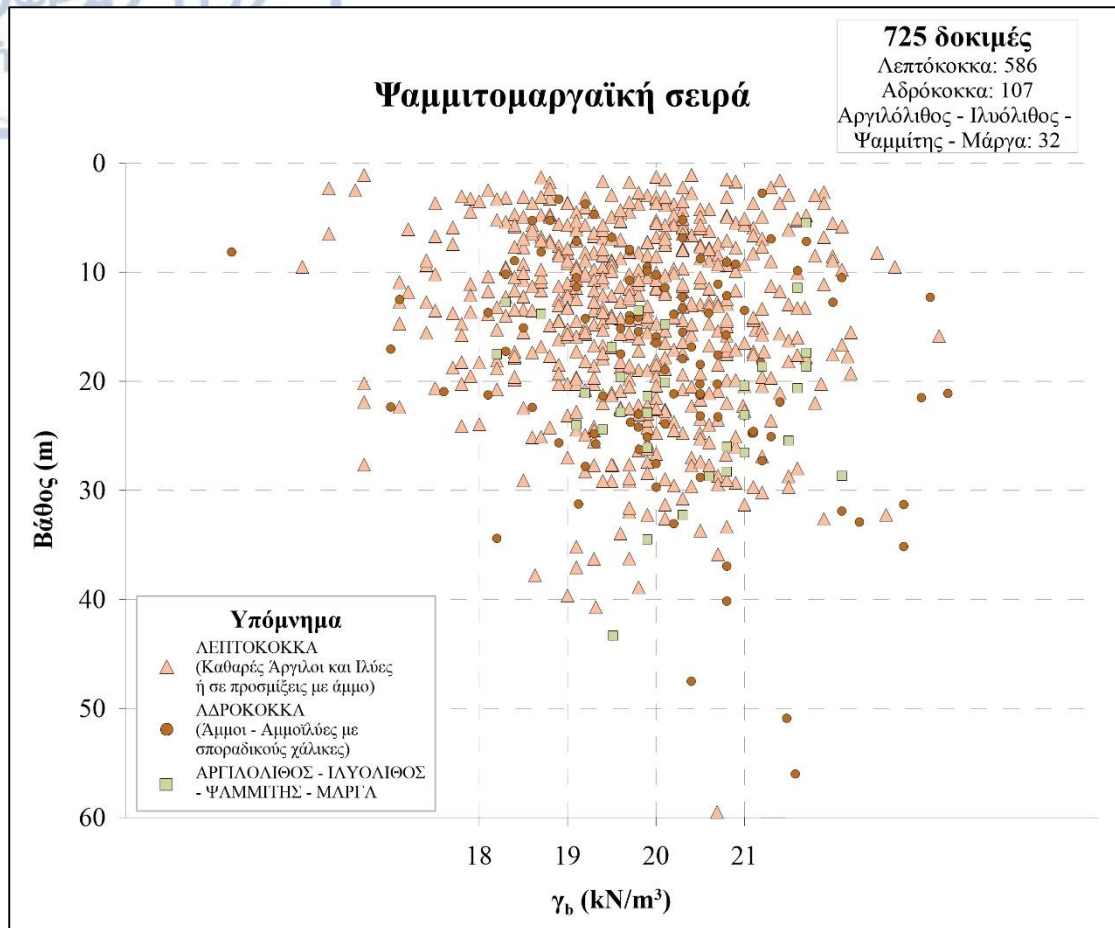
Υγρό φαινόμενο βάρος – γ_b

Η κατανομή των τιμών του υγρού φαινόμενου βάρους για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 6.82. Συνολικά εκτελέστηκαν 725 δοκιμές εκ των οποίων 586 σε λεπτόκοκκα υλικά, 107 σε αδρόκοκκα και 32 σε λοιπούς σχηματισμούς. Τα περισσότερα δείγματα για τον προσδιορισμό του υγρού φαινόμενου βάρους λήφθησαν μέχρι το βάθος των 40 m. Σε γενικές γραμμές, τόσο στα λεπτόκοκκα, όσο και στα αδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.83α.β), παρατηρείται διάσπαρτη κατανομή στις τιμές με την πλειονότητα των τιμών να είναι εντός του εύρους $19 \leq \gamma_b \leq 21 \text{ kN/m}^3$.

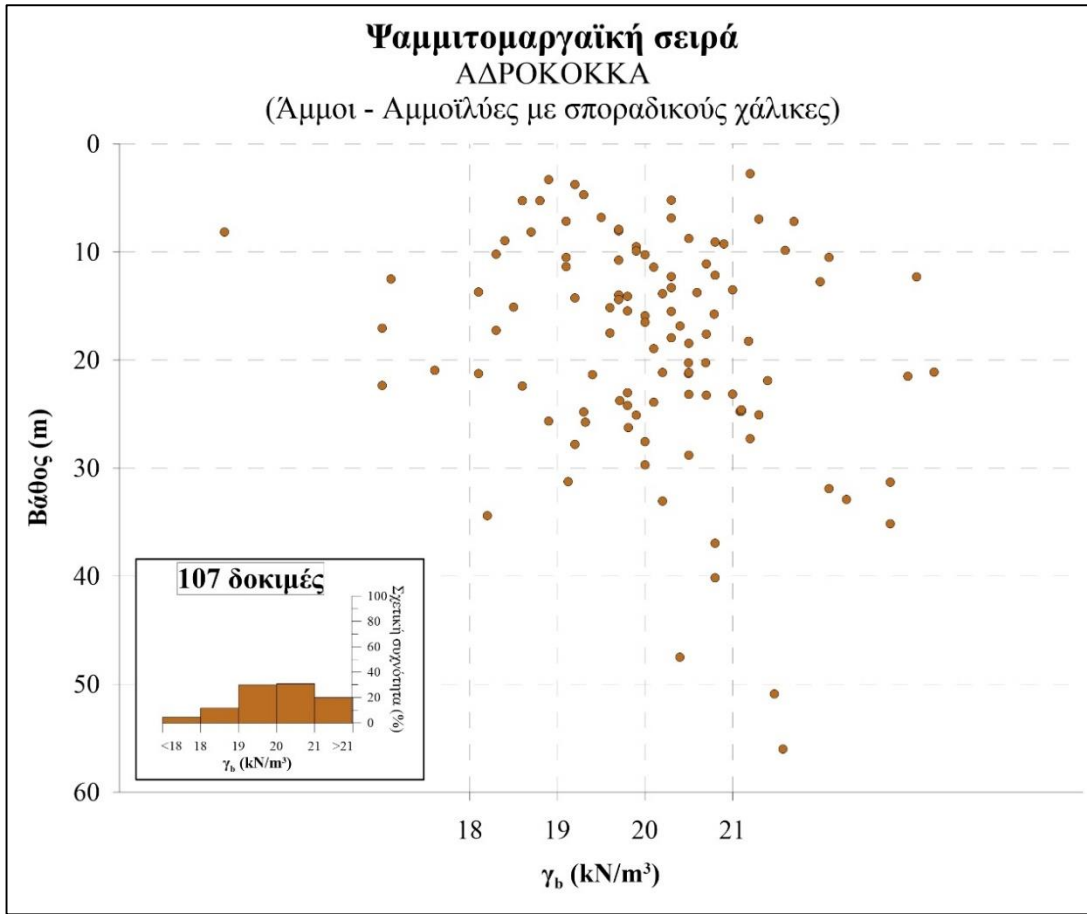
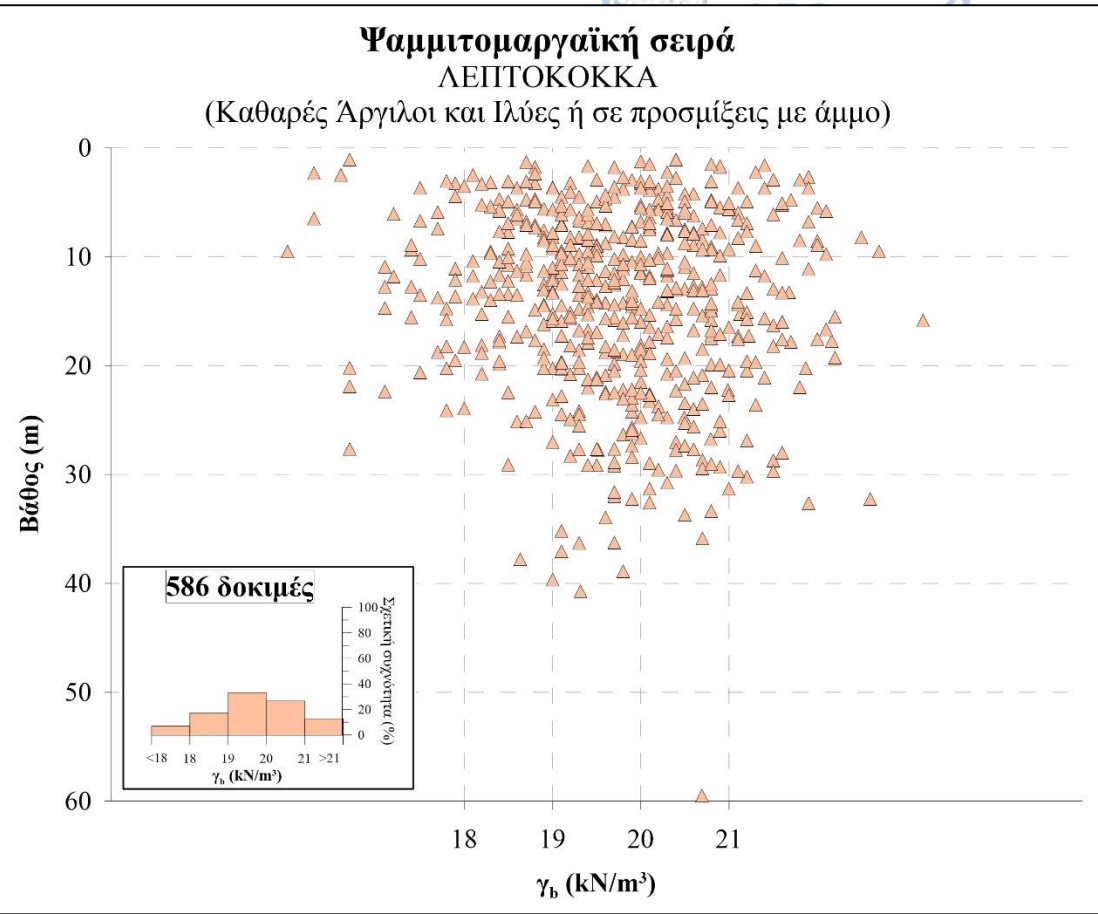
Τιμές $\gamma_b < 19 \text{ kN/m}^3$ εντοπίζονται σε ποσοστό 19% στα λεπτόκοκκα υλικά και συγκεκριμένα εντός μαλακής έως σταθερής, ασβεστιτικής αμμώδους ελαστικής ιλύος μεγάλης πλαστικότητας με λίγα λεπτά χαλίκια κατά τόπους και στιφρής-πολύ στιφρής, παχιάς αργίλου με ασβεστιτικά συγκρίματα, οξειδώσεις και ριζίδια. Στα χονδρόκοκκα υλικά, παρατηρείται ποσοστό της τάξης του 21% που επικρατούν τιμές $\gamma_b > 21 \text{ kN/m}^3$ και προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός δειγμάτων:

- μέτρια πυκνής έως πολύ πυκνής, ιλυώδους άμμου με ψευδοσυνοχή
- πυκνής έως πολύ πυκνής αργιλώδους άμμου με ψαμμικά γωνιώδη θραύσματα
- μαργαϊκής αργιλώδους άμμου

Όσον αφορά στις τιμές γ_b των υπόλοιπων σχηματισμών που παρουσιάζονται στο Παράρτημα III, αυτές εντοπίζονται μεταξύ $18 \leq \gamma_b \leq 22.1 \text{ kN/m}^3$.



Σχήμα 6.82: Διάγραμμα κατανομής τιμών υγρού φαινομένου βάρους (γ_b) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων



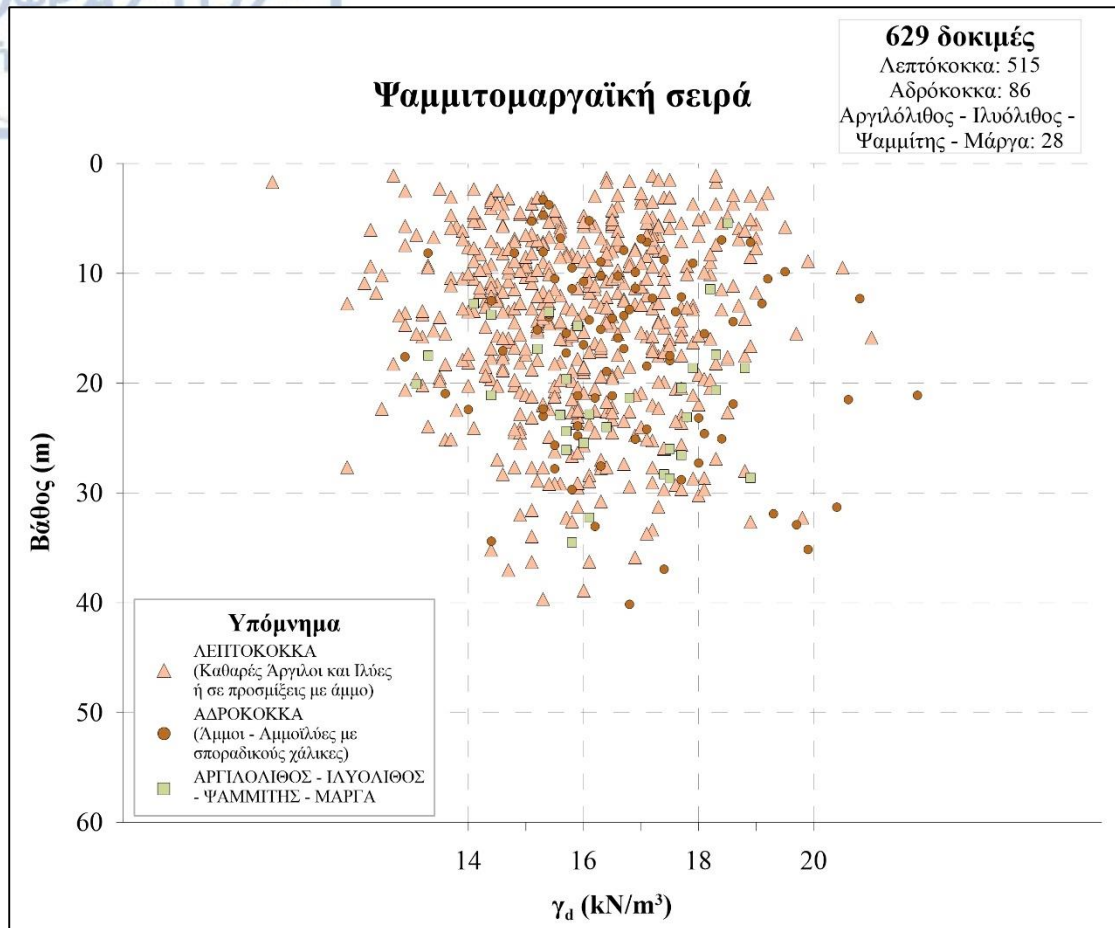
Σχήμα 6.83α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών υγρού φαινόμενου βάρους (γ_b) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Ξηρό φαινόμενο βάρος – γ_d

Η κατανομή των τιμών του ξηρού φαινόμενου βάρους για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 6.84 Συνολικά εκτελέστηκαν 629 δοκιμές εκ των οποίων 515 σε λεπτόκοκκα υλικά, 86 σε αδρόκοκκα και 28 σε λοιπούς σχηματισμούς. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι όλες οι δοκιμές διενεργήθηκαν μέχρι τα 40 m και η κατανομή των τιμών που προβάλλεται στο συνολικό διάγραμμα θεωρείται συγκεντρωτική κι όχι διάσπαρτη. Σε ότι αφορά στα λεπτόκοκκα υλικά (σχήμα 6.85α), το 79% αντιστοιχεί σε τιμές $14 < \gamma_d \leq 18 \text{ kN/m}^3$ από δοκιμές που διενεργήθηκαν κυρίως σε δείγματα:

- στιφρής-πολύ στιφρής, αμμώδους ισχνής αργίλου
- πολύ στιφρής παχιάς αργίλου με ασβεστιτικά
- πολύ στιφρής-σκκληρής ασβεστιτικής ιλύος με άμμο έως ιλύος μέσης πλαστικότητας με ανθρακικά συσσωματώματα

Στα χονδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.85β), εντοπίζονται τιμές εντός του εύρους $\gamma_d = 12.9\text{-}21.8 \text{ kN/m}^3$, με την πλειονότητα αυτών να προέρχεται από δοκιμές σε δείγματα μέτρια πυκνής έως πυκνής, ασβεστιτικής, ιλυώδους άμμου και αργιλώδους άμμου με σποραδικούς χάλικες, κυρίως χαλαζιακής προέλευσης. Αναφορικά με τις τιμές γ_d των υπόλοιπων σχηματισμών (ασθενής έως πολύ ασθενής ψαμμίτης/ιλυώδης μάργα/αργιλόλιθος/ιλυόλιθος) που παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ, αυτές περιορίζονται μεταξύ $13.1 \leq \gamma_d \leq 18.9 \text{ kN/m}^3$.

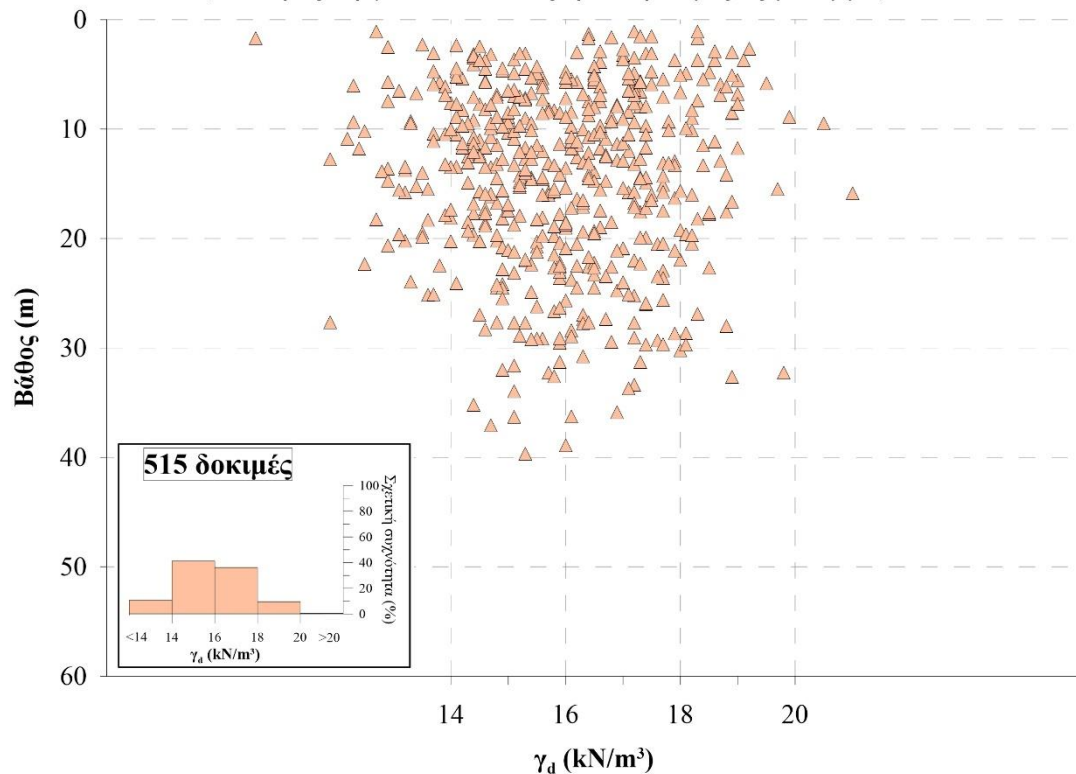


Σχήμα 6.84: Διάγραμμα κατανομής τιμών ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_d) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων

Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

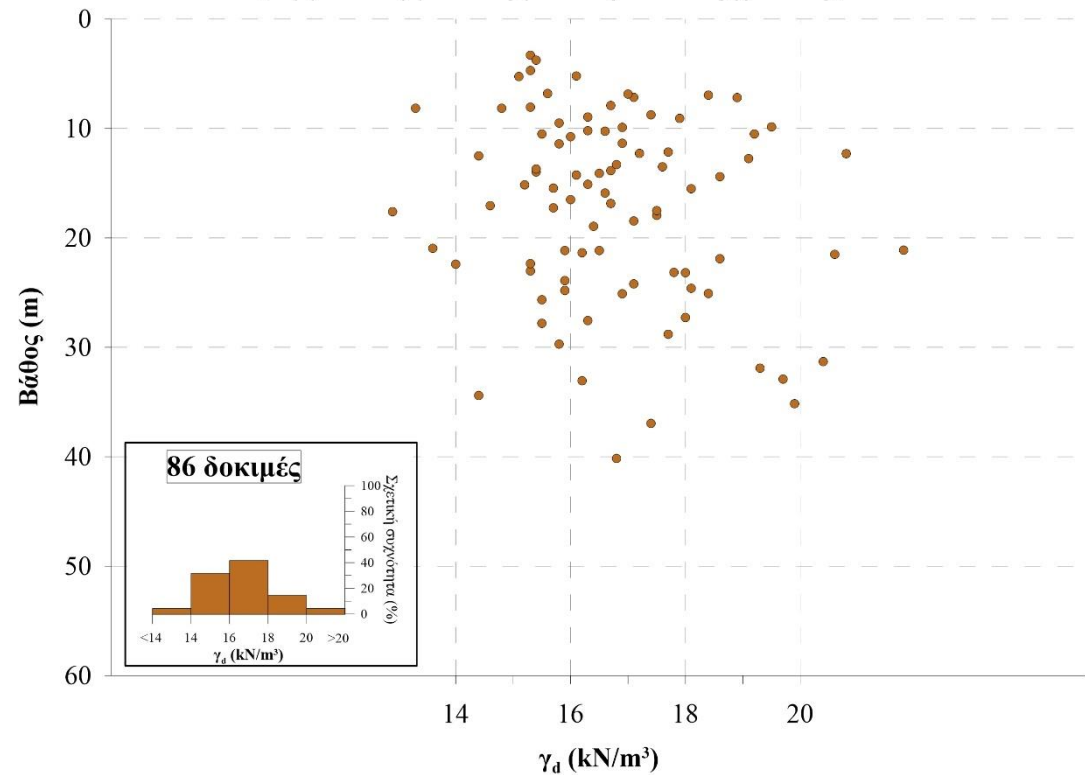
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο)



Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

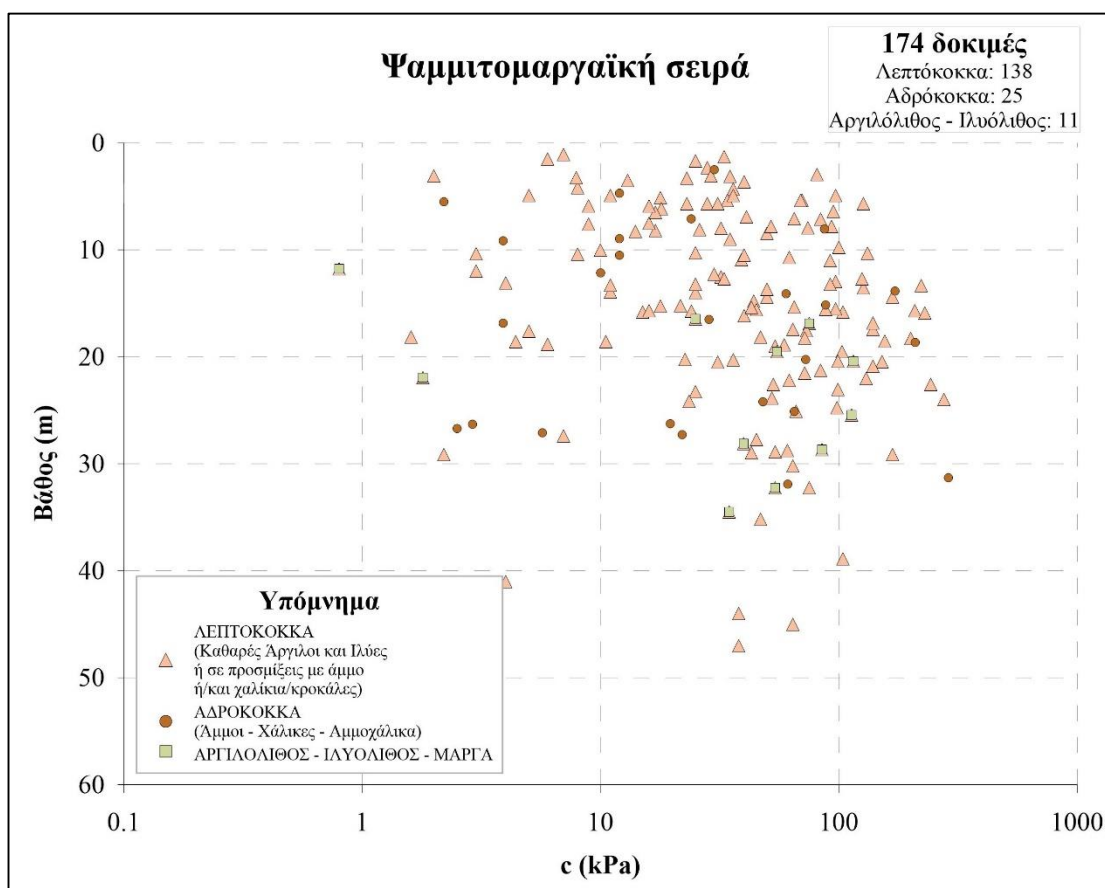
(Άμμοι - Αμμοϊλύες με σποραδικούς χάλικες)



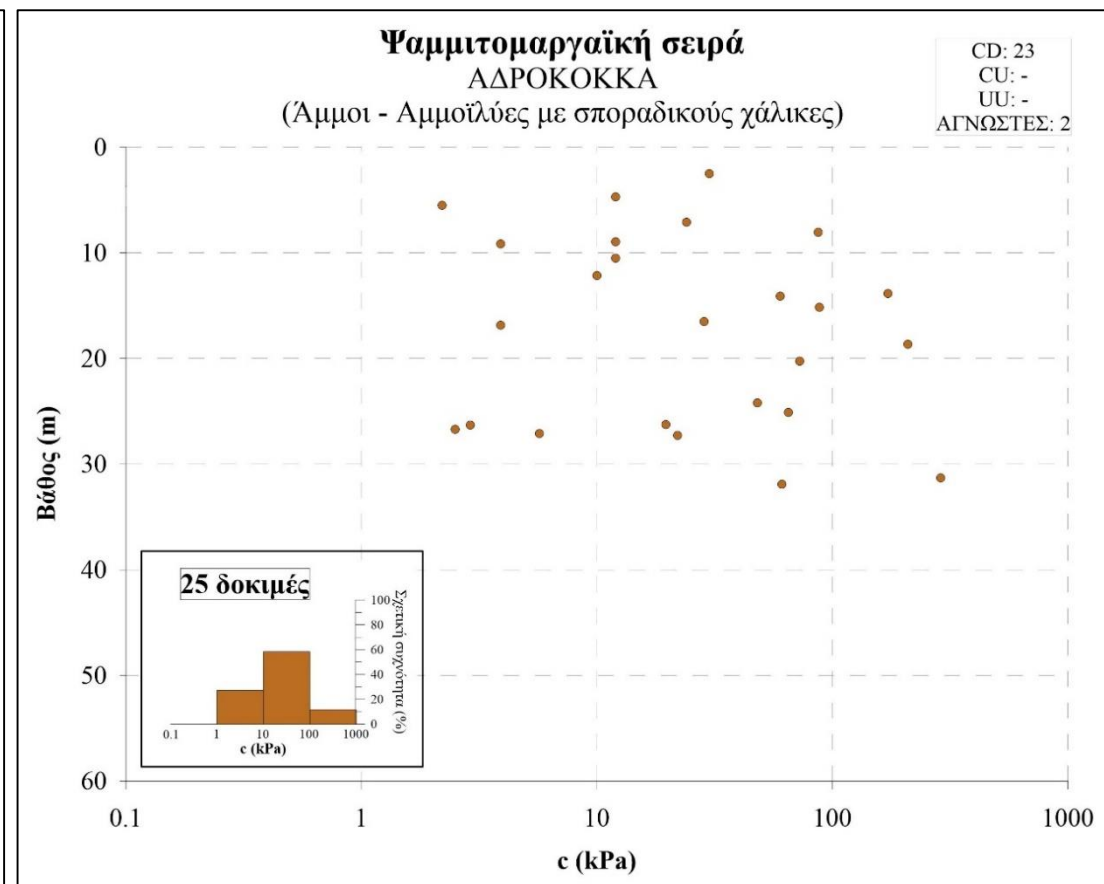
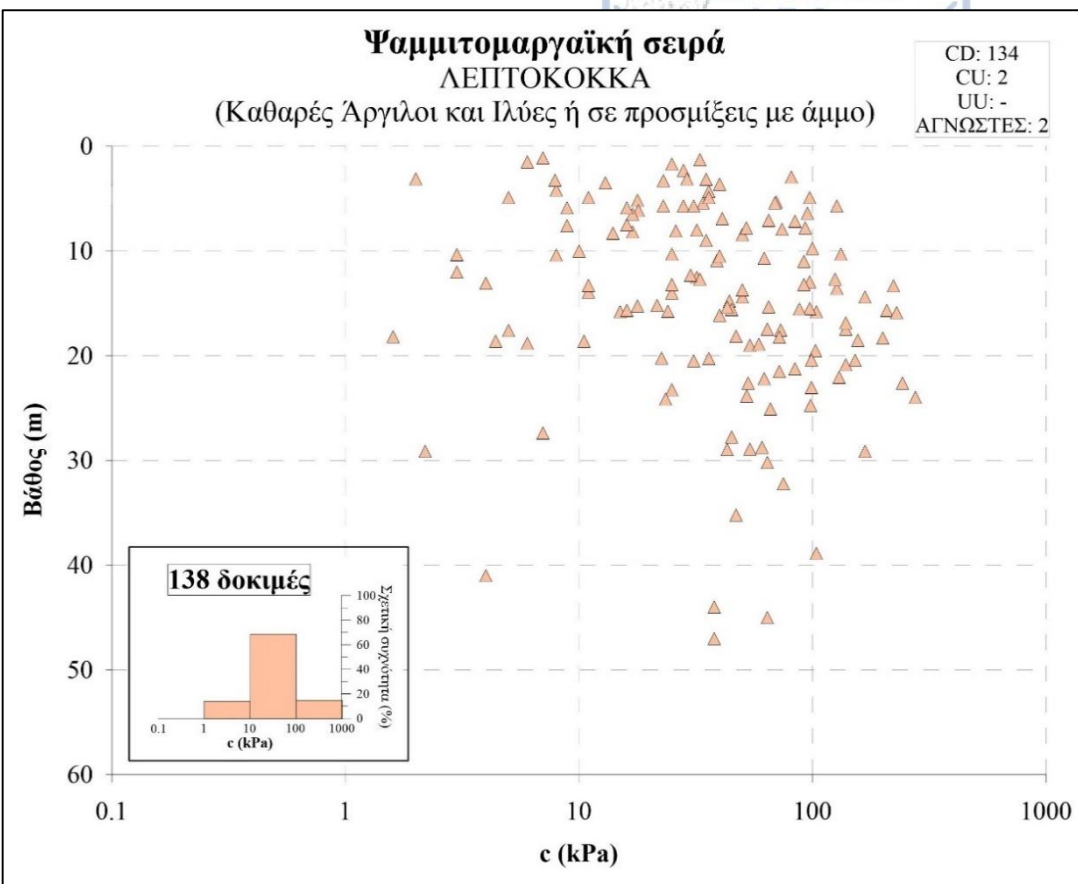
Σχήμα 6.85α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_d) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής – c , ϕ (δοκιμή άμεσης διάτμησης)

Τα αποτελέσματα των δοκιμών άμεσης διάτμησης που διενεργήθηκαν σε εδαφικά δοκίμια, εντός της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων, παρουσιάζονται στα διαγράμματα κατανομής τιμών c σχήματος 6.86. Συνολικά εκτελέστηκαν 174 δοκιμές εκ των οποίων 138 σε λεπτόκοκκα, 25 σε αδρόκοκκα και 11 σε λοιπούς σχηματισμούς. Ο κυρίαρχος τύπος είναι αυτός της βραδείας δοκιμής με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου (CD). Και στις τρεις κατηγορίες σχηματισμών, οι τιμές κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (άνω του 60% σε κάθε περίπτωση) από 10 έως 100 kPa. Στα αδρομερή υλικά όλες οι δοκιμές διενεργήθηκαν στα πρώτα 32 m (σχήμα 6.87β) ενώ στους λεπτόκοκκους σχηματισμούς μέχρι τα 47 m (σχήμα 6.87α). Στην περίπτωση των υπόλοιπων σχηματισμών (Παράρτημα ΙΙΙ), εντοπίζονται δύο τιμές οι οποίες είναι αρκετά μικρές συγκριτικά με το υπόλοιπο πλήθος. Αυτές οι τιμές προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν σε δείγματα πολύ ασθενούς ιλυολίθου ο οποίος αποσυντίθεται σε χονδρούς αργιλώδεις χάλικες με άμμο.

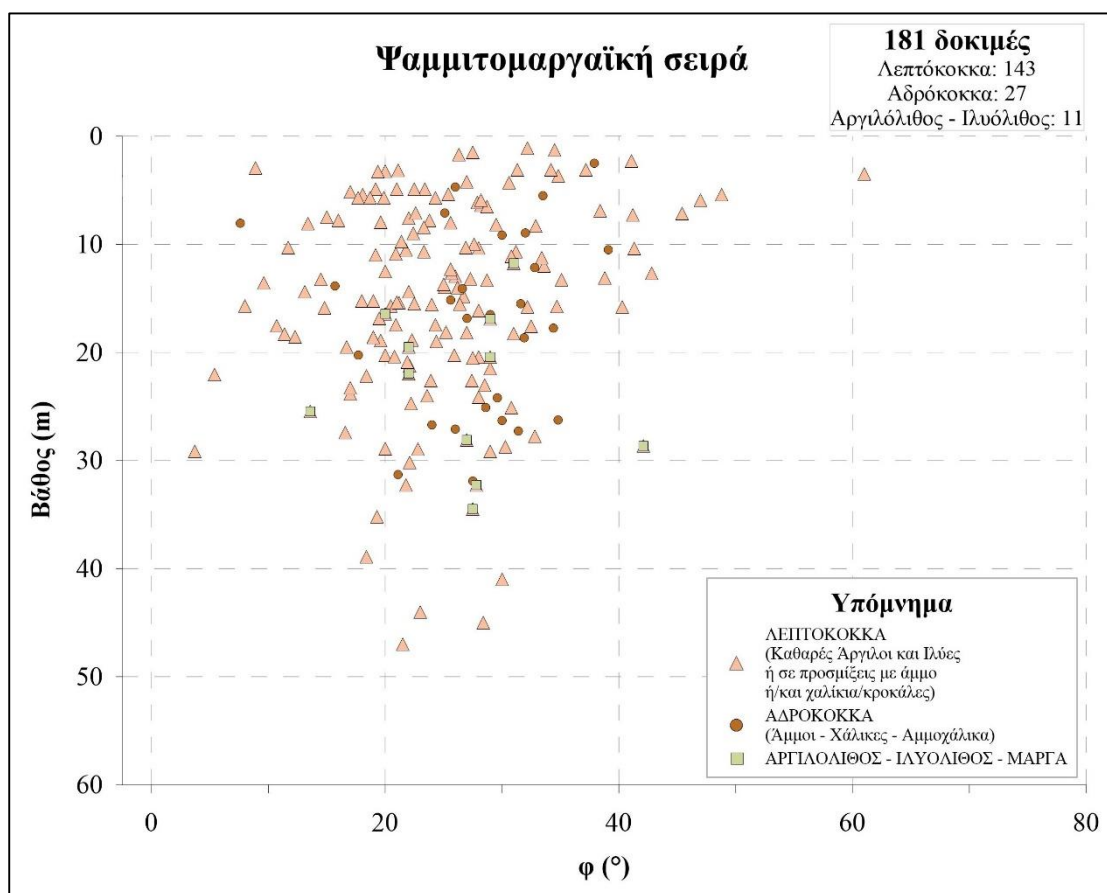


Σχήμα 6.86: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων

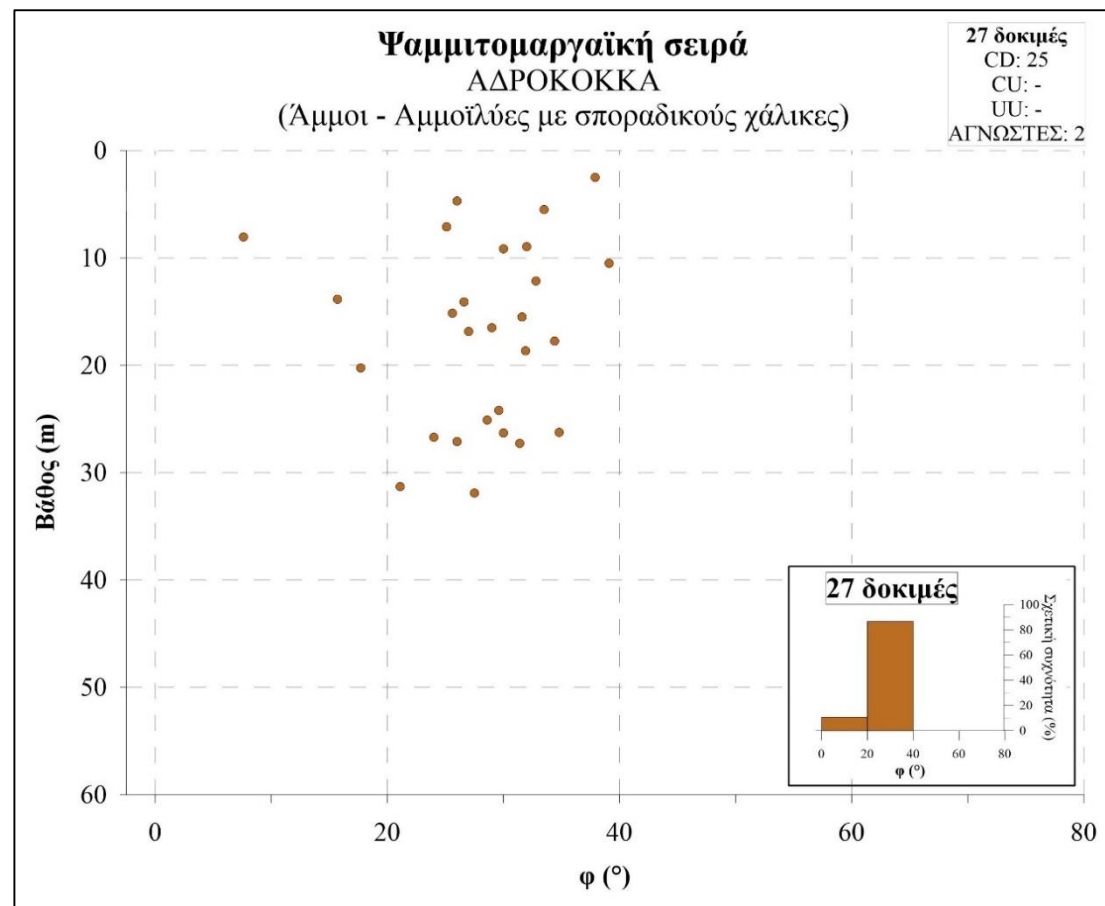
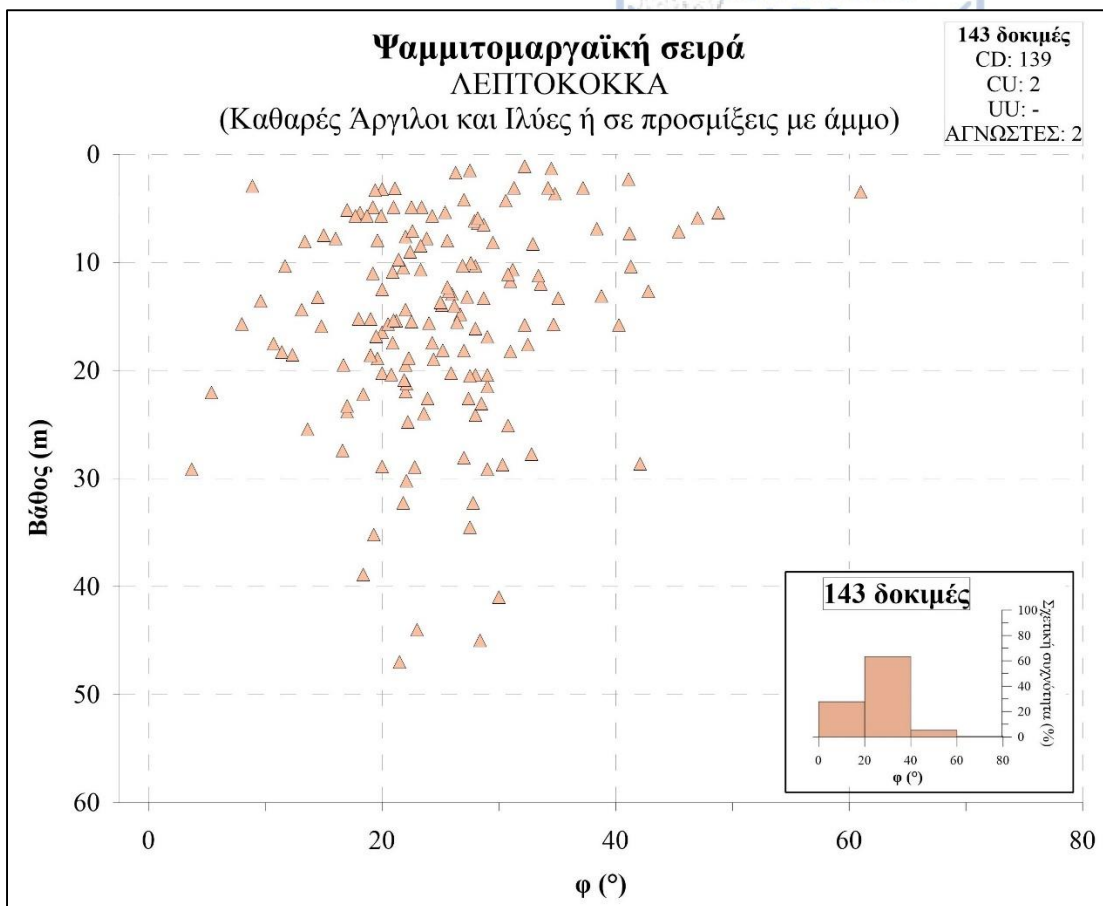


Σχήμα 6.87α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Για τον προσδιορισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής στο σχηματισμό της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων, διενεργήθηκαν συνολικά 181 δοκιμές (σχήμα 6.88). Απ' αυτές, 143 σε λεπτόκοκκα υλικά, 27 σε αδρόκοκκα και 11 σε λοιπούς σχηματισμούς. Κυρίαρχος τύπος είναι η βραδεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου (CD). Οι τιμές, τόσο στα λεπτόκοκκα υλικά, όσο και στα αδρόκοκκα κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (65% και 89% αντίστοιχα), από 20 έως 40°. Στα αδρομερή υλικά δεν παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές, παρά μόνο λίγες τιμές $\phi < 20^\circ$ που διενεργήθηκαν σε δείγματα στιφρής έως πολύ στιφρής ασβεστιτικής παχιάς άμμου και μαργαϊκής αργιλώδους άμμου με ασβεστιτικά συγκρίματα και χαλίκια (σχήμα 6.89β). Στην περίπτωση των λεπτόκοκκων εντοπίζεται ένα ποσοστό της τάξης του 6% όπου τιμές $\phi > 40^\circ$ και $\phi < 20^\circ$ για το 29% των μετρήσεων (σχήμα 6.89α). Ως προς την κατανομή των τιμών συνοχής για τους υπόλοιπους σχηματισμούς (Παράρτημα ΙΙΙ), αυτές παρουσιάζουν τιμές εντός του εύρους $c = 13.6-42.1$ kPa. Πρόκειται για τιμές που προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν σε δείγματα πολύ ασθενούς αργιολίθου-ιλυολίθου έως κατά θέσεις πολύ στιφρή παχιά άργιλο με ασβεστιτικά συγκρίματα και οξείδια καθώς κι εντός λεπτοστρωματώδους μάργας η οποία κοκκομετρικά χαρακτηρίζεται ως ιλύς μέσης πλαστικότητα.



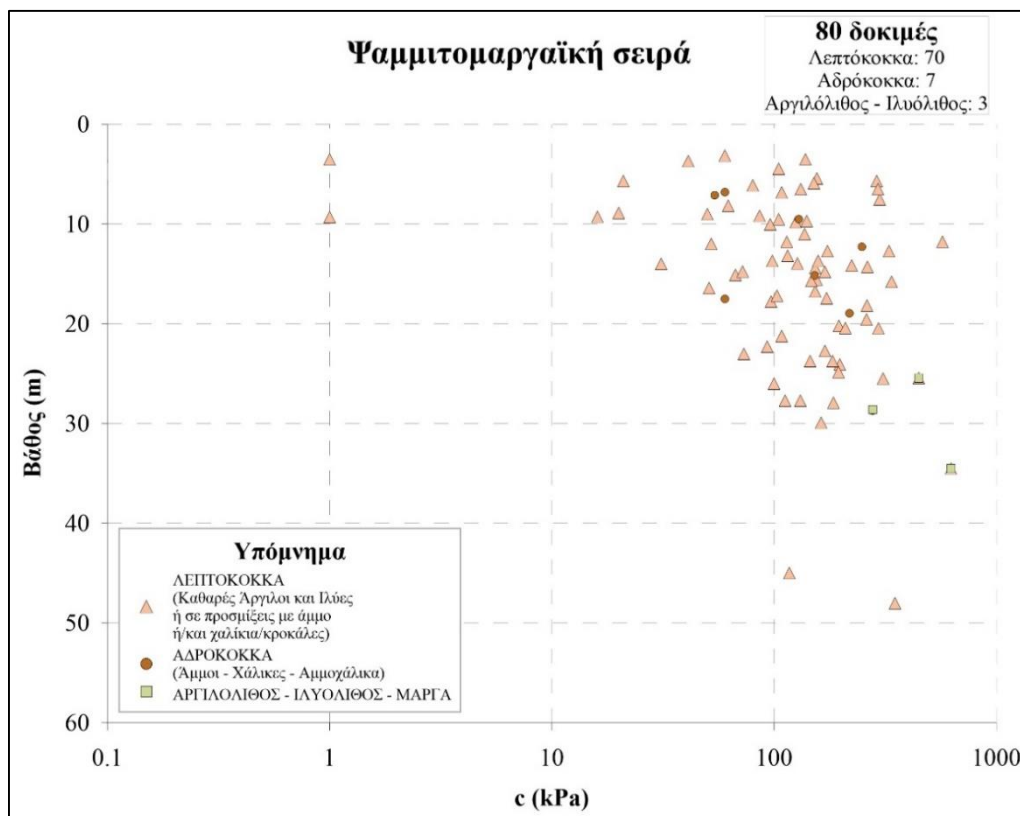
Σχήμα 6.88: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων



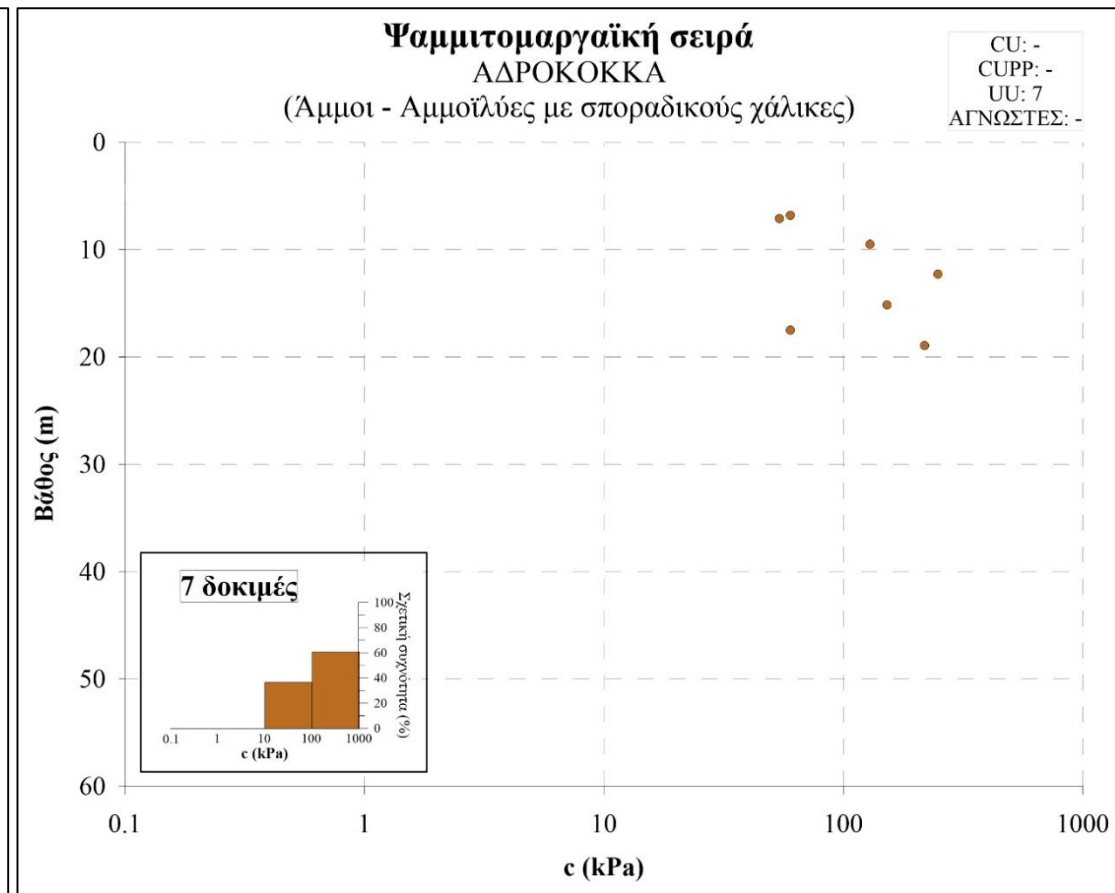
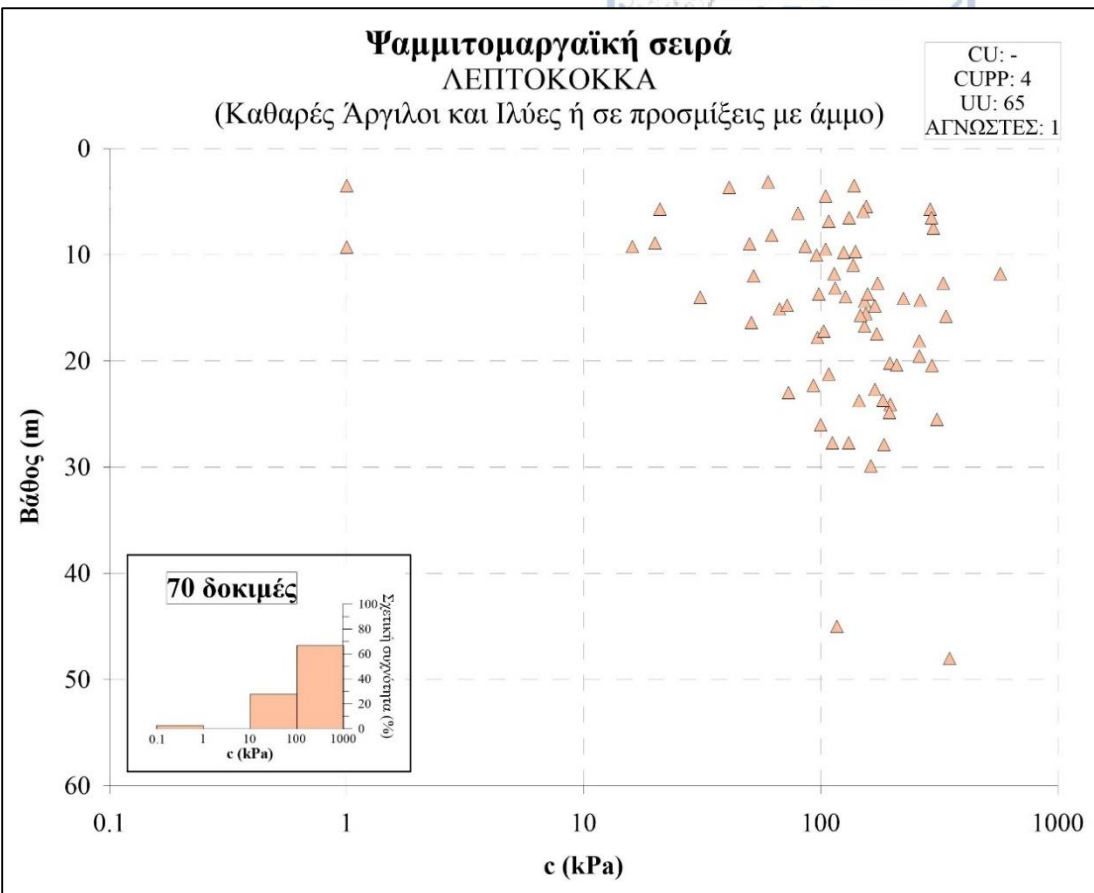
Σχήμα 6.89α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής – c , ϕ (δοκιμή τριαξονικής φόρτισης)

Τα αποτελέσματα των δοκιμών τριαξονικής φόρτισης που διενεργήθηκαν σε εδαφικά δοκίμια, εντός της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων, παρουσιάζονται στα διαγράμματα κατανομής τιμών c του σχήματος 6.90. Συνολικά εκτελέστηκαν 80 δοκιμές εκ των οποίων 70 σε λεπτόκοκκα υλικά, 7 σε αδρόκοκκα και 3 σε λοιπούς σχηματισμούς. Ο κυρίαρχος τύπος είναι αυτός της ταχείας δοκιμής χωρίς στερεοποίηση και χωρίς αποστράγγιση (UU). Οι τιμές στα λεπτόκοκκα υλικά κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (69%), από 100 έως 571 KPa (σχήμα 6.91α) για βάθη 0-48 m εντός στιφρής-πολύ στιφρής, ισχνής αργίλου/ιλύος έως παχιάς αργίλου, με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου. Τιμές $c < 100$ kPa παρατηρούνται σε διάφορα βάθη, αλλά σε μικρότερο ποσοστό (29%) και μόλις μέχρι το βάθος των 22 m. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι εντοπίζονται δυο πολύ χαμηλές τιμές συνοχής ($c = 1$ kPa) σε βάθη 3.5 και 3.3 m αντίστοιχα. Πρόκειται για δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός δειγμάτων αργίλου χαμηλής πλαστικότητας με αρκετό ποσοστό άμμου, έως με το βάθος αμμώδους αργίλου με ασβεστιτικά συγκρίμματα. Αναφορικά με την κατανομή των τιμών συνοχής στα αδρόκοκκα υλικά, αυτές κυμαίνονται στο σύνολό τους από 54 έως 248 kPa παρουσιάζοντας αυξητική τάση με το βάθος (σχήμα 6.91β). Τέλος, διενεργήθηκαν τρεις δοκιμές εντός ασθενούς μαργαϊκού ψαμμίτη, πολύ ασθενούς αργιλολίθου και ιλυολίθου απ' όπου προσδιορίστηκαν μεγάλες τιμές συνοχής (Παράρτημα III).

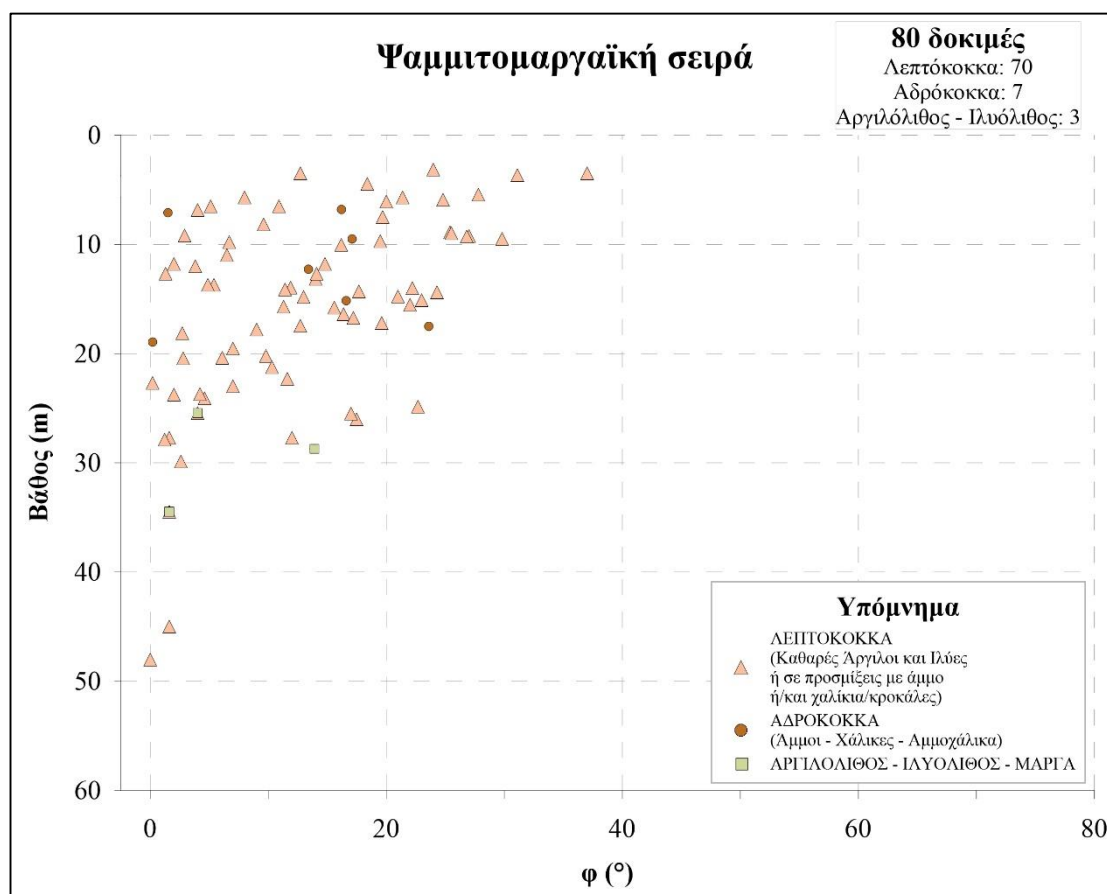


Σχήμα 6.90: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων

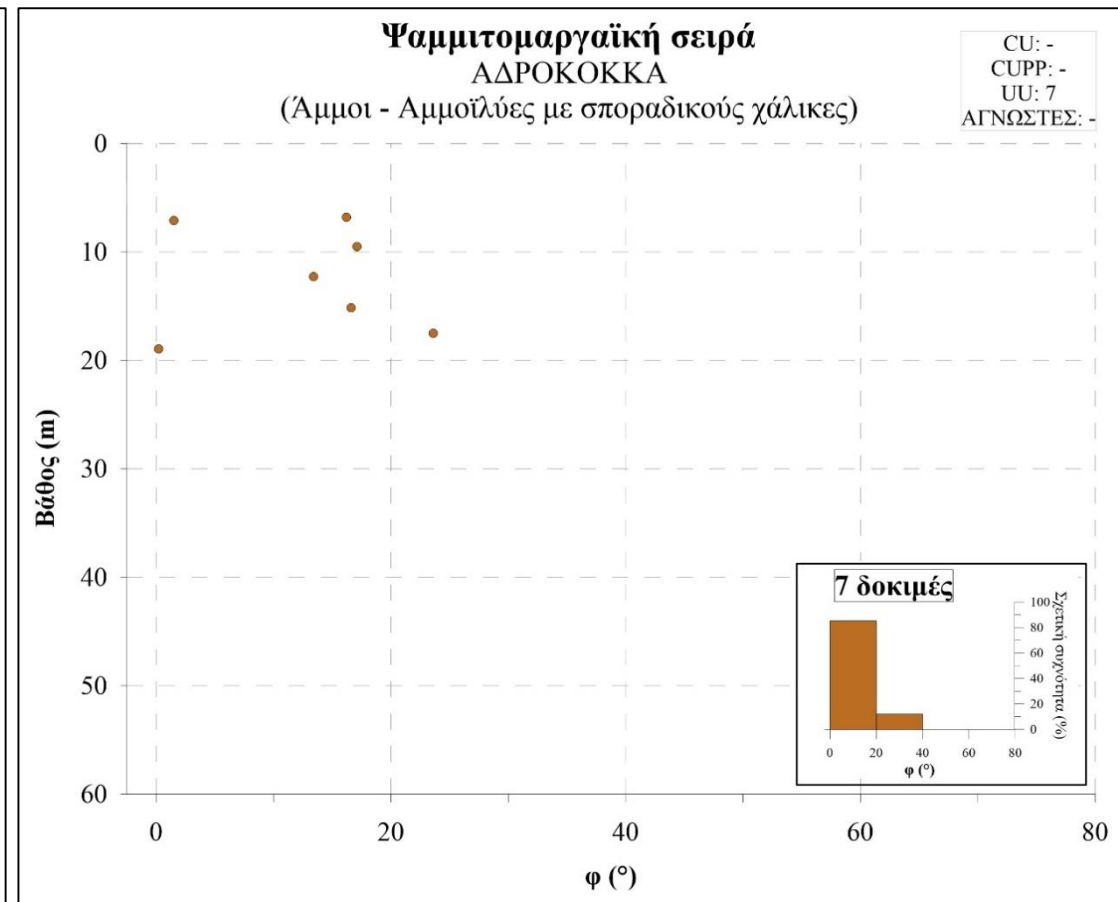
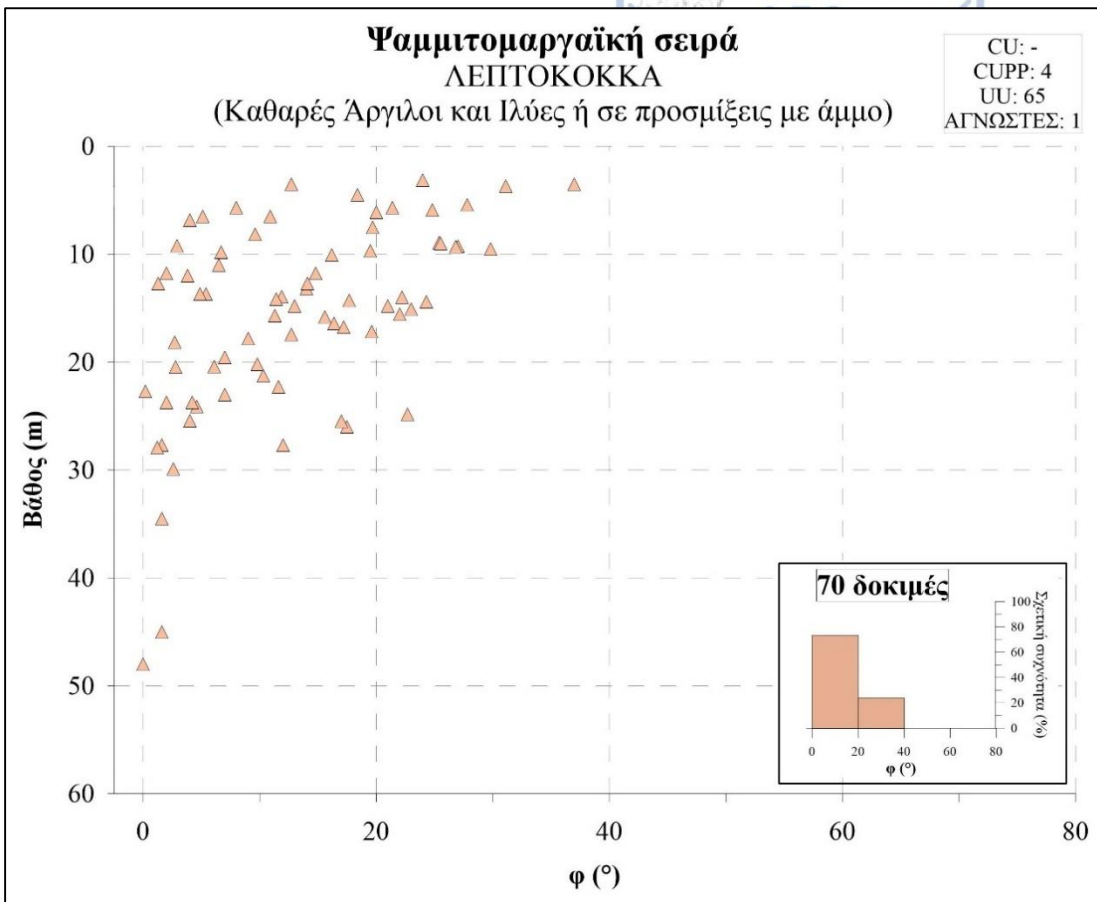


Σχήμα 6.91α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Για τον προσδιορισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής της ψαμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων, εκτελέστηκαν 80 δοκιμές τριαξονικής φόρτισης εκ των οποίων, 70 σε λεπτόκοκκα υλικά, 7 σε αδρόκοκκα και 3 σε λοιπούς σχηματισμούς (σχήμα 6.92). Ο κυρίαρχος τύπος είναι αυτός της ταχείας δοκιμής χωρίς στερεοποίηση και χωρίς αποστράγγιση (UU). Οι τιμές, στα λεπτόκοκκα υλικά, κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (75%), από 0 έως 20° (σχήμα 6.93α). Το υπόλοιπο 25% των δοκιμών εκτελέστηκαν στα πρώτα 25 m κι αντιστοιχεί σε τιμές $\phi = 20^\circ - 37^\circ$. Στην περίπτωση των αδρόκοκκων υλικών, οι τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής κυμαίνονται μεταξύ 0.2° και 23.6° (σχήμα 6.93β). Πρόκειται για τιμές που προέκυψαν από δοκιμές που εκτελέστηκαν, κατά κύριο λόγο, εντός μετρίως πυκνής έως πυκνής, ιλυώδους έως ιλυοαργιλωδους άμμου και εντός πολύ πυκνών, αργιλωδών χαλικιών, με ασβεστιτικά συγκρίματα. Ως προς την κατανομή των τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής για τους υπόλοιπους σχηματισμούς όπως ο μαργαϊκός ψαμμίτης, ο αργιλόλιθος και ο ιλυόλιθος, αυτή παρουσιάζεται Παράρτημα ΙΙΙ.

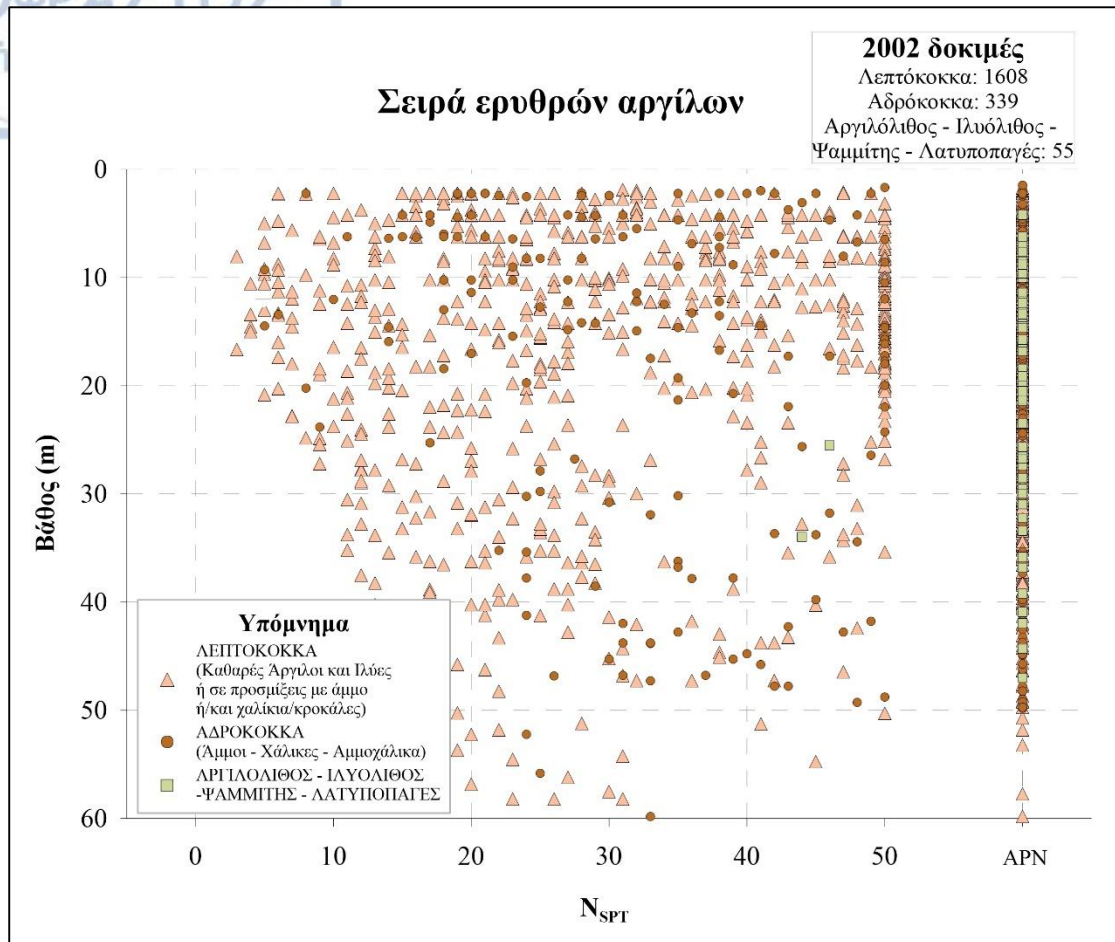


Σχήμα 6.92: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για την ψαμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων

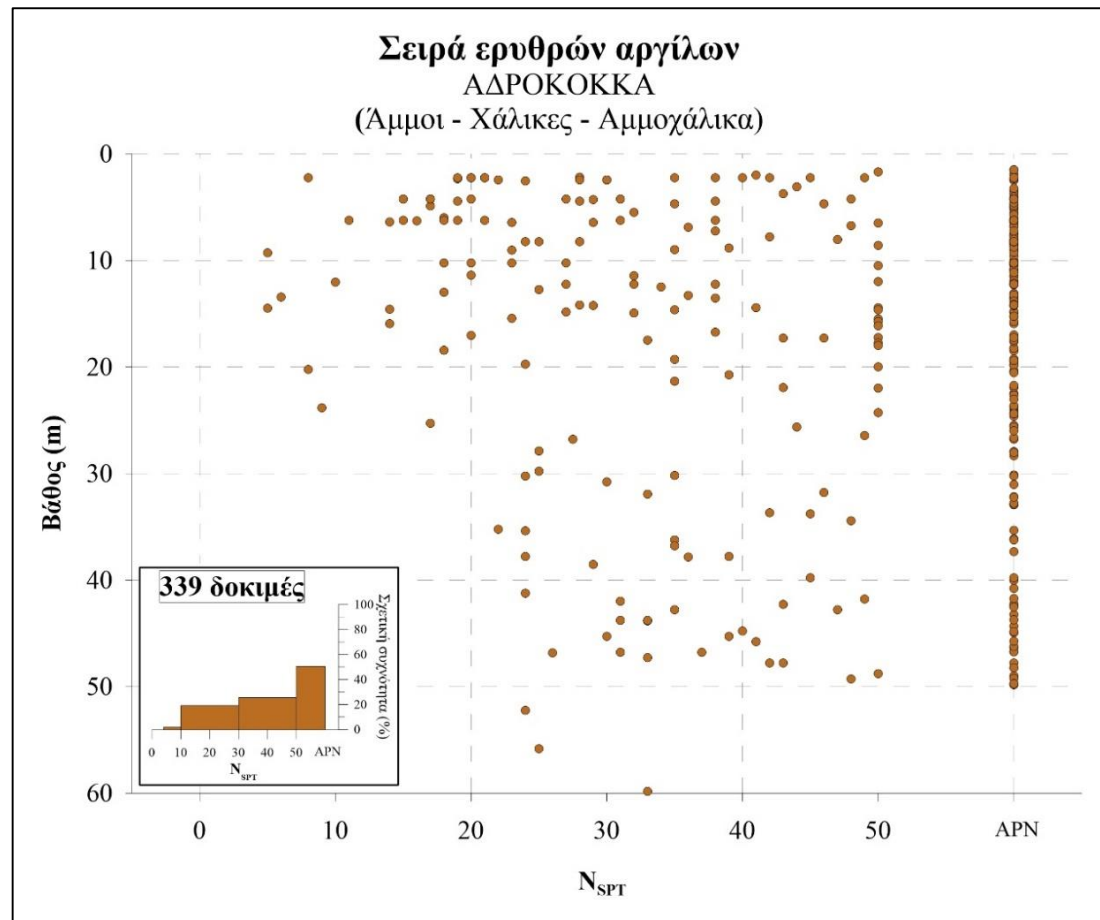
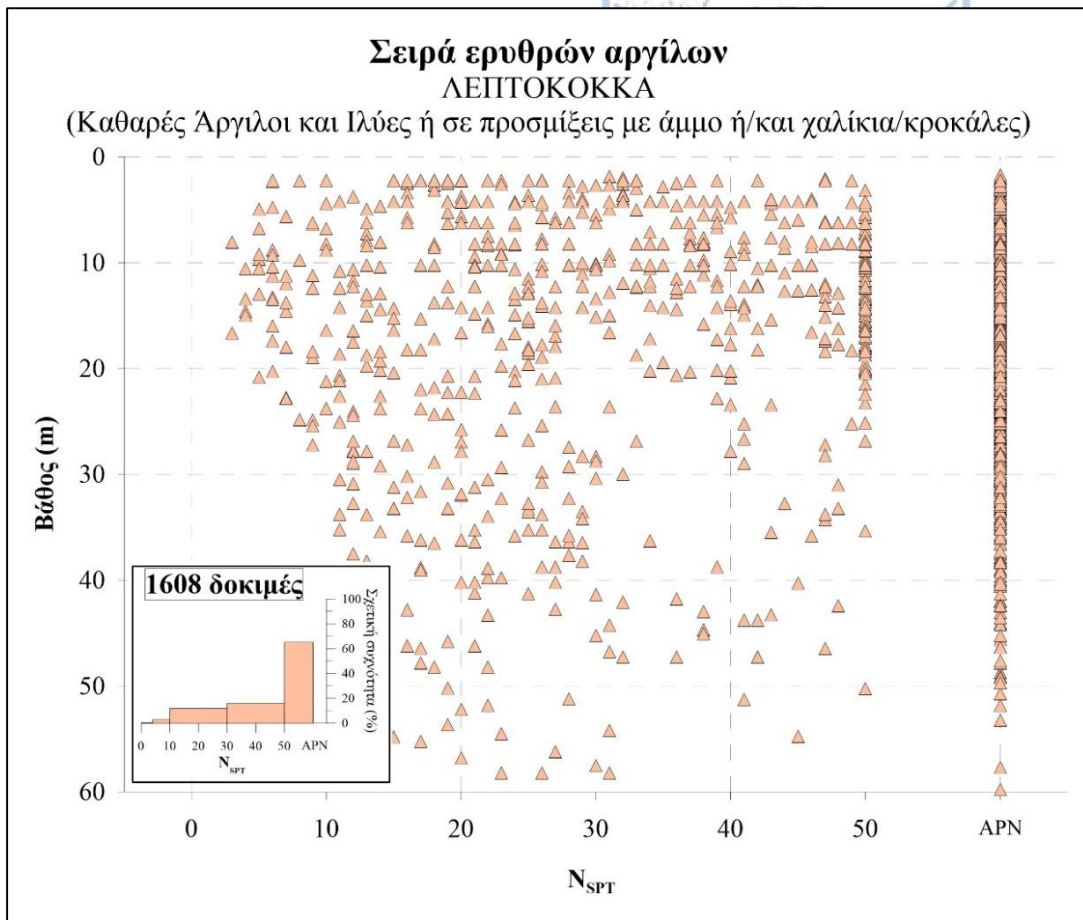


Σχήμα 6.93α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων

Αναφορικά με τη σειρά των ερυθρών αργίλων, στο σχήμα 6.94 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT. Συνολικά έχουν διεξαχθεί 2002 δοκιμές, εκ των οποίων 1608 σε λεπτόκοκκα, 339 σε αδρόκοκκα και 55 σε λοιπούς σχηματισμούς. Ευδιάκριτο είναι το γεγονός ότι επικρατούν στο σύνολό τους $N_{SPT} > 30$, με την πλειονότητα των μετρήσεων, 67% για τα λεπτόκοκκα και 52% για τα αδρόκοκκα, να είναι μεγαλύτερες από 50 υποδηλώνοντας άρνηση διείσδυσης του δειγματολήπτη. Οι τιμές αυτές προσδίδουν στις ερυθρές αργίλους έναν πολύ πυκνό χαρακτήρα στα αδρόκοκκα και αντίστοιχα σκληρό στα λεπτόκοκκα. Στα αμμώδη υλικά το ποσοστό για $10 \leq N_{SPT} < 30$ αγγίζει το 26% (σχήμα 6.95β), ενώ για τα αργιλικά αντιστοιχεί σε 17% (σχήμα 6.95α). Μια ακόμη παρατήρηση σχετικά με τη διακύμανση των τιμών SPT τόσο για τα λεπτόκοκκα, όσο και για τα αδρόκοκκα, είναι πως αυτές αυξάνονται με το βάθος, γεγονός που οφείλεται στη βελτίωση της ποιότητας του σχηματισμού. Ακόμη, ενδεικτικό του πολύ πυκνού και πολύ στιφρού έως σκληρού χαρακτήρα των σχηματισμών είναι ότι αυτοί συναντώνται συχνά, σε διάφορα βάθη, ως ημίβραχοι, δηλαδή ως ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή (στην περίπτωση των αδρόκοκκων) και αργιλόλιθοι, ιλυόλιθοι, μάργα (στην περίπτωση των λεπτόκοκκων). Οι σχηματισμοί αυτοί, παρότι ομαδοποιούνται στις αντίστοιχες κατατάξεις με βάση το επικρατέστερο υλικό (πίνακας 5.1), εντούτοις, εξετάζονται ως ξεχωριστή κατηγορία στις στατιστικές κατανομές λόγω της φύσης τους. Το διάγραμμα κατανομής τιμών SPT για τους λοιπούς σχηματισμούς της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας παρουσιάζεται στο Παράρτημα ΙΙΙ.



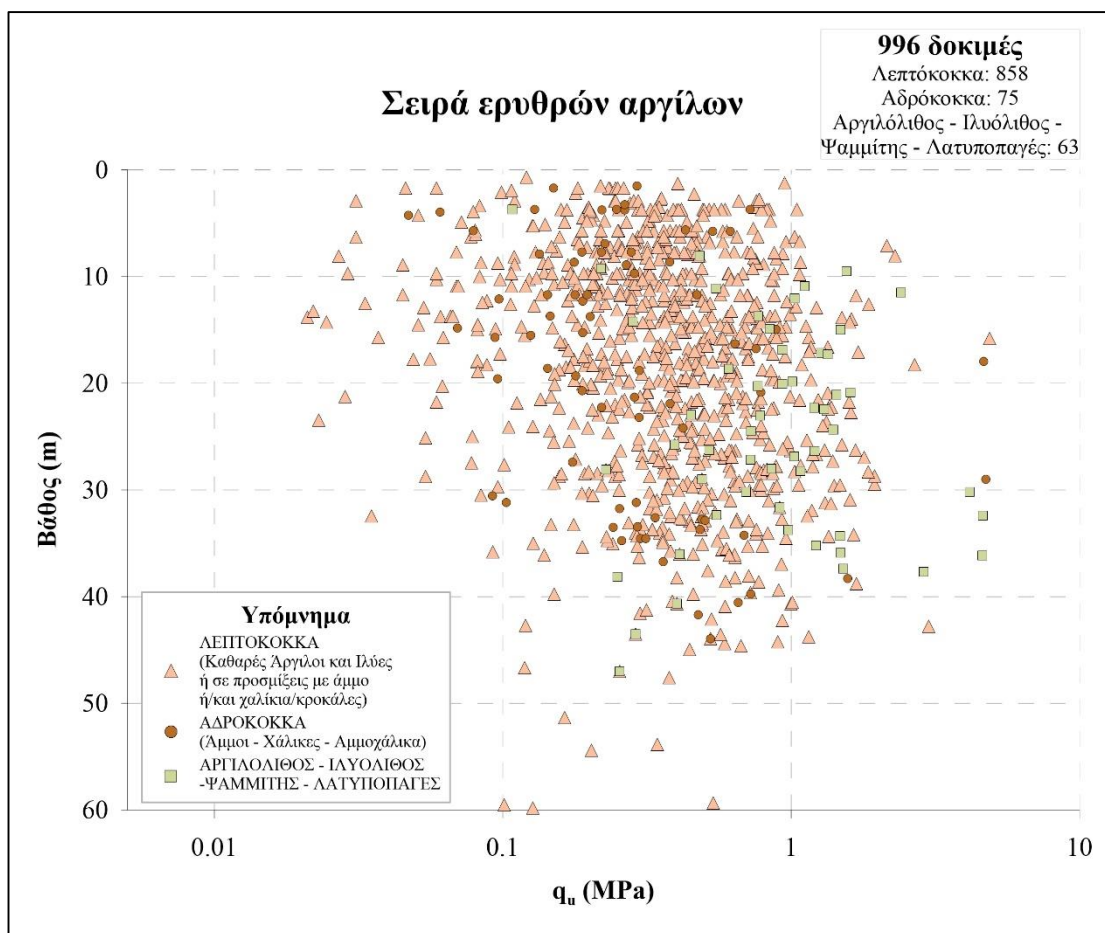
Σχήμα 6.94: Διάγραμμα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (N_{SPT}) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας



Σχήμα 6.95α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδυσης (N_{SPT}) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη - q_u

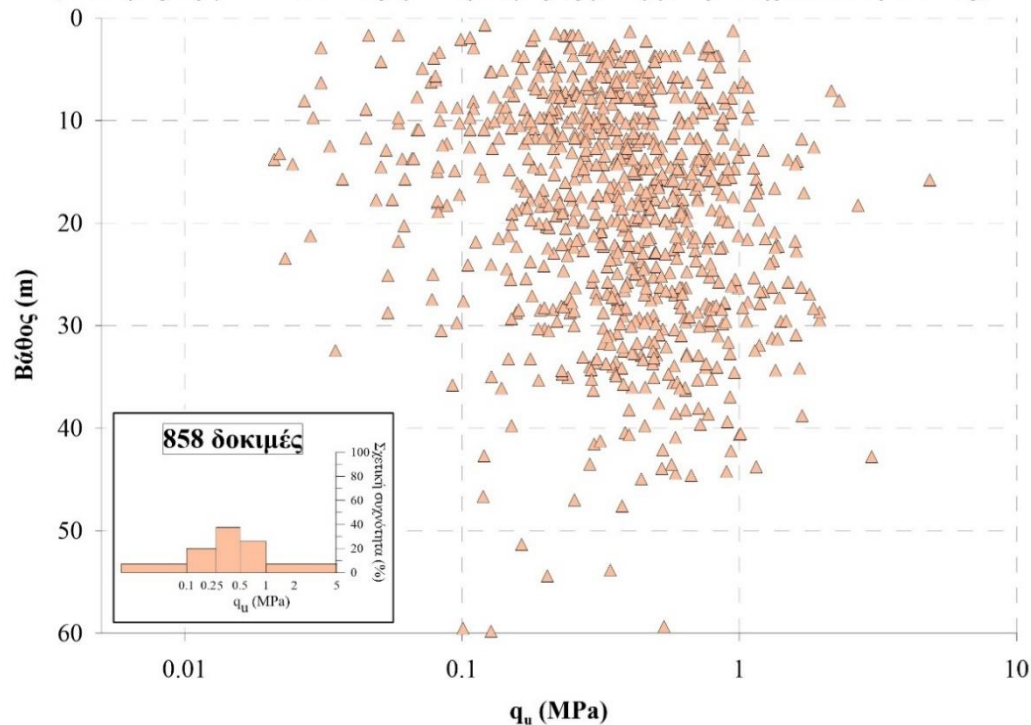
Σύμφωνα με το σχήμα 6.96 έχουν διεξαχθεί συνολικά 996 δοκιμές για τον προσδιορισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, εκ των οποίων 858 σε λεπτόκοκκα, 75 σε αδρόκοκκα και 63 σε λοιπούς σχηματισμούς. Από την αξιολόγηση του διαγράμματος της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενών αποθέσεων, προκύπτει ότι στην πλειονότητά τους οι τιμές κυμαίνονται από 0.1 έως 1 MPa. Πιο συγκεκριμένα, στα λεπτόκοκκα υλικά εντοπίζονται κατά βάση τιμές $q_u = 0.25-1$ MPa (σχήμα 6.97α), ενώ για τα αδρόκοκκα οι τιμές εμπίπτουν κατά βάση στο εύρος $q_u = 0.1-0.5$ MPa (σχήμα 6.97β). Η συγκεκριμένη διακύμανση θεωρείται αναμενόμενη λόγω της κοκκομετρικής διαφοροποίησης ως προς τη σύσταση των υλικών που επικρατούν σε κάθε περίπτωση. Μεγαλύτερες τιμές q_u αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός μέτρια έως ισχυρά διαγεννημένων λατυποπαγών/κροκαλοπαγών με τεμάχια χαλαζιακής και γνευσιακής προέλευσης και ασθενών έως πολύ ασθενών ιλυολίθων/αργιολίθων (Παράρτημα ΙΙΙ).



Σχήμα 6.96: Διάγραμμα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

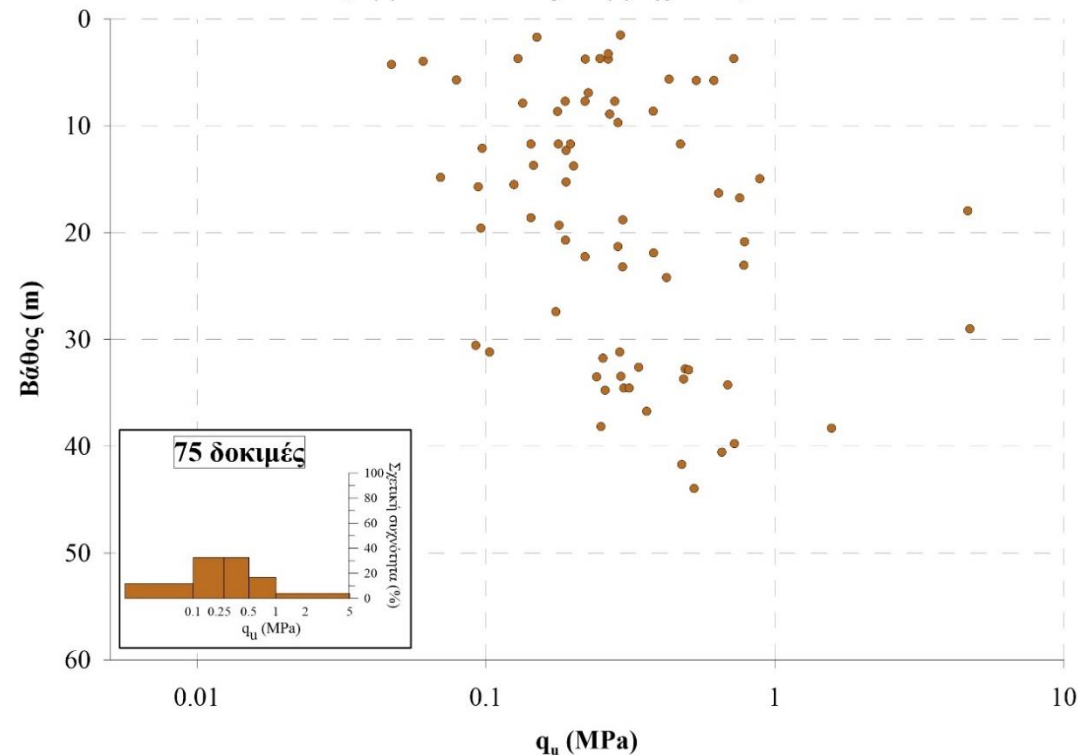
Σειρά ερυθρών αργίλων ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Σειρά ερυθρών αργίλων ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

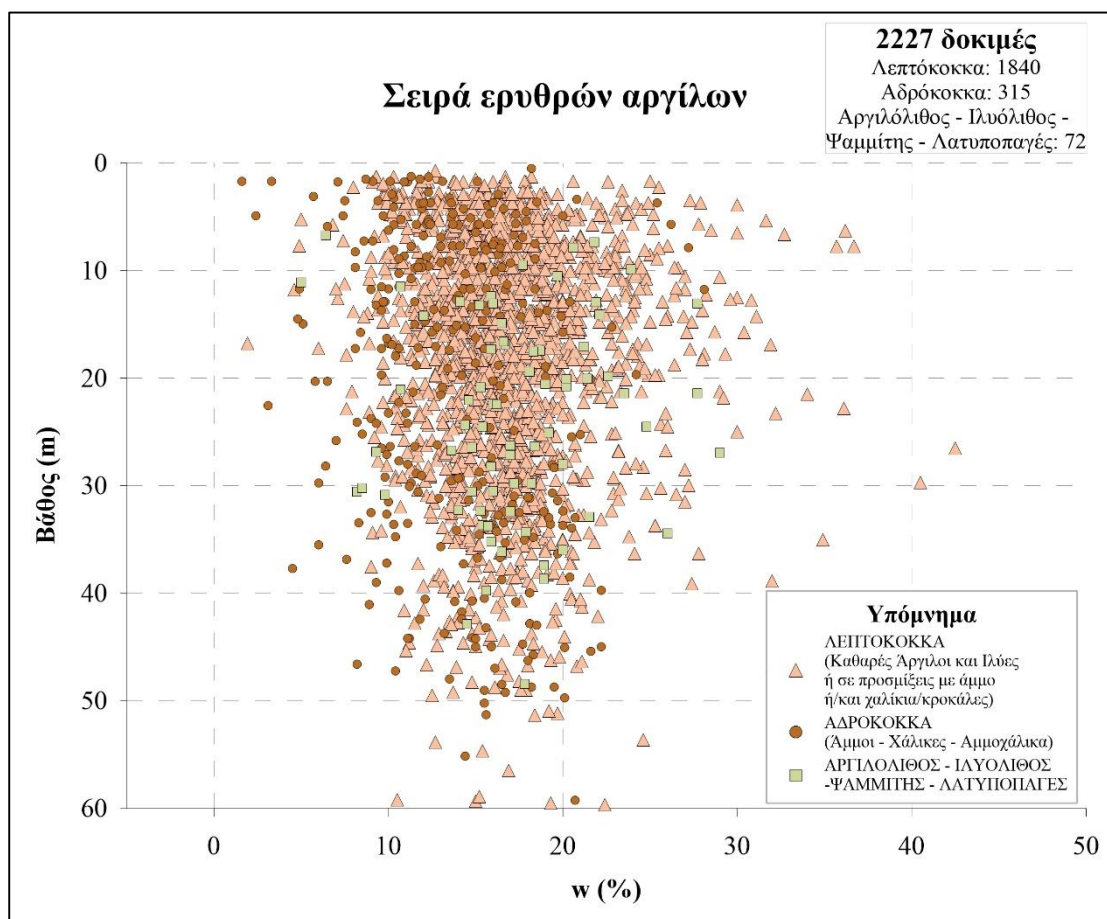
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



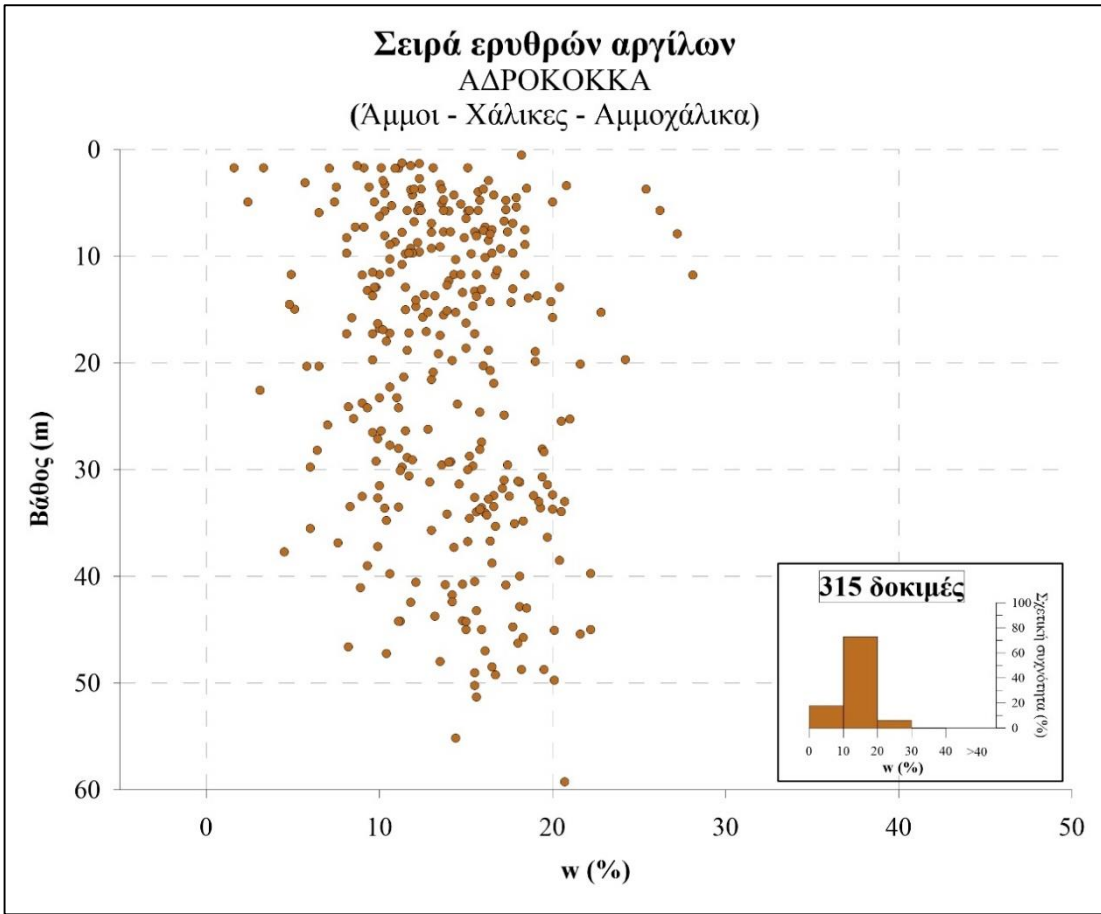
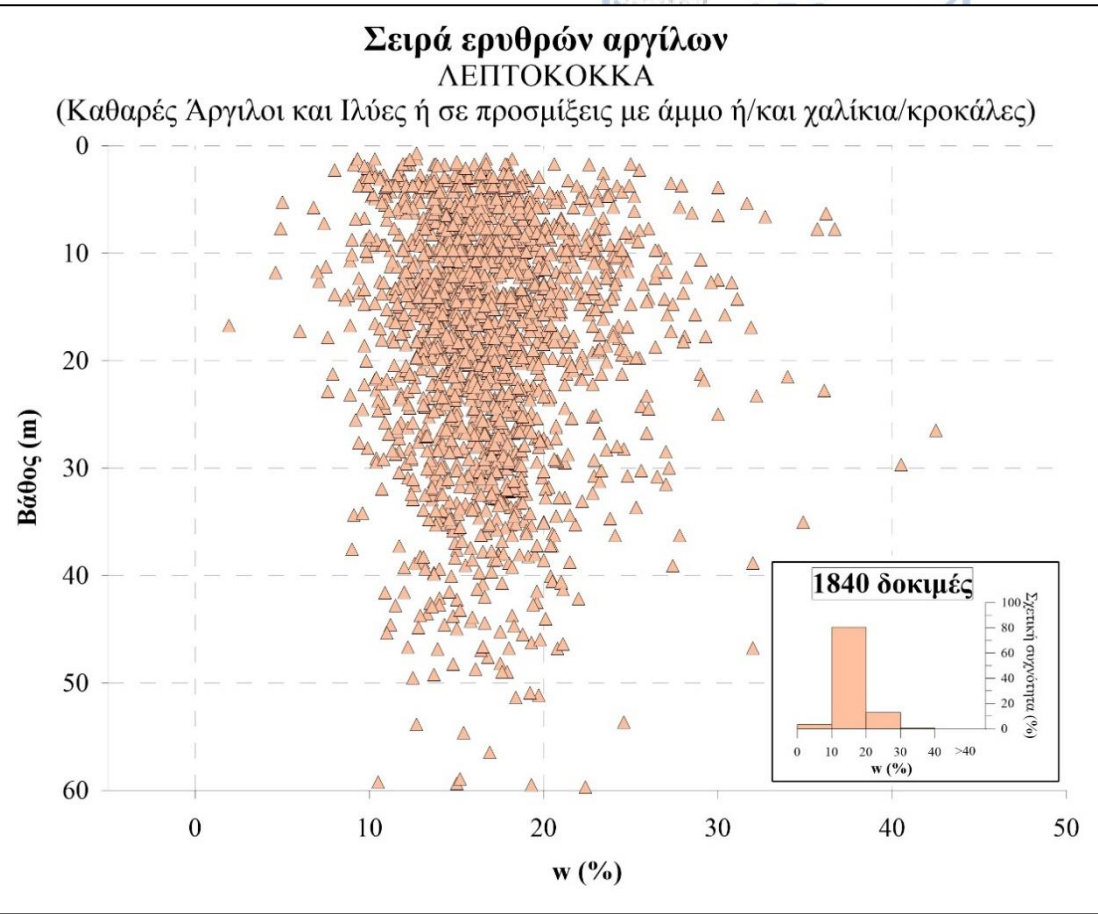
Σχήμα 6.97α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Περιεχόμενη υγρασία - w

Στο σχήμα 6.98 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών της περιεχόμενης υγρασίας με το βάθος για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας. Σύμφωνα μ' αυτό, έχουν διεξαχθεί συνολικά 2227 δοκιμές, εκ των οποίων 1840 σε λεπτόκοκκα, 315 σε αδρόκοκκα και 72 σε λοιπούς σχηματισμούς. Από την αξιολόγηση του διαγράμματος, προκύπτει ότι στην πλειονότητά τους οι τιμές κυμαίνονται από 10 έως 20%. Οι τιμές αυτές εντοπίζονται σε ποσοστό 82% για τα λεπτόκοκκα και 75% για τα αδρόκοκκα (σχήμα 6.99α.β). Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι εντοπίζονται μόλις δύο τιμές $w > 40\%$ οι οποίες αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός αργίλου με ελάχιστο ποσοστό άμμου έως κατά θέσεις αμμώδους αργίλου, μέσης συνεκτικότητας έως στιφρή. Αναφορικά με τους υπόλοιπους σχηματισμούς παρατηρούνται τιμές οι οποίες βρίσκονται εντός του εύρους $w = 0-30\%$ (Παράρτημα ΙΙΙ).



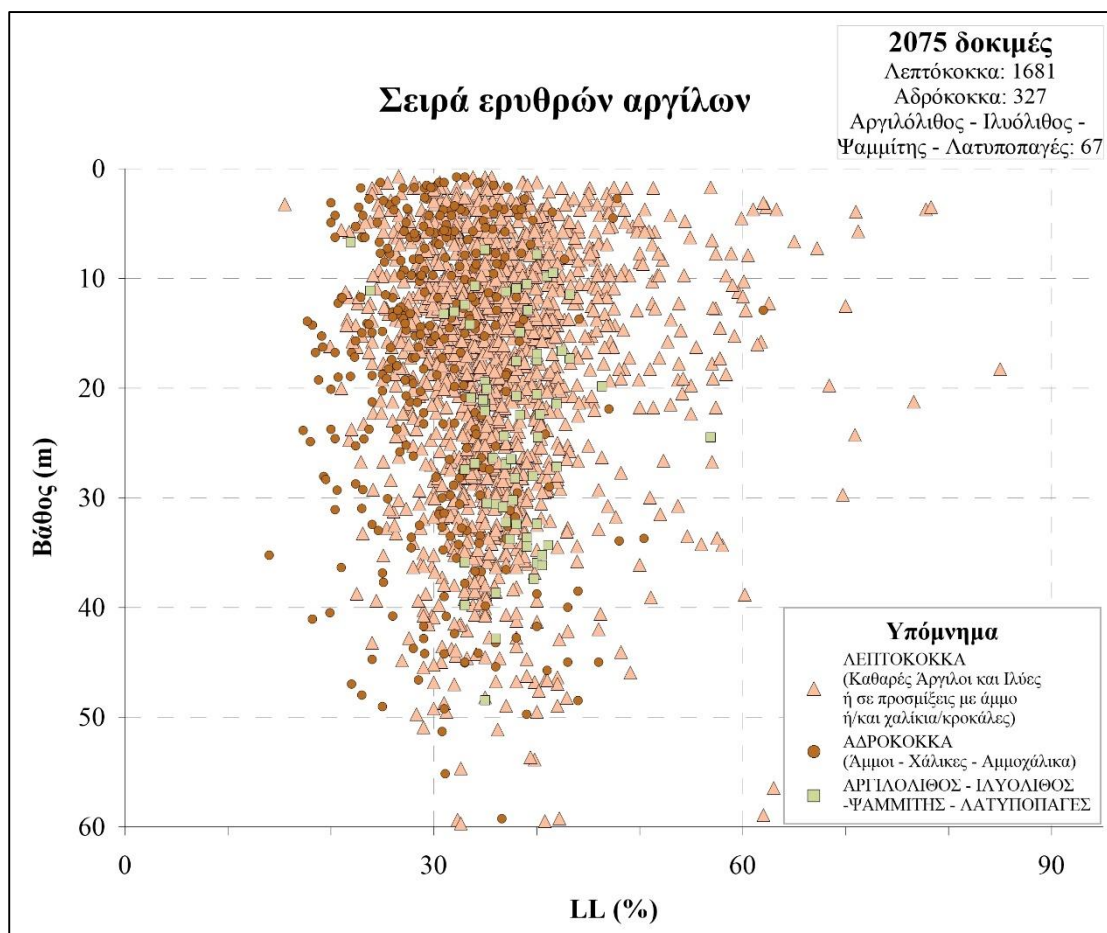
Σχήμα 6.98: Διάγραμμα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας



Σχήμα 6.99α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Όριο υδαρότητας - LL

Η κατανομή των τιμών LL με το βάθος για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.100. Συνολικά εκτελέστηκαν 2075 δοκιμές εκ των οποίων 1681 στα λεπτόκοκκα, 327 στα αδρόκοκκα και 67 σε λοιπούς σχηματισμούς. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την επικράτηση τιμών $LL < 35\%$ σε ποσοστό 80% στα αδρόκοκκα υλικά, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στα λεπτόκοκκα είναι 53%. Τιμές $35\% \leq LL \leq 50\%$ παρατηρούνται στο 20% των δοκιμών που εκτελέστηκαν σε δείγματα όπου επικρατούν αδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.101β). Στα λεπτόκοκκα υλικά, τα αποτελέσματα από τις δοκιμές για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας, παρουσιάζουν διαφορετική εικόνα, καθώς παρατηρούνται και μεγαλύτερες τιμές ($LL > 70\%$) που αντιστοιχούν στο 2.8% των συνολικών δοκιμών (σχήμα 6.101α). Αναφορικά με τις τιμές LL των υπόλοιπων σχηματισμών που παρουσιάζονται στο Παράρτημα III, αυτές εντοπίζονται στην πλειονότητά τους (70%) εντός του εύρους $35\% \leq LL \leq 50\%$ για διάφορα βάθη. Πρόκειται για δείγματα που αντιστοιχούν σε πολύ ασθενή έως ασθενή αργιόλιθο με εναλλαγές από πολύ ασθενές έως ασθενές λατυποπαγές, καθώς και ασθενή ψαμμίτη με διαποτισμούς κόκκινων οξειδίων έως ασθενή, αμμώδη ιλυόλιθο.

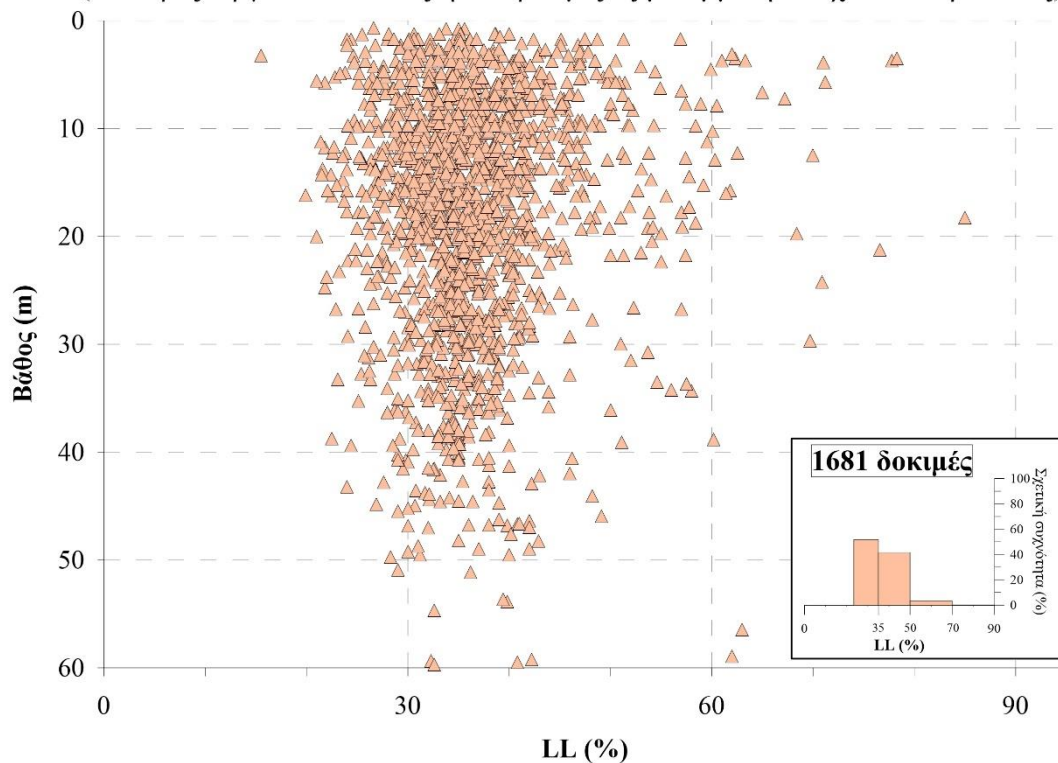


Σχήμα 6.100: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Σειρά ερυθρών αργίλων

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

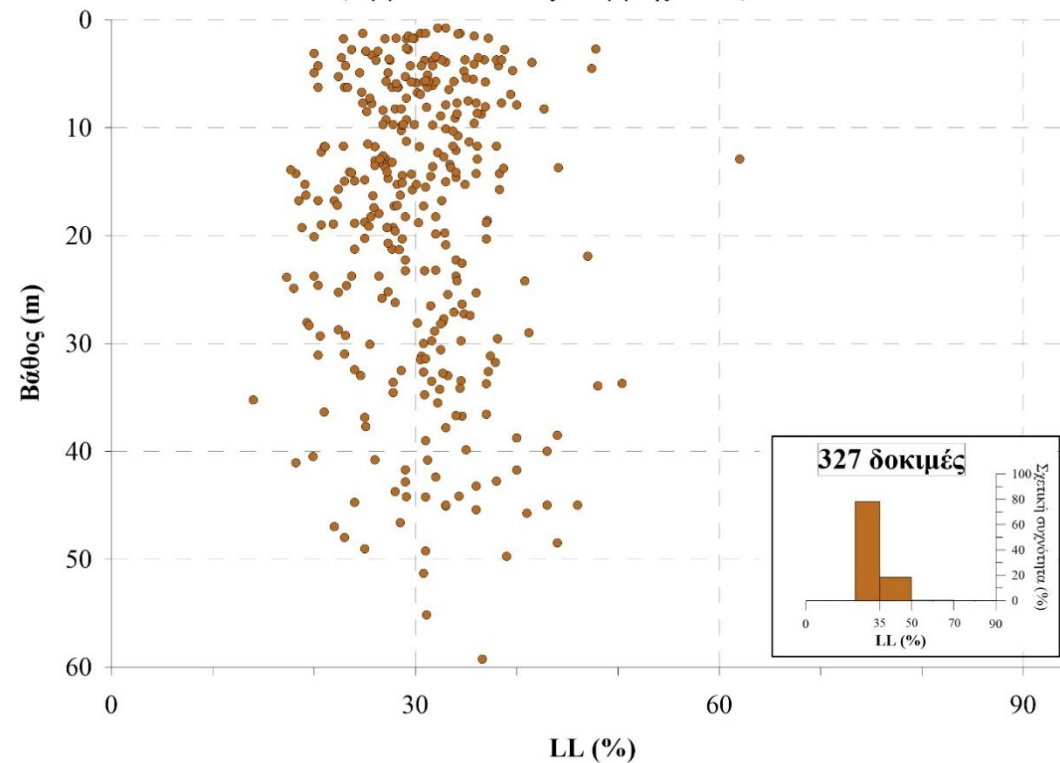
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Σειρά ερυθρών αργίλων

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

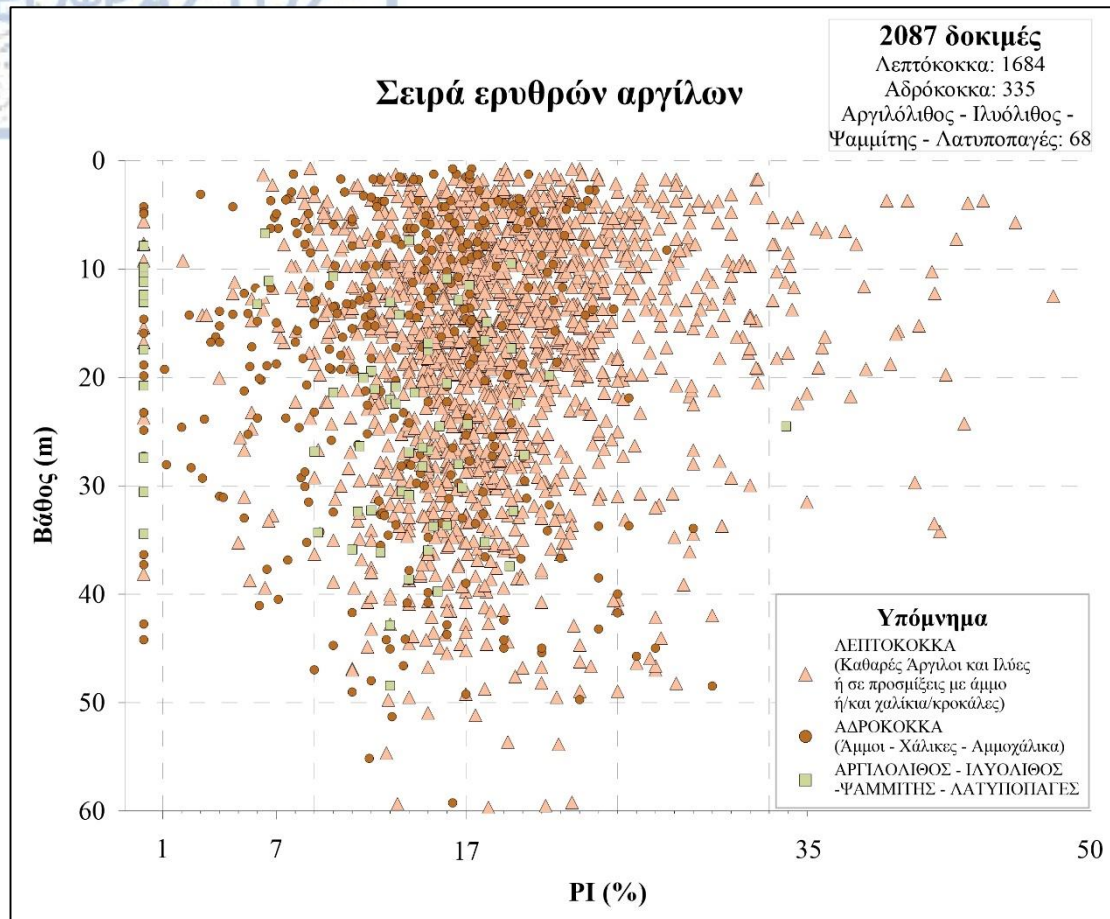
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



Σχήμα 6.101α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Δείκτης πλαστικότητας - PI

Τα διαθέσιμα δεδομένα του δείκτη πλαστικότητας με το βάθος για τις ερυθρές αργίλους Νεογενών αποθέσεων, παρουσιάζονται στο σχήμα 6.102. Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής τιμών PI, εκτελέστηκαν 2087 δοκιμές, εκ των οποίων οι 1684 σε λεπτόκοκκα υλικά, οι 335 σε αδρόκοκκα και οι υπόλοιπες 68 σε λοιπούς σχηματισμούς. Σε ότι αφορά στο λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών (σχήμα 6.103α), το 96% αντιστοιχεί σε τιμές $7 \leq PI \leq 35$ προσδιορίζοντας υλικά ενδιάμεσης έως κυρίως υψηλής πλαστικότητας. Το ποσοστό για το αντίστοιχο εύρος τιμών στα αδρόκοκκα υλικά, είναι της τάξης του 83%, με σαφή επικράτηση υλικών μέσης πλαστικότητας (σχήμα 6.103β). Επίσης, παρατηρούνται και κάποιες τιμές $PI < 7$ σε ποσοστό της τάξης του 17%. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρατηρούνται και κάποιες τιμές $PI=0$, οι οποίες εμφανίζονται μέχρι το βάθος των 45 m. Πρόκειται για περιορισμένο αριθμό δεδομένων, ο οποίος προέρχεται από δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός πολύ ασθενούς αργιολίθου ή ιλυολίθου με οξειδώσεις, που αποσυντίθεται σε αργιλώδεις χάλικες με άμμο ή ιλύ/αμμώδη ιλύ μικρής πλαστικότητας. Στο διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (Παράρτημα III), παρατηρείται επικράτηση στις τιμές $7 \leq PI \leq 35$ με την πλειονότητα αυτών να έχουν διεξαχθεί στο βάθος 10-40 m.

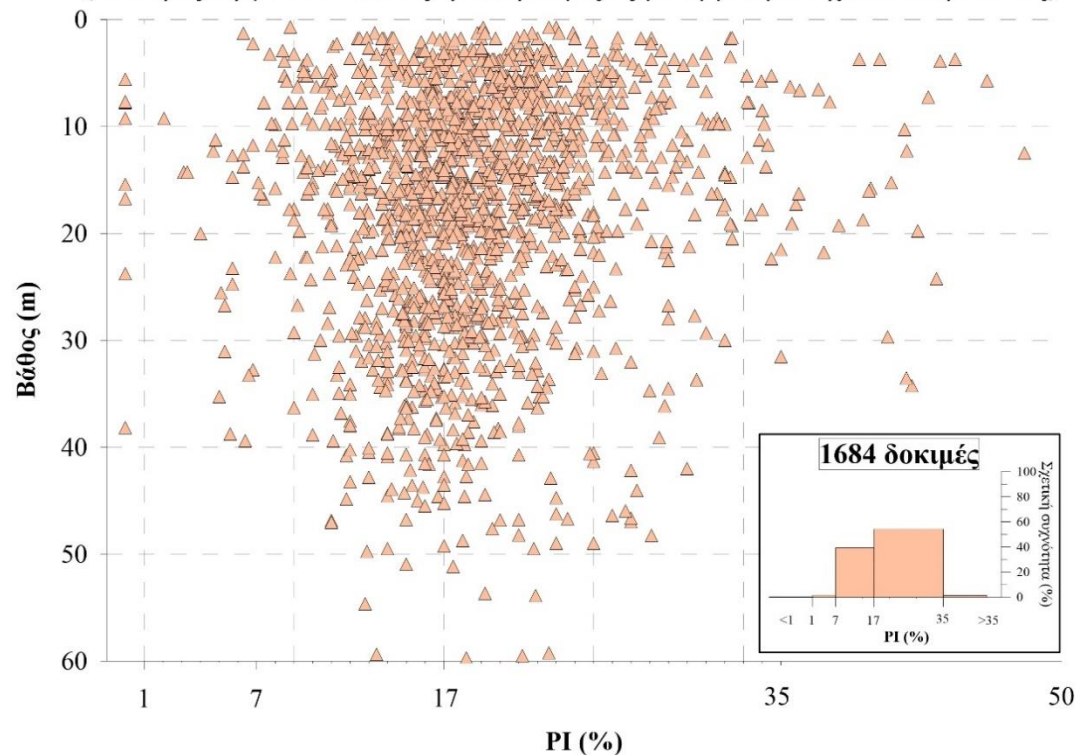


Σχήμα 6.102: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Σειρά ερυθρών αργίλων

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

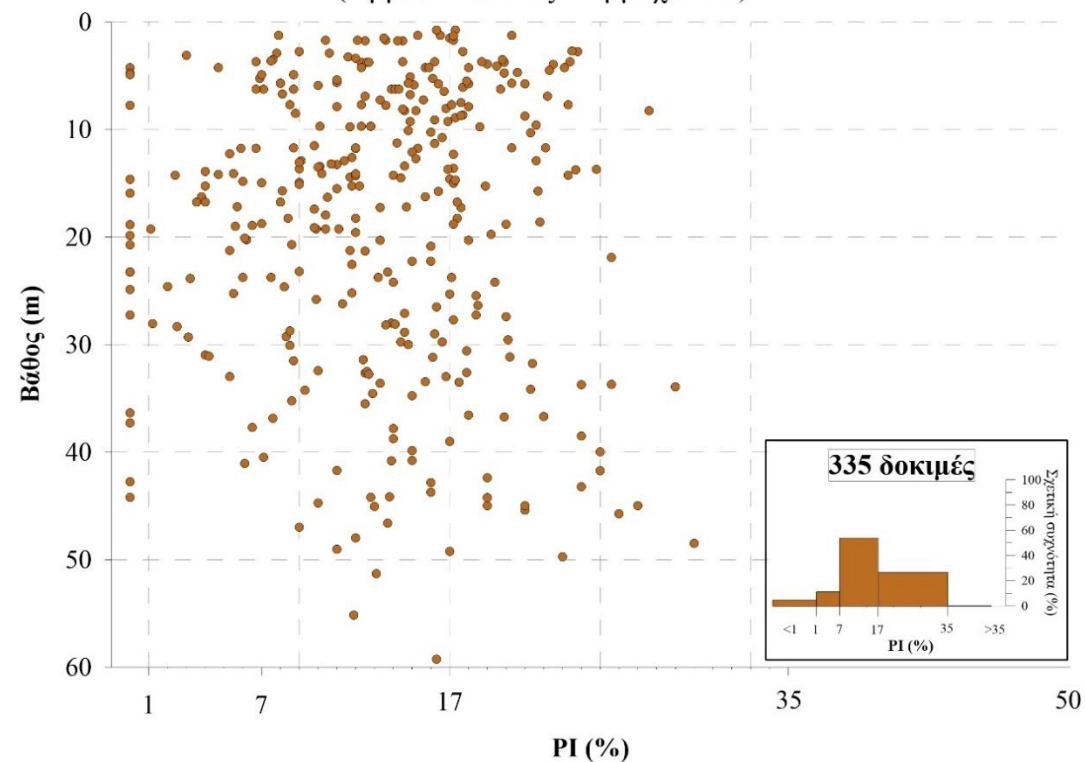
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Σειρά ερυθρών αργίλων

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

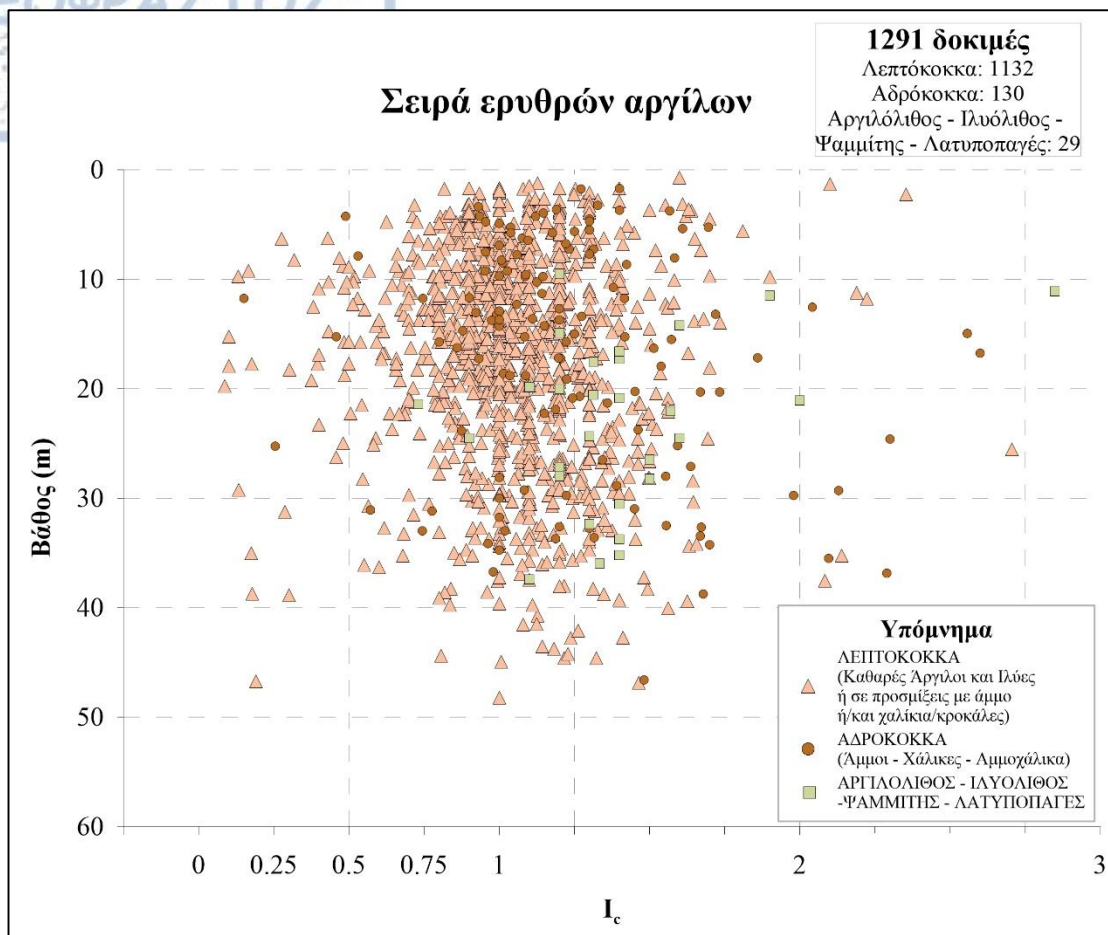
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



Σχήμα 6.103α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Δείκτης συνεκτικότητας – I_c

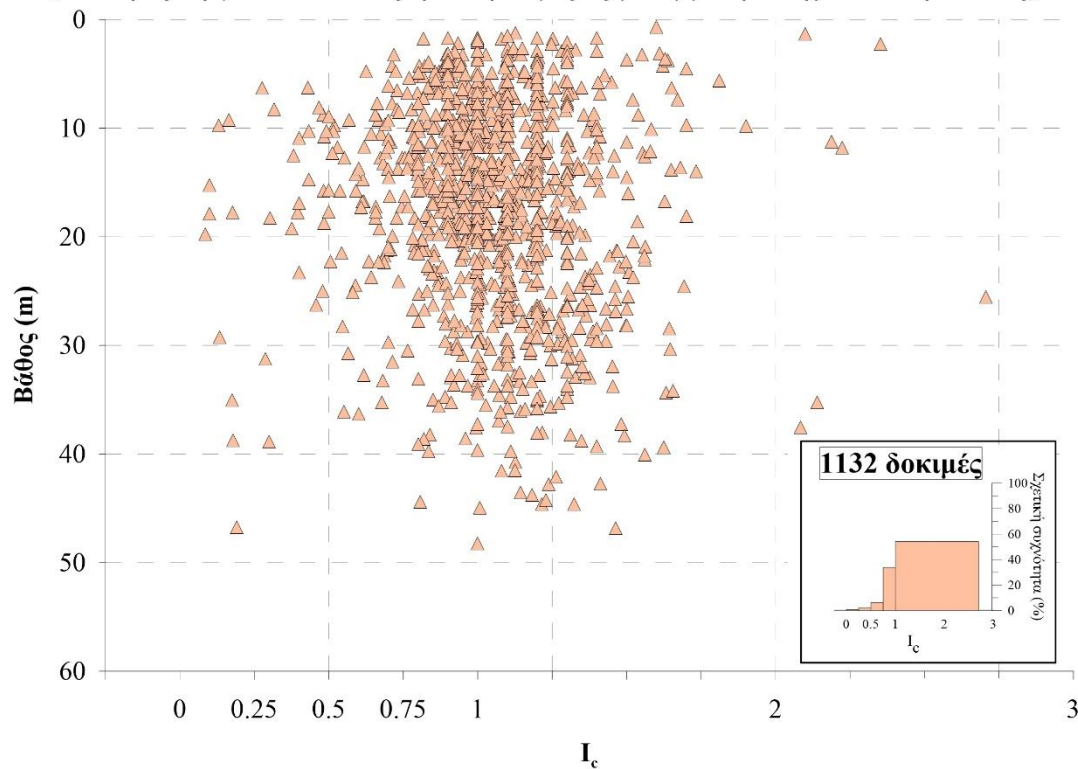
Στο σχήμα 6.104 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη συνεκτικότητας με το βάθος για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας. Σύμφωνα μ' αυτό, εκτελέστηκαν συνολικά 1291 δοκιμές, εκ των οποίων 1132 σε λεπτόκοκκα υλικά, 130 σε αδρόκοκκα και 29 σε λοιπούς σχηματισμούς. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την επικράτηση τιμών $I_c > 0.75$ σε ποσοστό 90% στα λεπτόκοκκα υλικά, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στα αδρόκοκκα είναι 94% χαρακτηρίζοντας τους εδαφικούς σχηματισμούς ως πολύ στιφρούς έως σκληρούς (σχήμα 6.105α.β). Μάλιστα, και στις δύο περιπτώσεις, εντοπίζονται τιμές $I_c > 2$. Στα λεπτόκοκκα υλικά αυτές οι τιμές προέκυψαν από εκτέλεση δοκιμών σε δείγματα πολύ στιφρής έως σκληρής, ισχνής αργίλου με άμμο, με διάσπαρτους χάλικες, με πολλά ασβεστιτικά συγκρίματα ή σκληρής ιλύος με άμμο, με σποραδικούς χάλικες. Στα αδρόκοκκα υλικά οι δοκιμές διενεργήθηκαν κυρίως εντός πολύ πυκνών χαλικών με άμμο, οι οποίοι εμφανίζονται κατά θέσεις συγκολλημένοι σε κροκαλοπαγές ή εντός πολύ πυκνής, αργιλώδους άμμου με χάλικες. Χαμηλές τιμές ($I_c < 0.25$) εμφανίζονται στα λεπτόκοκκα όπου παρεμβάλλονται στρώσεις μαλακής αμμώδους αργίλου με χάλικες και κροκάλες από πρασινοσχιστόλιθο. Αναφορικά με τις τιμές I_c των υπόλοιπων σχηματισμών που παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ, αυτές είναι στην πλειονότητά τους (93%) μεγαλύτερες της μονάδας, χαρακτηρίζοντας τους εκάστοτε σχηματισμούς ως σκληρούς.



Σχήμα 6.104: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

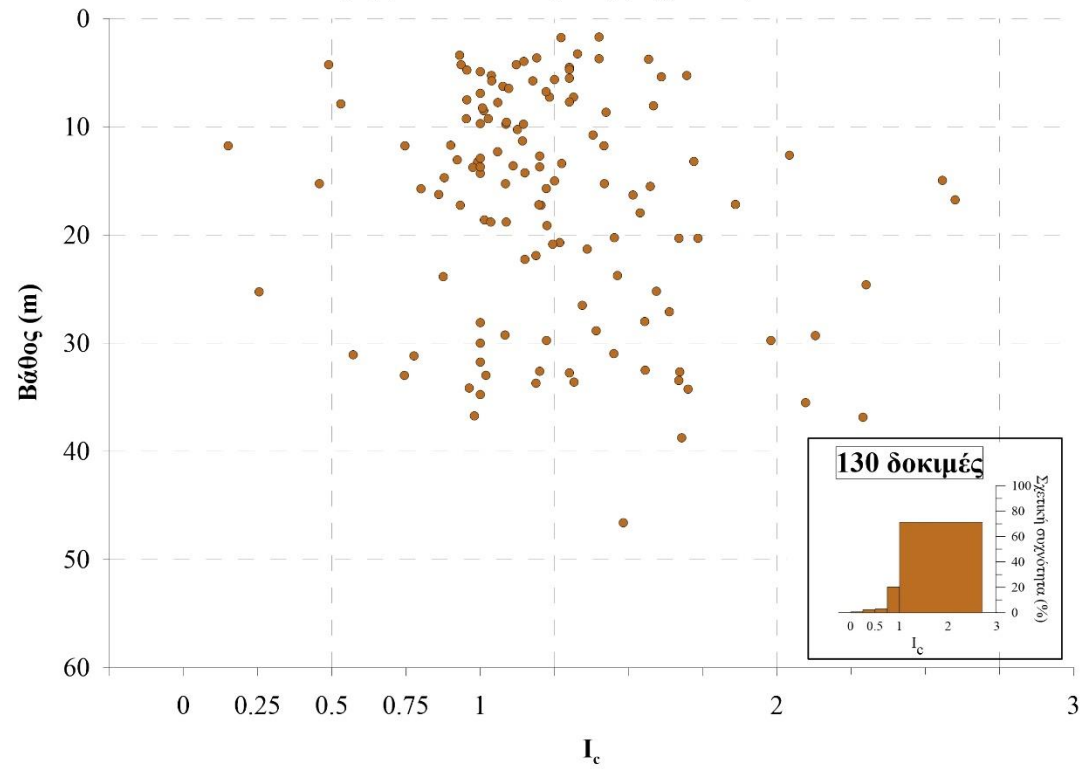
Σειρά ερυθρών αργίλων ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Σειρά ερυθρών αργίλων ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

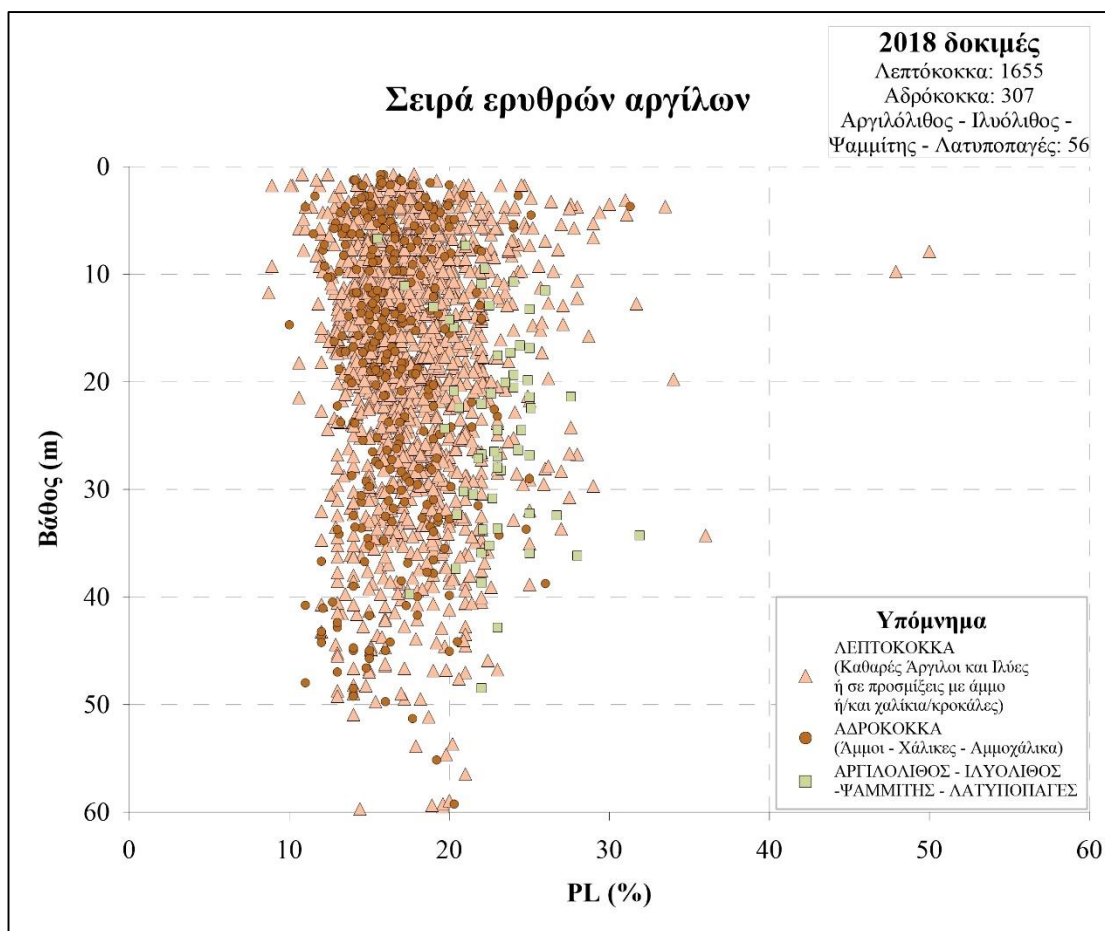
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



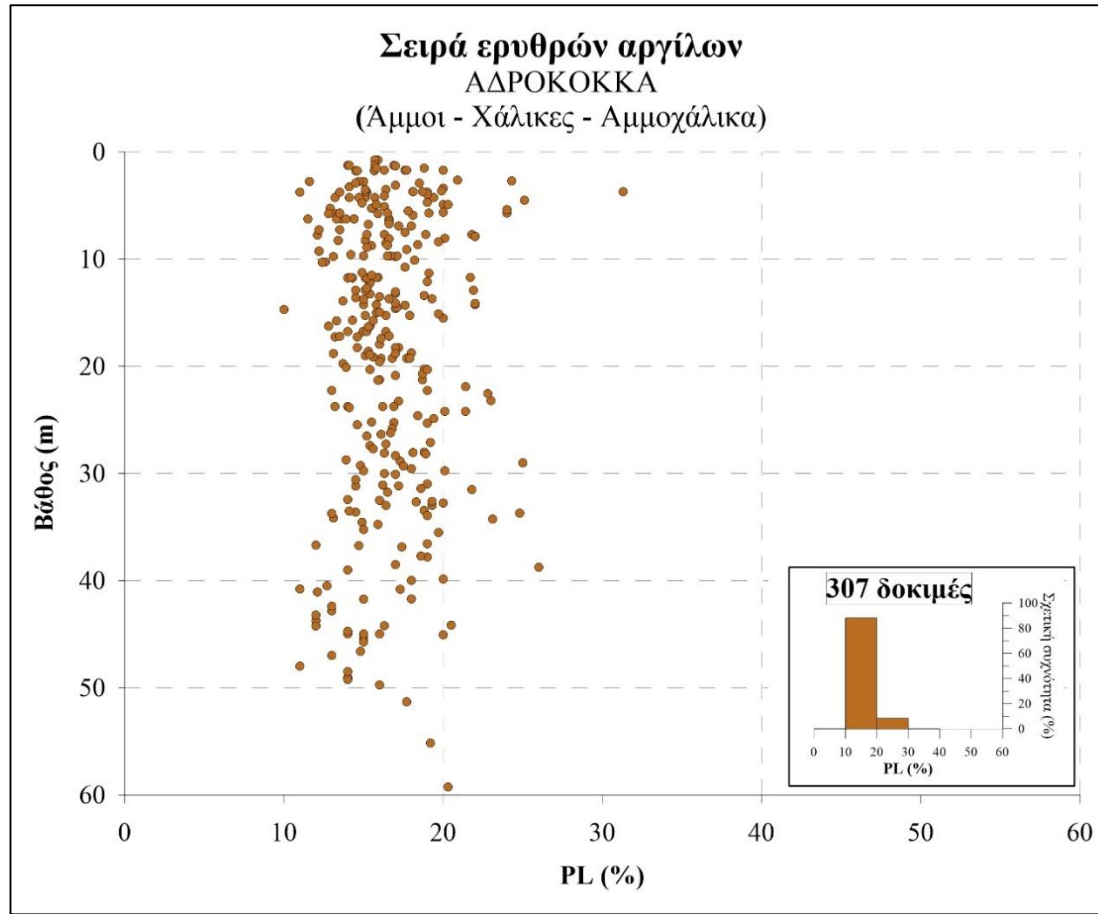
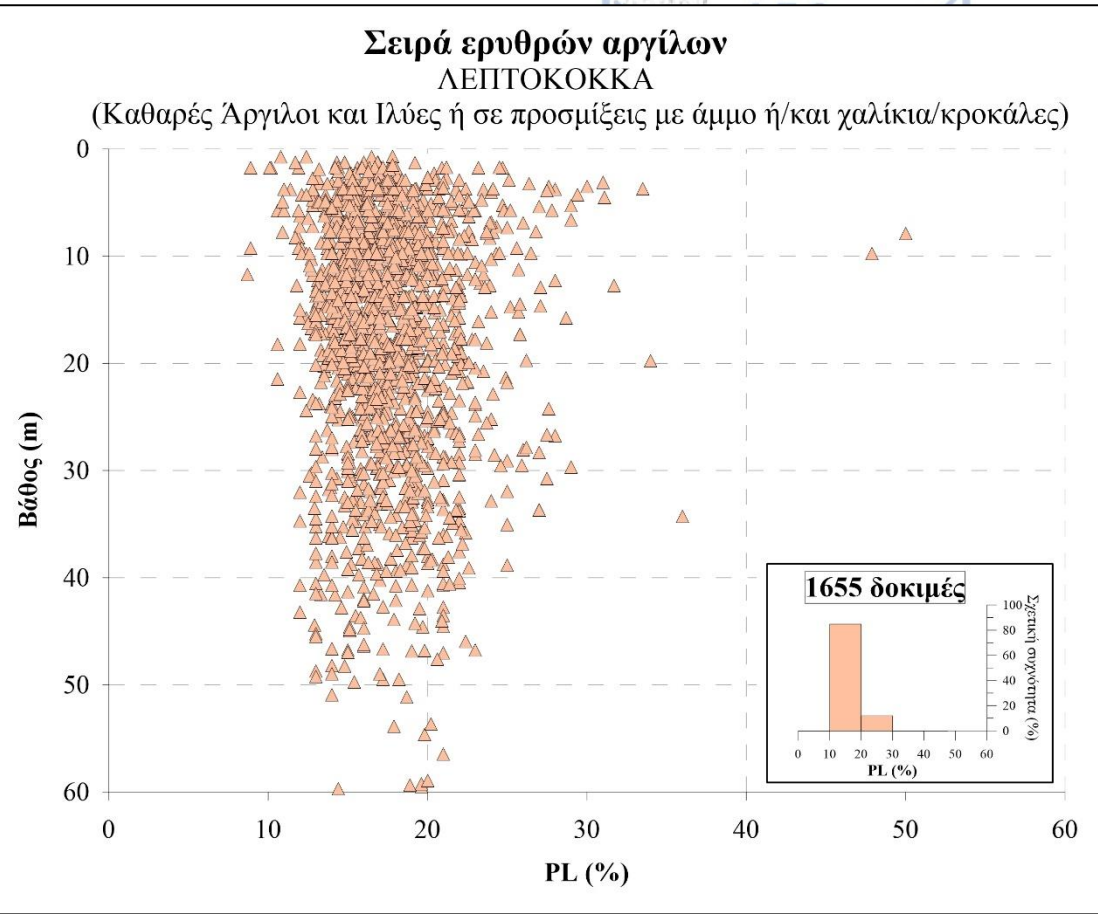
Σχήμα 6.105α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Όριο πλαστικότητας - PL

Στο σχήμα 6.106 δίνεται το διάγραμμα κατανομής τιμών PL για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας. Συνολικά εκτελέστηκαν 2018 δοκιμές, εκ των οποίων 1655 σε λεπτόκοκκα υλικά, 307 σε αδρόκοκκα και 56 σε λοιπούς σχηματισμούς. Τα αποτελέσματα προβάλλονται στο σχήμα 6.107α.β και υποδεικνύουν την επικράτηση τιμών $10\% < PL \leq 20\%$ τόσο στα λεπτόκοκκα (87%), όσο και στα αδρόκοκκα υλικά (91%). Στα λεπτόκοκκα υλικά παρατηρούνται δύο μεγάλες τιμές ορίου πλαστικότητας (~50%) οι οποίες εμφανίζονται στα πρώτα 10 m. Πρόκειται για αποθέσεις που αποτελούνται από μαργαϊκή άργιλο, καστανού-καστανοπράσινου χρώματος, μέσης έως υψηλής πλαστικότητας, πολύ στιφρή-σκληρή με χαλίκια και ασβεστιτικά συγκρίματα. Ως προς τις τιμές PL των υπόλοιπων σχηματισμών που παρουσιάζονται στο Παράρτημα III, εντοπίζονται στην πλειονότητά τους (88%) εντός του εύρους $20\% < PL \leq 30\%$ για βάθη από 7 έως 48.5 m. Αυτές οι τιμές προέρχονται από δοκιμές που διενεργήθηκαν κατά κύριο λόγο εντός πολύ ασθενούς ιλυολίθου-αργιολίθου με ασβεστιτικά συγκρίματα και με διαποτισμούς κόκκινων οξειδίων και λιγότερο εντός ασθενούς ψαμμίτη και πολύ ασθενούς λατυποπαγούς.



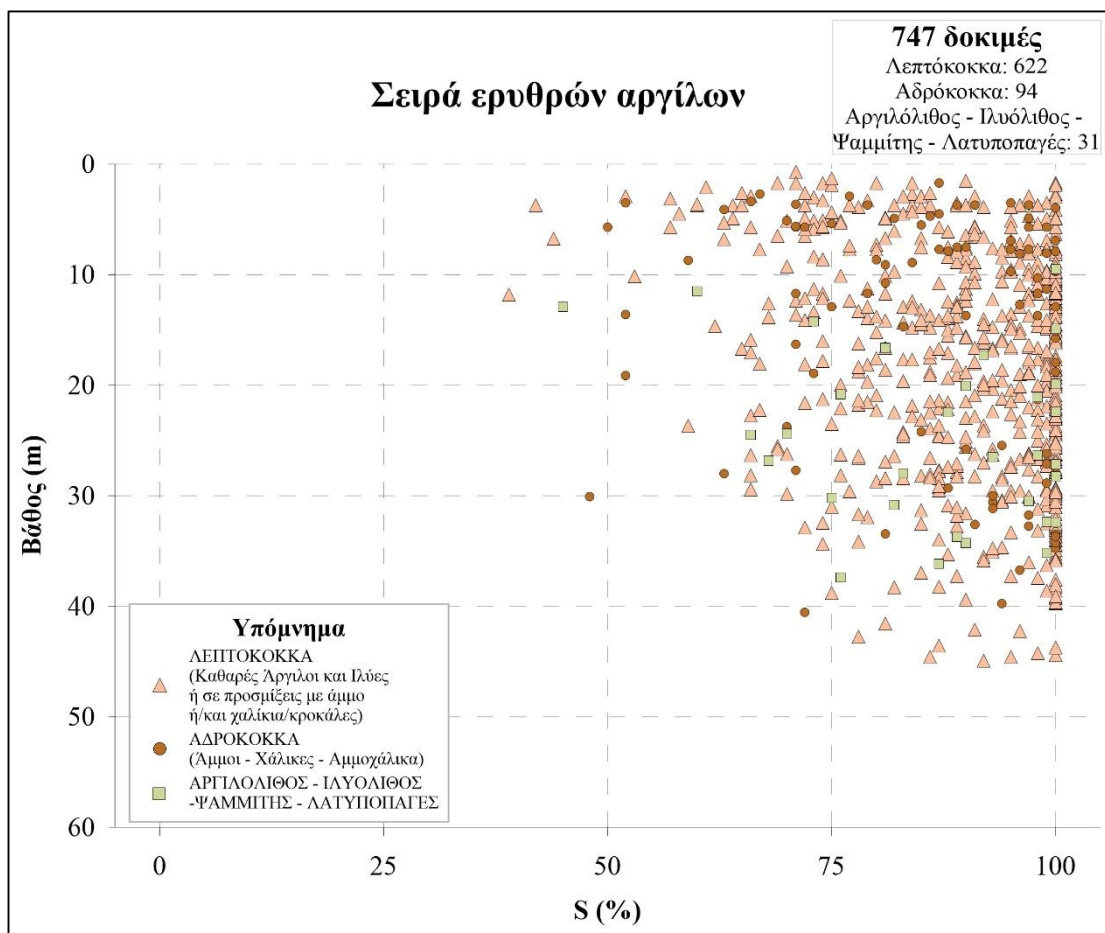
Σχήμα 6.106: Διάγραμμα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας



Σχήμα 6.107α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ορίου πλαστικότητας (PL) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Βαθμός κορεσμού - S

Τα διαθέσιμα δεδομένα του βαθμού κορεσμού με το βάθος για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας παρουσιάζονται στο σχήμα 6.108. Σύμφωνα μ' αυτό, εκτελέστηκαν συνολικά 747 δοκιμές, εκ των οποίων 622 σε λεπτόκοκκα υλικά, 94 σε αδρόκοκκα και 31 σε λοιπούς σχηματισμούς. Και στις τρεις περιπτώσεις, εντοπίζονται τιμές $50\% \leq S \leq 100\%$. Σε ότι αφορά στο λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών (σχήμα 6.109α), το 60% αντιστοιχεί σε τιμές $75\% \leq S < 100\%$ χαρακτηρίζοντας τους εδαφικούς σχηματισμούς ως βρεγμένους. Τιμές $S=100\%$ εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 27% κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός κορεσμένων δειγμάτων. Στα χονδρόκοκκα υλικά, παρατηρείται παρόμοια εικόνα αφού στην πλειονότητα τους επικρατούν τιμές $75\% \leq S < 100\%$ (σχήμα 6.109β) προσδιορίζοντας βρεγμένα εδάφη σε ποσοστό 57%, αλλά και κορεσμένα εδάφη σε ποσοστό 18% εντός πυκνής έως πολύ πυκνής ιλυώδους έως αργιλώδους άμμου. Αναφορικά με τις τιμές S των υπόλοιπων σχηματισμών που παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ, αυτές είναι στην πλειονότητά τους (>90%) μεγαλύτερες του 50%, χαρακτηρίζοντας τους εκάστοτε σχηματισμούς ως πολύ υγρούς έως κορεσμένους. Τόσο στη συγκεκριμένη περίπτωση, όσο και στην περίπτωση των λεπτόκοκκων υλικών είναι ευδιάκριτη η μείωση του εύρους τιμών με την αύξηση του βάθους.

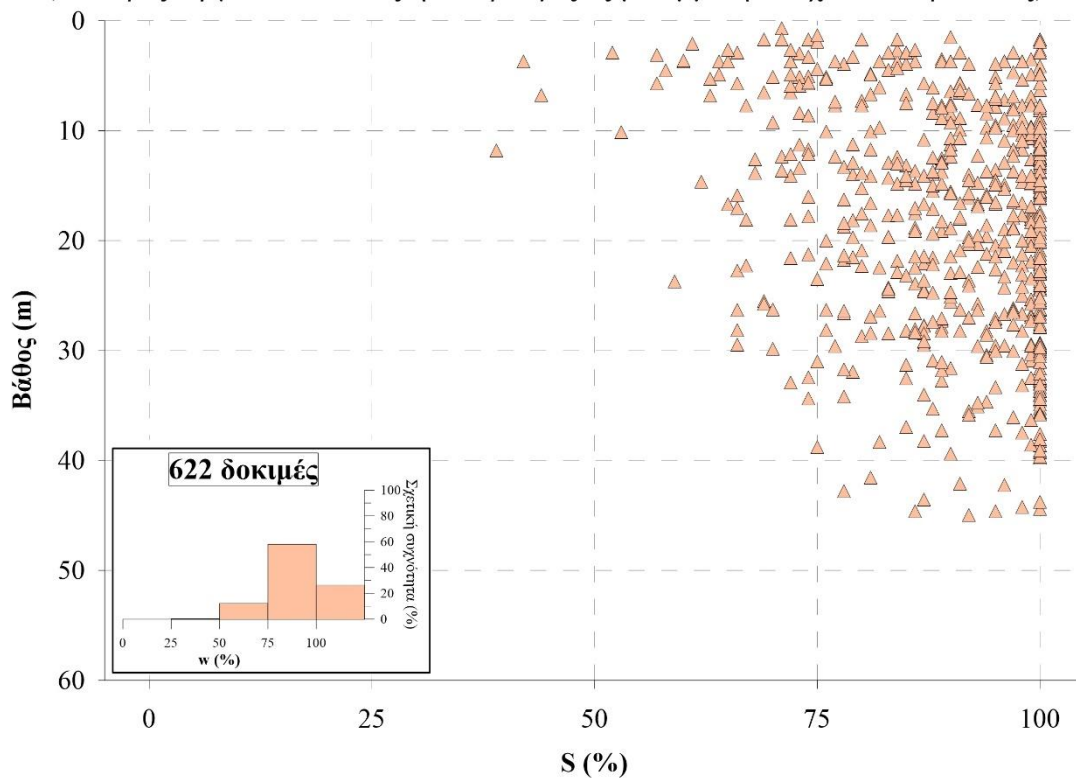


Σχήμα 6.108: Διάγραμμα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Σειρά ερυθρών αργίλων

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

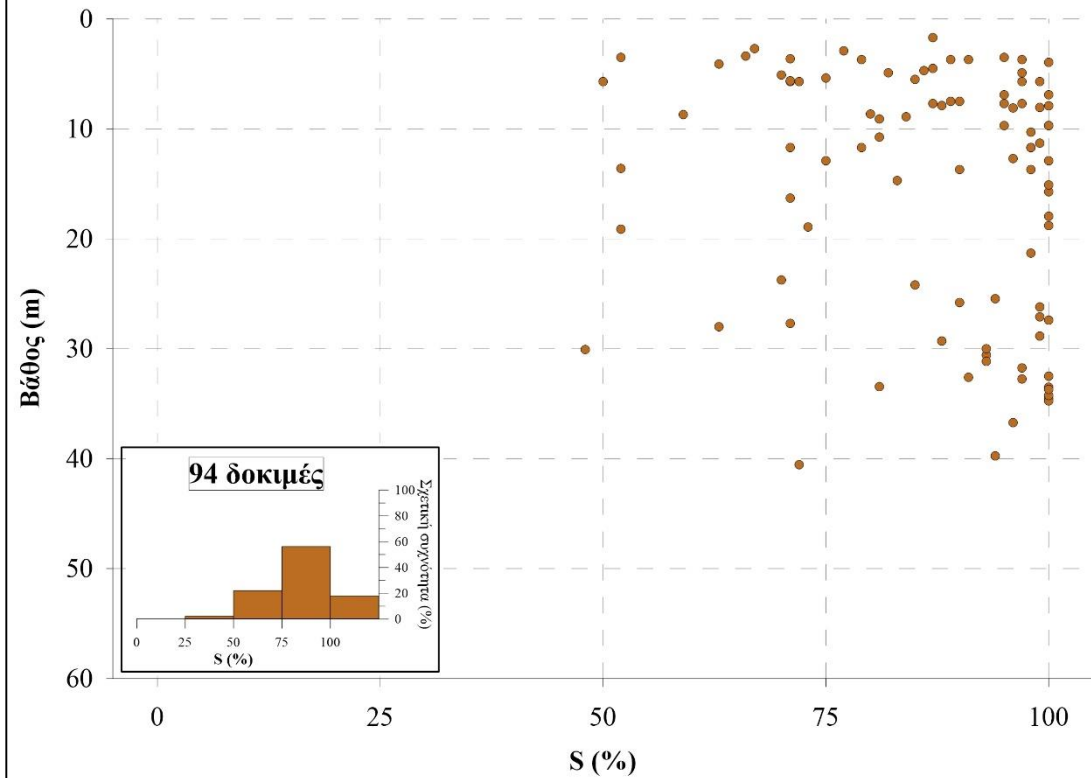
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Σειρά ερυθρών αργίλων

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

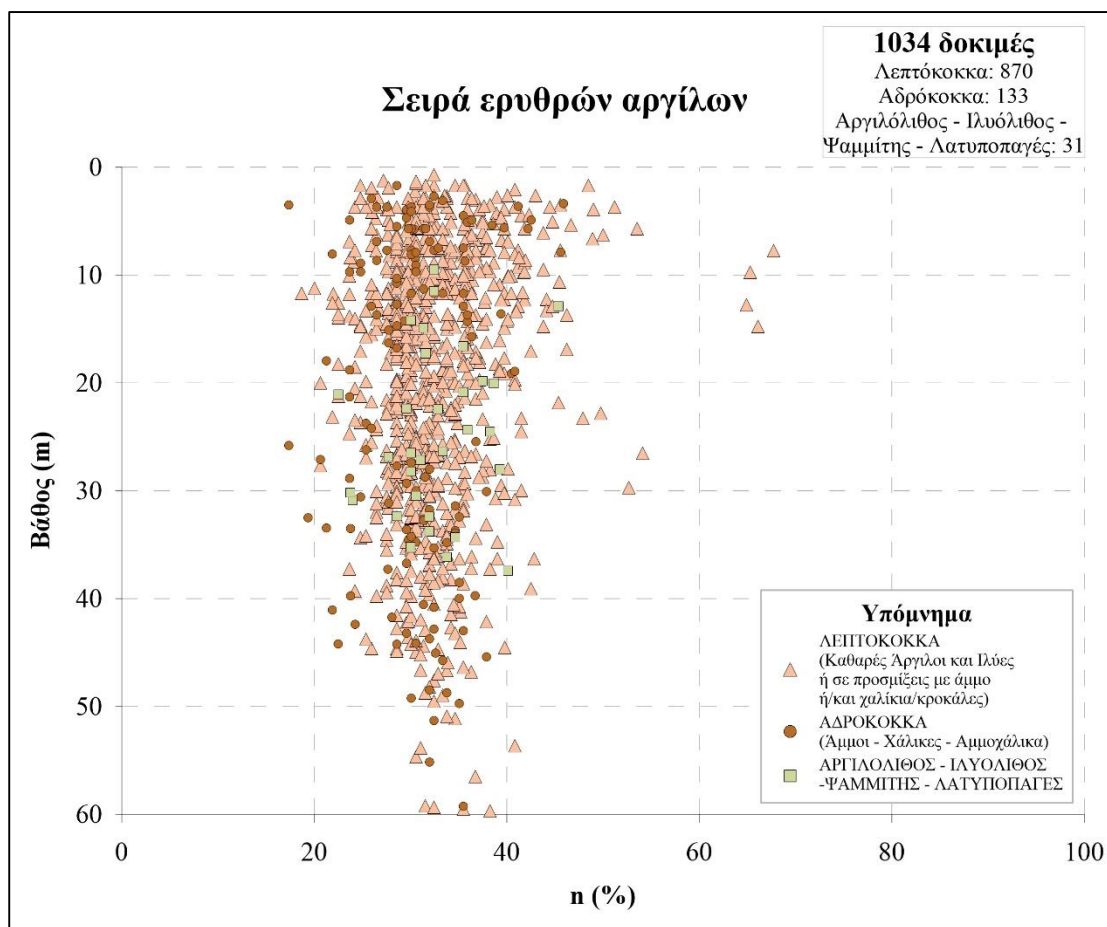
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



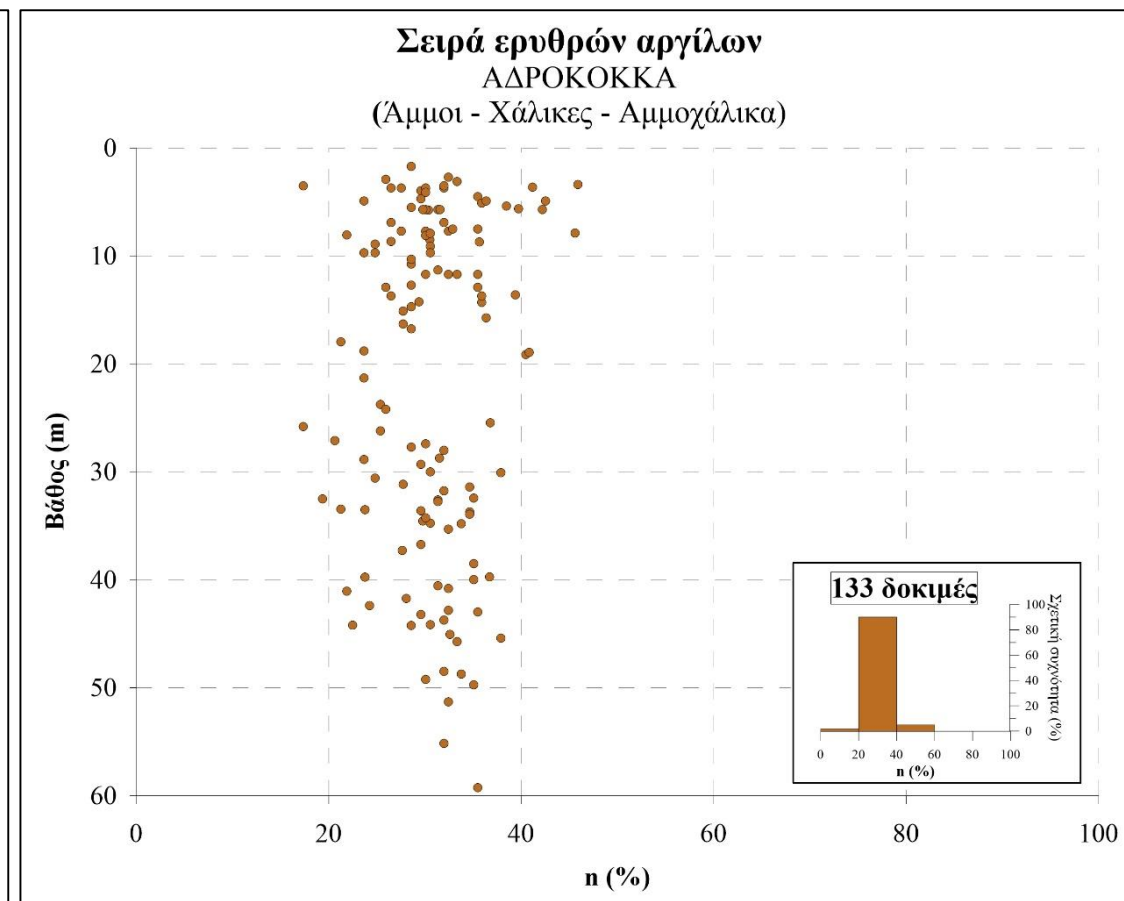
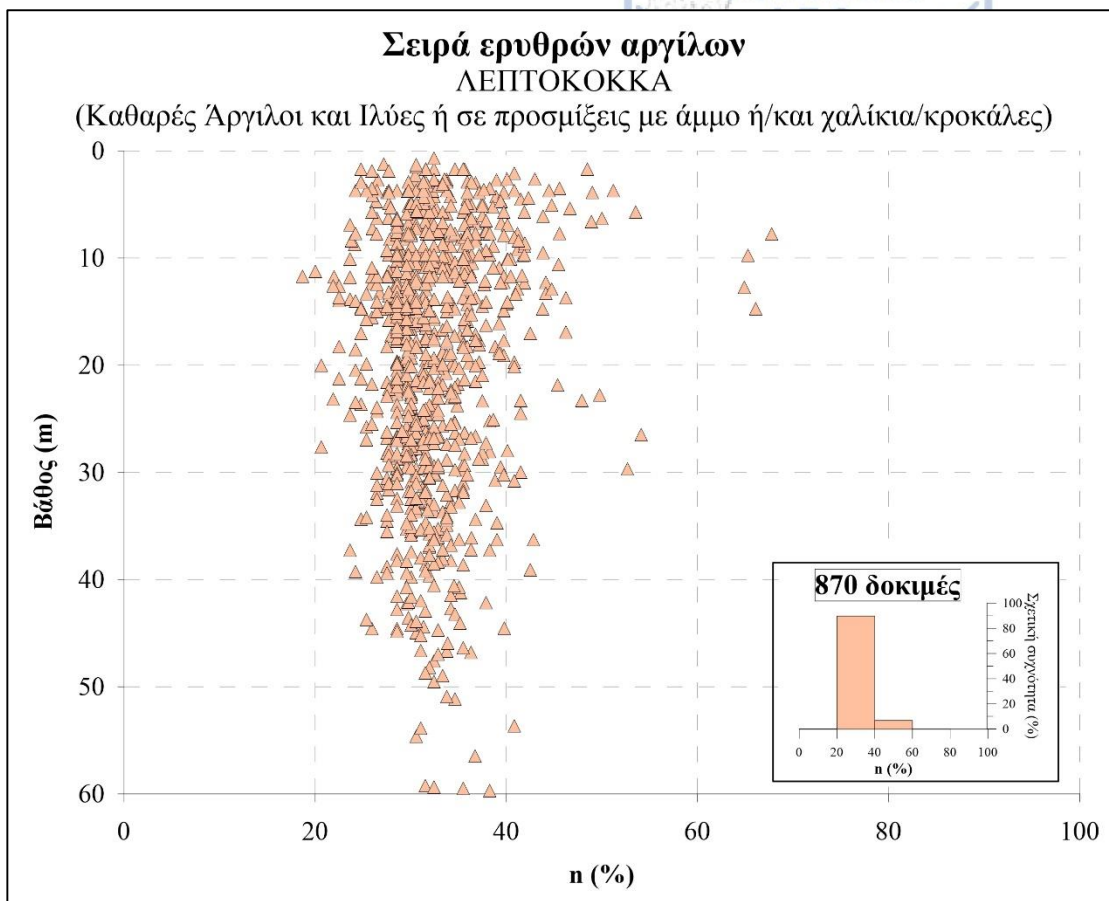
Σχήμα 6.109α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών βαθμού κορεσμού (S) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) και αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Πορώδες - n

Η κατανομή των τιμών του πορώδους για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.110. Οι τιμές που προβάλλονται αντιστοιχούν σε αποτελέσματα 1034 δοκιμών. Από αυτές, 870 αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν σε λεπτόκοκκα υλικά, 133 σε αδρόκοκκα και 31 σε λοιπούς σχηματισμούς. Στα λεπτόκοκκα κι αδρόκοκκα υλικά (σχήμα 6.111α.β) παρατηρείται παρόμοια εικόνα, με το 92% των τιμών να αντιστοιχεί σε $20\% \leq n < 40\%$ από δοκιμές που διενεργήθηκαν σε διάφορα βάθη. Ωστόσο, στα αδρόκοκκα εμφανίζονται τιμές $n > 40\%$ μόλις στα πρώτα 20 m. Στα λεπτόκοκκα παρατηρούνται τιμές $n > 50\%$ μέχρι το βάθος των 30 m όπου επικρατεί κατά βάση άργιλος, καστανέρυθρου-ερυθρού χρώματος, υψηλής πλαστικότητας, στιφρή-πολύ στιφρή έως σκληρή με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου και χαλίκων και μαργαϊκή άργιλος ανοικτού καστανού χρώματος με χαλίκια και ασβεστιτικά συγκρίματα. Στους υπόλοιπους σχηματισμούς (Παράρτημα ΙΙΙ) τα αποτελέσματα των δοκιμών για τον προσδιορισμό του πορώδους περιορίζονται σε τιμές εντός του εύρους $n = 22-45\%$ για βάθη 9.5-37.5 m.



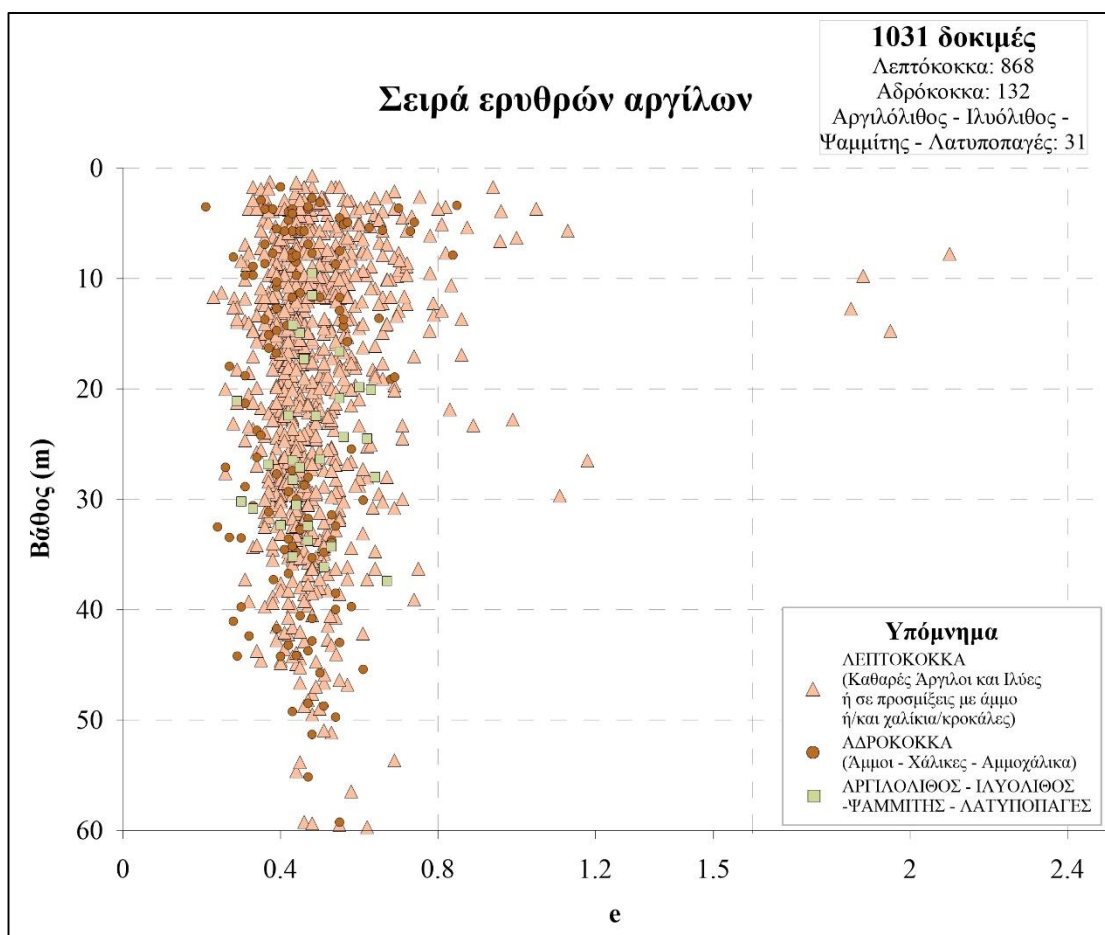
Σχήμα 6.110: Διάγραμμα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας



Σχήμα 6.111α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών πορώδους (n) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Δείκτης πόρων - e

Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής τιμών e για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας (σχήμα 6.112), συνολικά εκτελέστηκαν 1031 δοκιμές εκ των οποίων 868 σε λεπτόκοκκα υλικά, 132 σε αδρόκοκκα και 31 σε λοιπούς σχηματισμούς. Στα λεπτόκοκκα υλικά (σχήμα 6.113α), το 96% αντιστοιχεί σε τιμές $0.2 < e \leq 1.2$. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι παρατηρούνται μόλις τέσσερις τιμές $1.85 \leq e \leq 2.10$, οι οποίες προέκυψαν από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν αποκλειστικά εντός μαργαϊκής αργίλου έως παχιάς μαργαϊκής αργίλου με χαλίκια και ασβεστιτικά συγκρίματα. Όσον αφορά στα χονδρόκοκκα υλικά, στο σύνολό τους οι τιμές βρίσκονται εντός του εύρους $e = 0.21 - 0.85$ (σχήμα 6.113β). Ως προς τις τιμές e των υπόλοιπων σχηματισμών που παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ, εντοπίζονται στην πλειονότητά τους εντός του εύρους $e = 0.24 - 0.83$ για βάθη από 9.5 έως 37.4 m. Αυτές οι τιμές προέρχονται από δοκιμές που διενεργήθηκαν κατά κύριο λόγο σε δείγματα ασθενούς, ψαμμίτη με διαποτισμούς κόκκινων οξειδίων έως ασθενούς, αμμώδους ιλυολίθου.

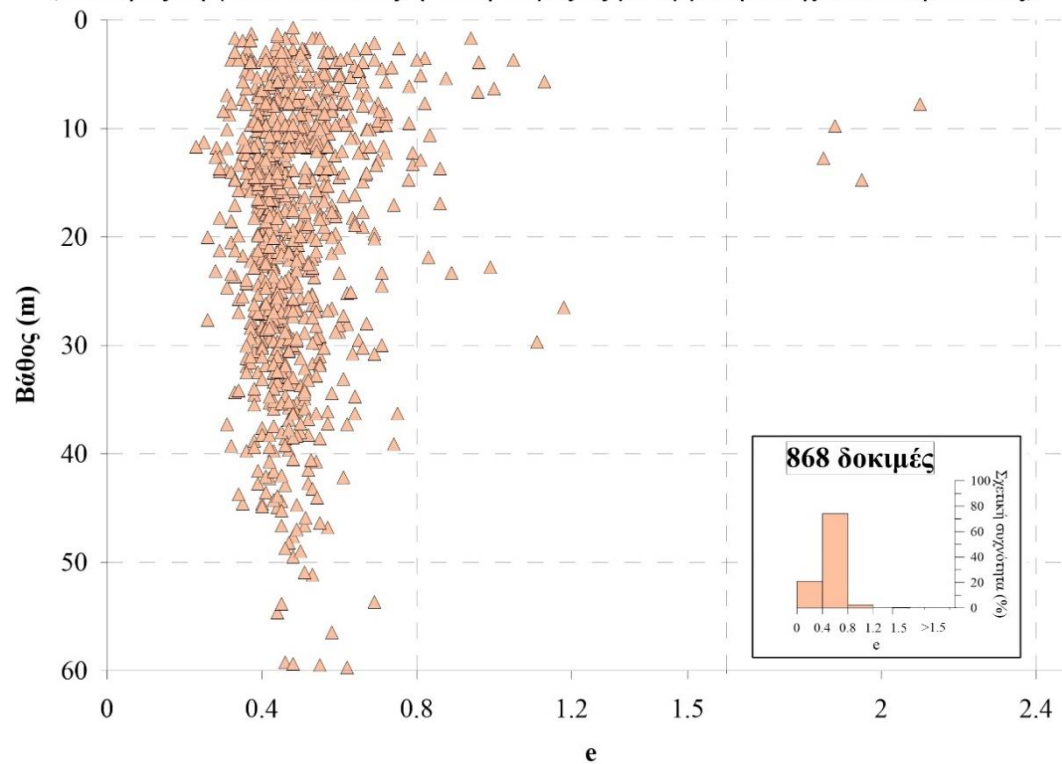


Σχήμα 6.112: Διάγραμμα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Σειρά ερυθρών αργίλων

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

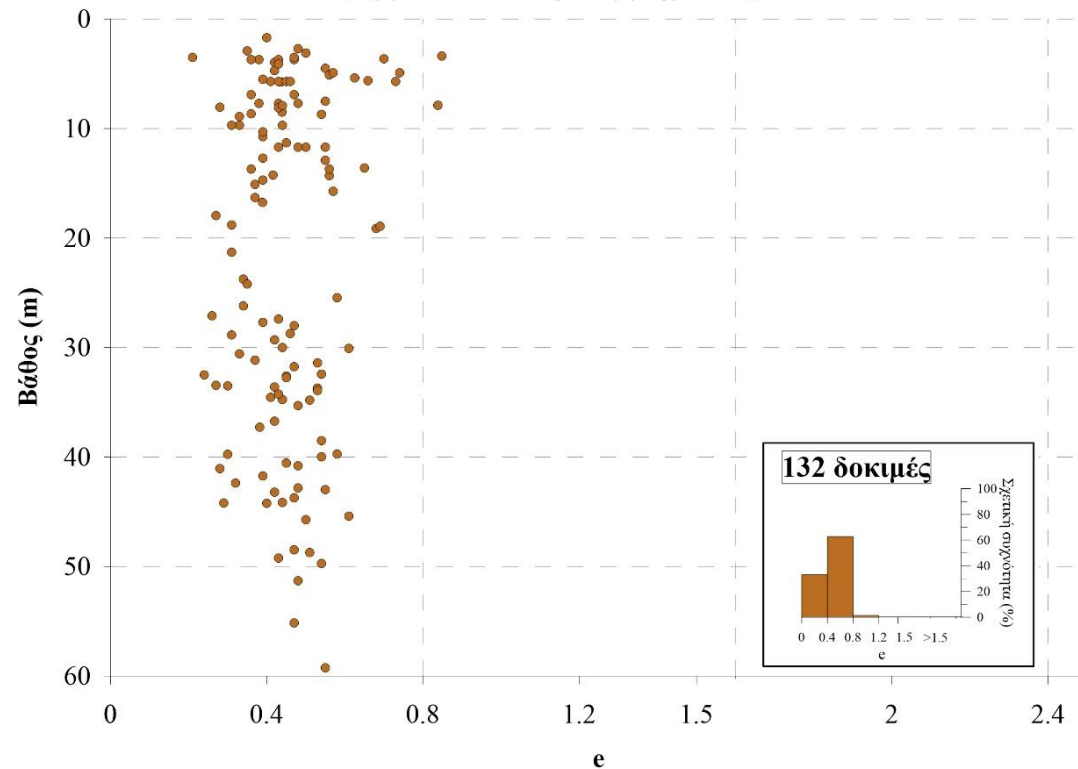
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Σειρά ερυθρών αργίλων

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



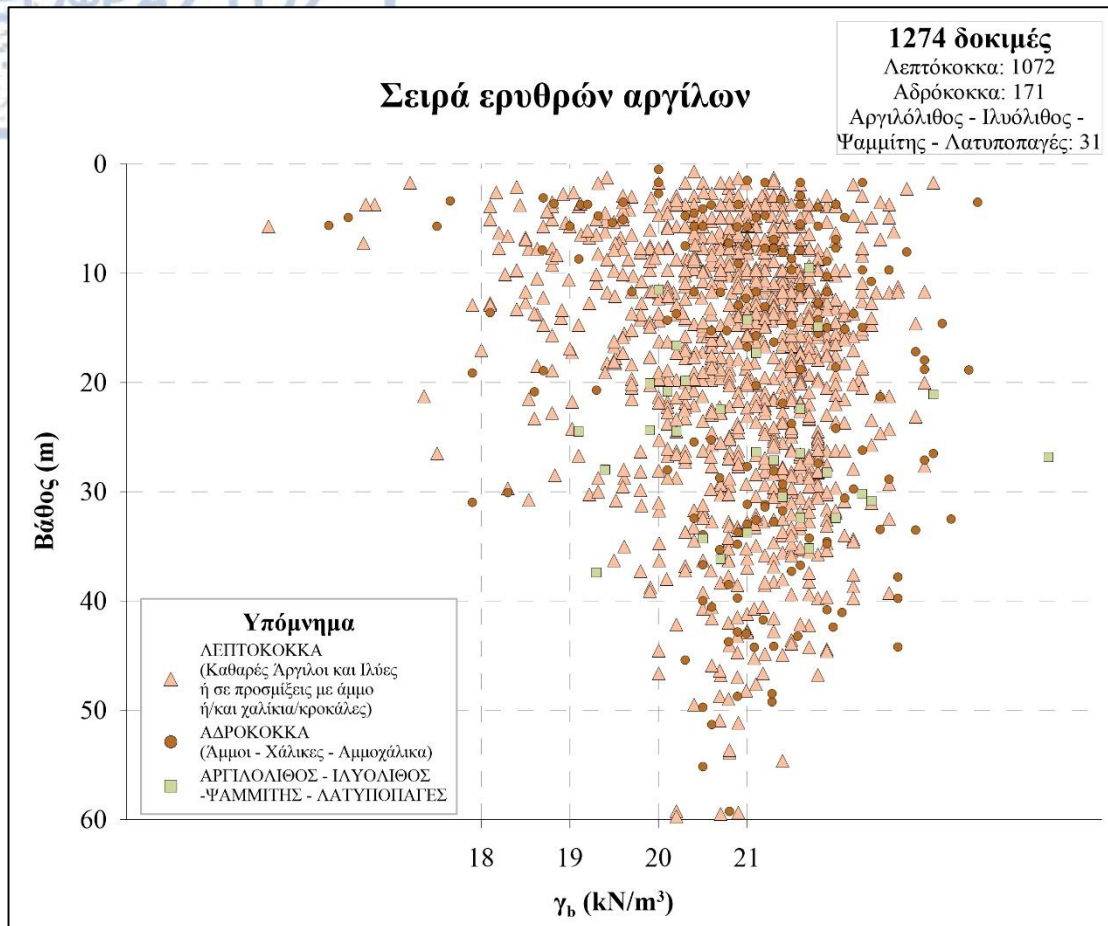
Σχήμα 6.113α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη πόρων (e) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Υγρό φαινόμενο βάρος – γ_b

Η κατανομή των τιμών του υγρού φαινόμενου βάρους για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.114. Συνολικά εκτελέστηκαν 1274 δοκιμές εκ των οποίων 1072 σε λεπτόκοκκα υλικά, 171 σε αδρόκοκκα και 31 σε λοιπούς σχηματισμούς. Σε ότι αφορά στο λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών (σχήμα 6.115α), το 83% αντιστοιχεί σε τιμές $20 \leq \gamma_b \leq 23.1 \text{ kN/m}^3$. Τιμές μικρότερες του 20 kN/m^3 εμφανίζονται σε ποσοστό της τάξης του 17% κι αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν μέχρι το βάθος των 39 m σε δείγματα:

- αργίλου έως αμμώδους αργίλου με χάλικες και ασβεστιτικά συγκρίμματα
- αμμώδους μαργαϊκής αργίλου καστανέρυθρου χρώματος και
- στιφρής έως πολύ στιφρής ιλύος με άμμο.

Στα χονδρόκοκκα υλικά, παρατηρείται παρόμοια εικόνα, καθώς επικρατούν τιμές $20 \leq \gamma_b \leq 23.6 \text{ kN/m}^3$ σε ποσοστό 87% του συνόλου των δοκιμών (σχήμα 6.115β). Τιμές $\gamma_b < 20 \text{ kN/m}^3$ συναντώνται μέχρι το βάθος των 30 m και προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν εντός δειγμάτων αργιλώδους άμμου μέσης πυκνότητας, έως με το βάθος αργιλώδες συνεκτικό αμμοχάλικο, ιλυώδους αμμοχάλικου μέσης πυκνότητας και πολύ πυκνών αργιλωδών χαλικιών με άμμο. Αναφορικά με τις τιμές γ_b των υπόλοιπων σχηματισμών που παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ, αυτές είναι στο σύνολό τους μεγαλύτερες του 19 kN/m^3 .

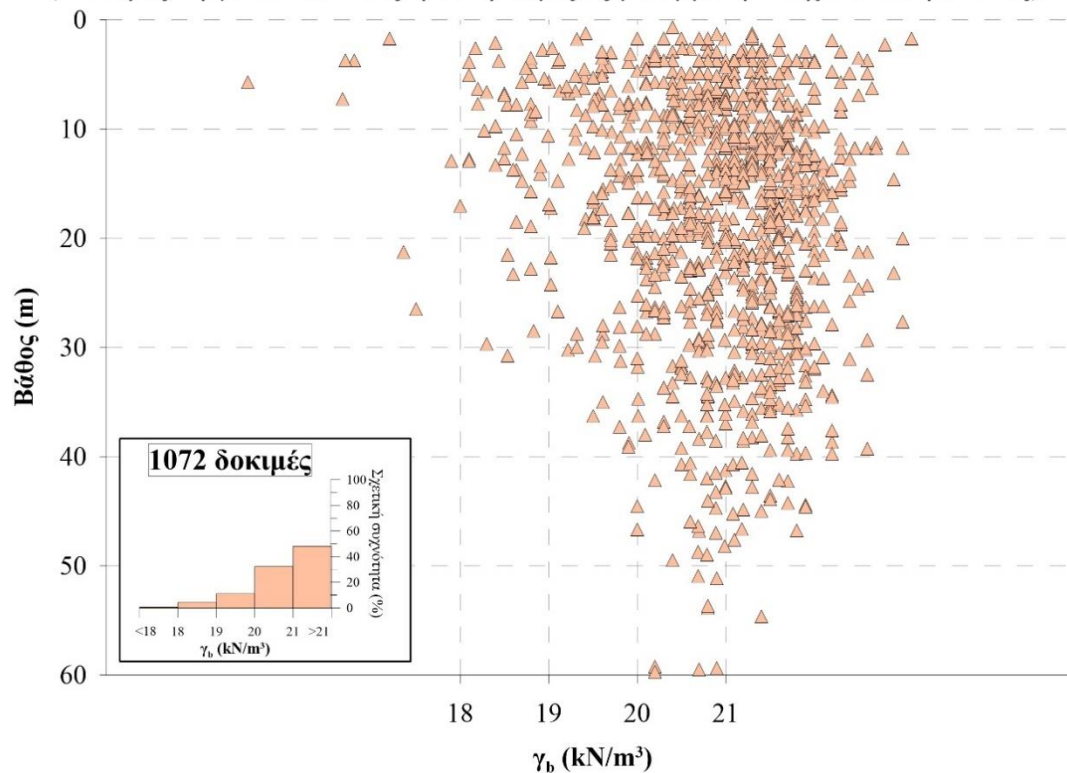


Σχήμα 6.114: Διάγραμμα κατανομής τιμών υγρού φαινόμενου βάρους (γ_b) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Σειρά ερυθρών αργίλων

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

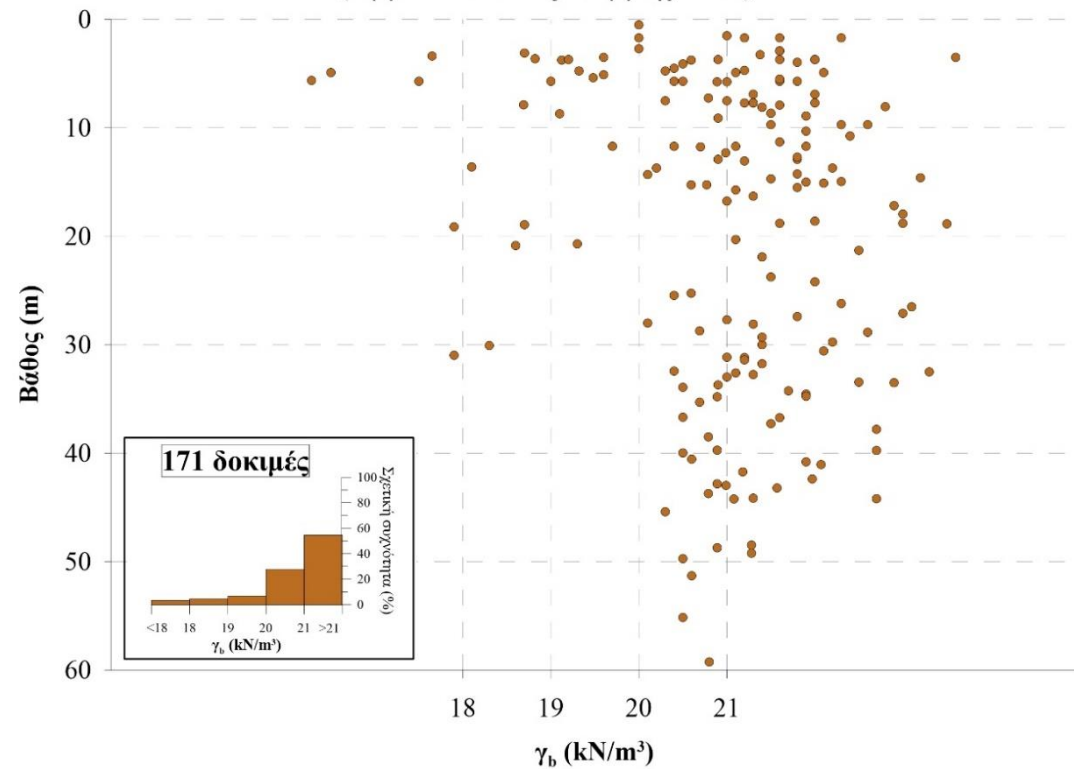
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Σειρά ερυθρών αργίλων

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

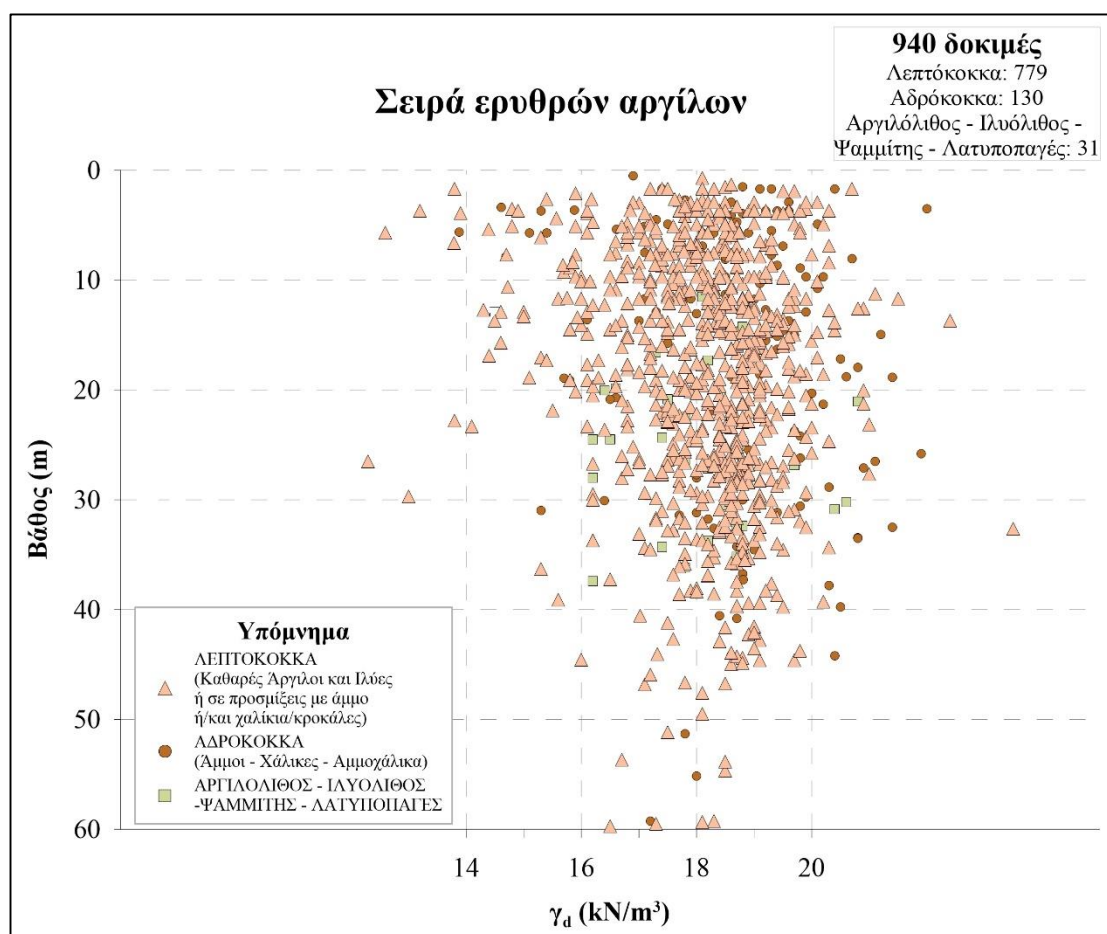
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



Σχήμα 6.115α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών υγρού φαινόμενου βάρους (γ_b) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Ξηρό φαινόμενο βάρος – γ_d

Η κατανομή των τιμών του ξηρού φαινομένου βάρους για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.116. Συνολικά εκτελέστηκαν 940 δοκιμές εκ των οποίων 779 σε λεπτόκοκκα υλικά, 130 σε αδρόκοκκα και 31 σε λοιπούς σχηματισμούς. Σε ότι αφορά στα λεπτόκοκκα υλικά (σχήμα 6.117α), το 89% αντιστοιχεί σε τιμές $16 < \gamma_d \leq 20 \text{ kN/m}^3$ και αντιστοιχούν σε δοκιμές που διενεργήθηκαν σε διάφορα βάθη και κατά κύριο λόγο σε δείγματα πολύ στιφρής, ιλύος με άμμο έως πολύ στιφρής, ισχνής αργίλου με άμμο, με σποραδικούς χάλικες κυρίως γνευσιακής προέλευσης και τοπικά με διαποτισμούς κόκκινων οξειδίων. Στα χονδρόκοκκα υλικά, επικρατούν τιμές εντός του εύρους $\gamma_d = 16.1-22 \text{ kN/m}^3$ σε ποσοστό 93% του συνόλου των δοκιμών (σχήμα 6.117β). Πρόκειται για δείγματα αποθέσεων αποτελούμενων από πολύ πυκνή αργιλώδη άμμο, με χάλικες και πολύ πυκνούς, αργιλώδεις χάλικες, κυρίως σχιστολιθικής προέλευσης. Αναφορικά με τις τιμές γ_d των υπόλοιπων σχηματισμών (ασθενής ψαμμίτης με διαποτισμούς κόκκινων οξειδίων έως ασθενής-πολύ ασθενής, αμμώδης ιλυόλιθος) που παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ, αυτές είναι στο σύνολό τους μεγαλύτερες από 16 kN/m^3

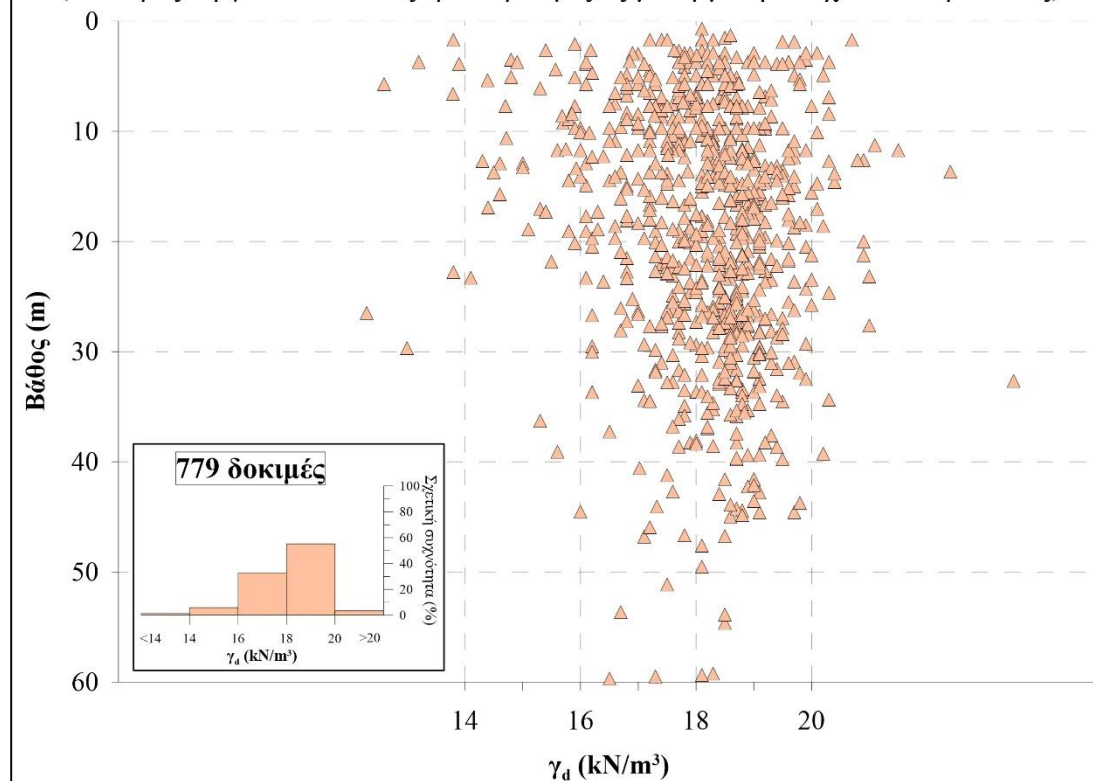


Σχήμα 6.116: Διάγραμμα κατανομής τιμών ξηρού φαινομένου βάρους (γ_d) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Σειρά ερυθρών αργίλων

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ

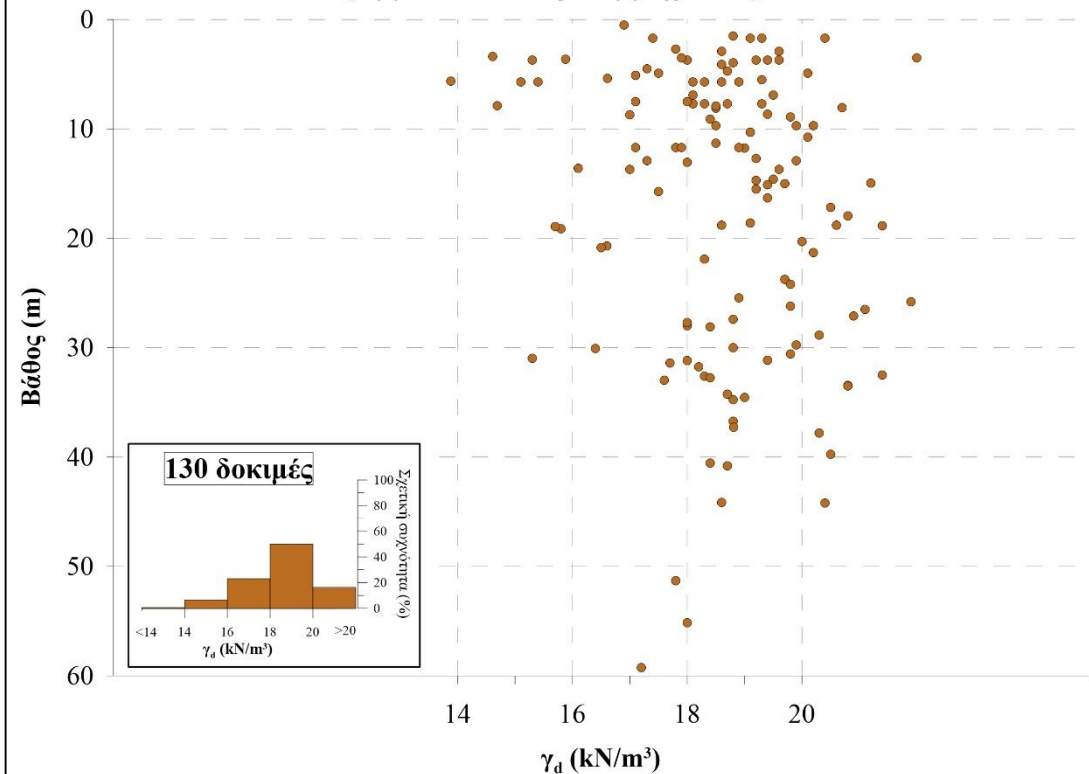
(Καθαρές Άργιλοι και Ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια/κροκάλες)



Σειρά ερυθρών αργίλων

ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ

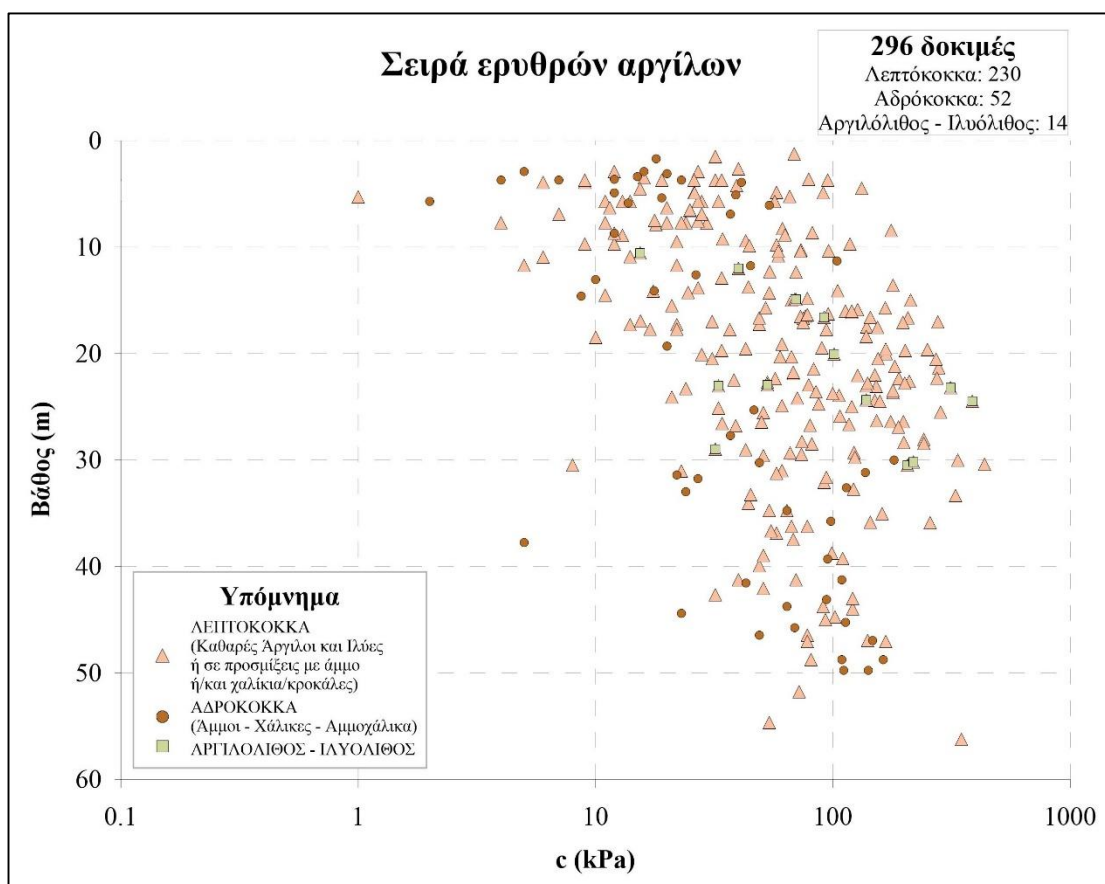
(Άμμοι - Χάλικες - Αμμοχάλικα)



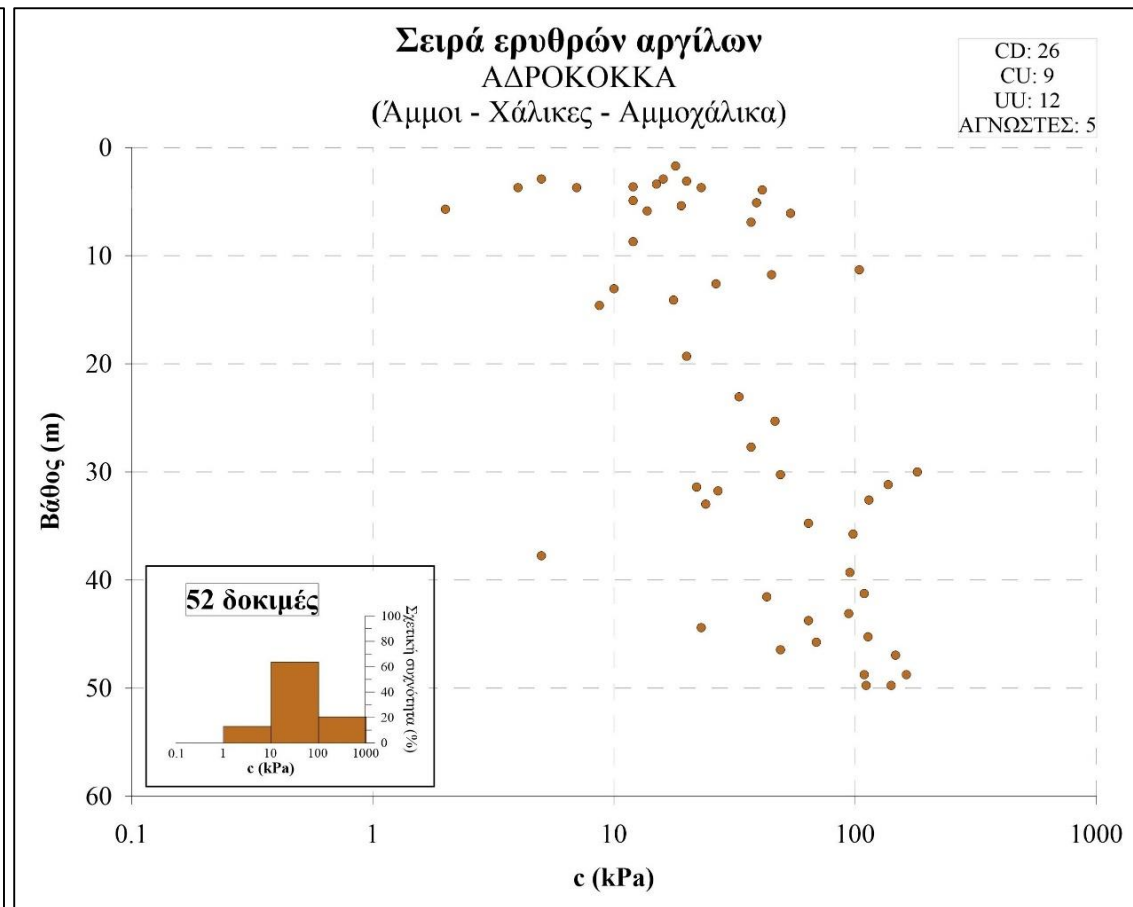
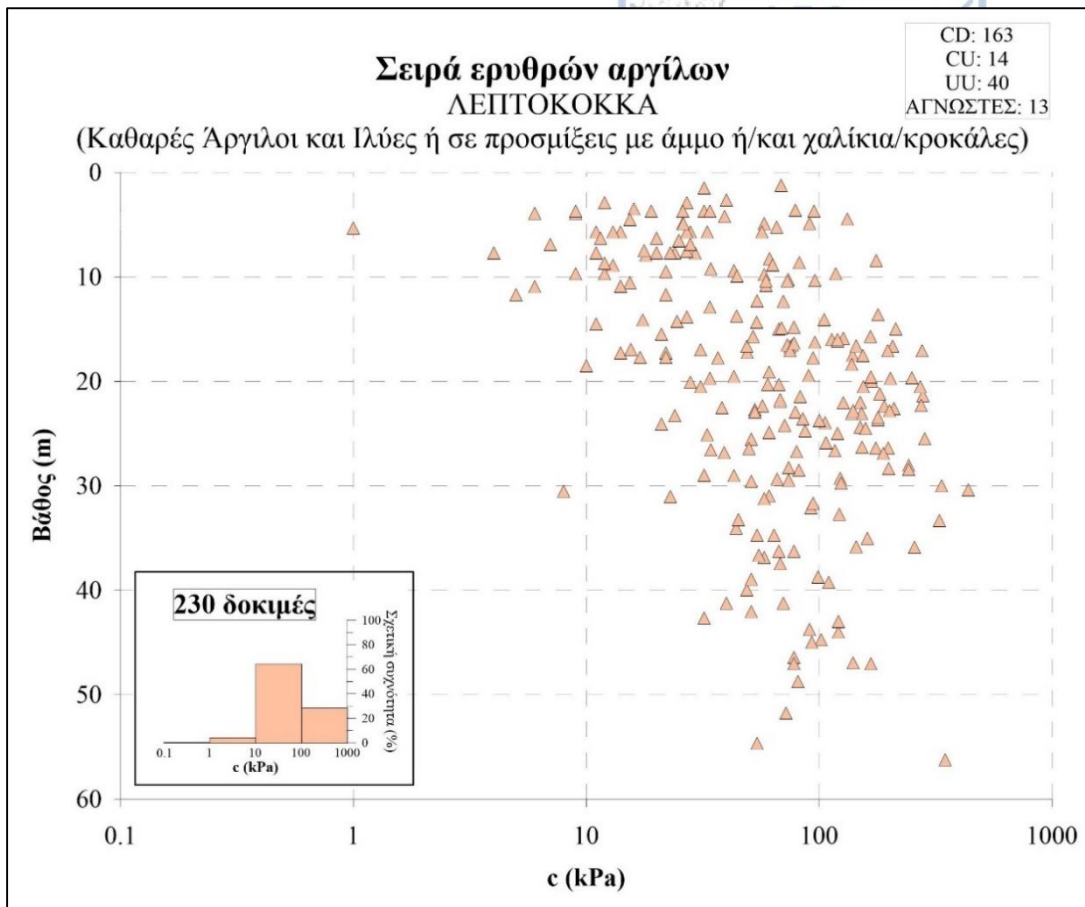
Σχήμα 6.117α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_d) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής – c , ϕ (δοκιμή άμεσης διάτμησης)

Τα αποτελέσματα των δοκιμών άμεσης διάτμησης που διενεργήθηκαν σε εδαφικά δοκίμια, εντός του σχηματισμού της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας, παρουσιάζονται στα διαγράμματα κατανομής τιμών c σχήματος 6.118. Συνολικά εκτελέστηκαν 296 δοκιμές εκ των οποίων 230 σε λεπτόκοκκα, 52 σε αδρόκοκκα και 14 σε λοιπούς σχηματισμούς. Ο κυρίαρχος τύπος είναι αυτός της βραδείας δοκιμής με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου (CD). Και στις τρεις περιπτώσεις η κατανομή των τιμών παρουσιάζει μια σαφή αύξηση των τιμών συνοχής με το βάθος. Οι τιμές, τόσο στα λεπτόκοκκα υλικά, όσο και στα αδρόκοκκα κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (66% κι 65% αντίστοιχα), από 10 έως 100 kPa (σχήμα 6.119α.β). Στους λεπτόκοκκους σχηματισμούς παρατηρείται κι ένα ποσοστό της τάξης του 29%, όπου οι τιμές της συνοχής ξεπερνούν το συγκεκριμένο εύρος, φθάνοντας σε μέγιστη τιμή $c = 436$ kPa σε βάθος 30 m. Στα αδρομερή υλικά παρατηρούνται τιμές $c = 100$ -181 kPa σε βάθος 30-50 m. Αναφορικά με την κατανομή των τιμών συνοχής για τους υπόλοιπους σχηματισμούς (Παράρτημα ΙΙΙ), αυτές παρουσιάζουν τιμές εντός του εύρους $c = 15.40$ -387 kPa οι οποίες προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν σε δείγματα πολύ ασθενούς ιλυολίθου με έντονους διαποτισμούς κόκκινων οξειδίων και τοπικά πολύ στιφρή, αμμώδη ισχνή άργιλο.

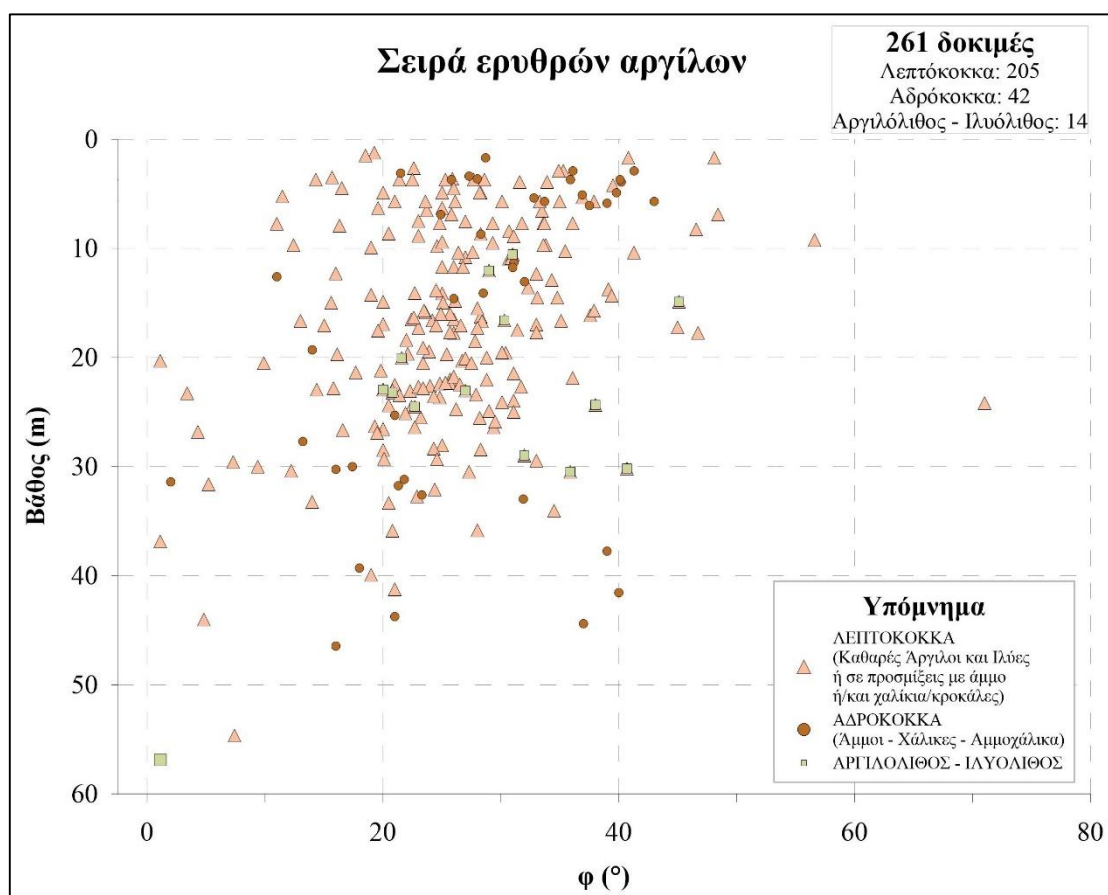


Σχήμα 6.118: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

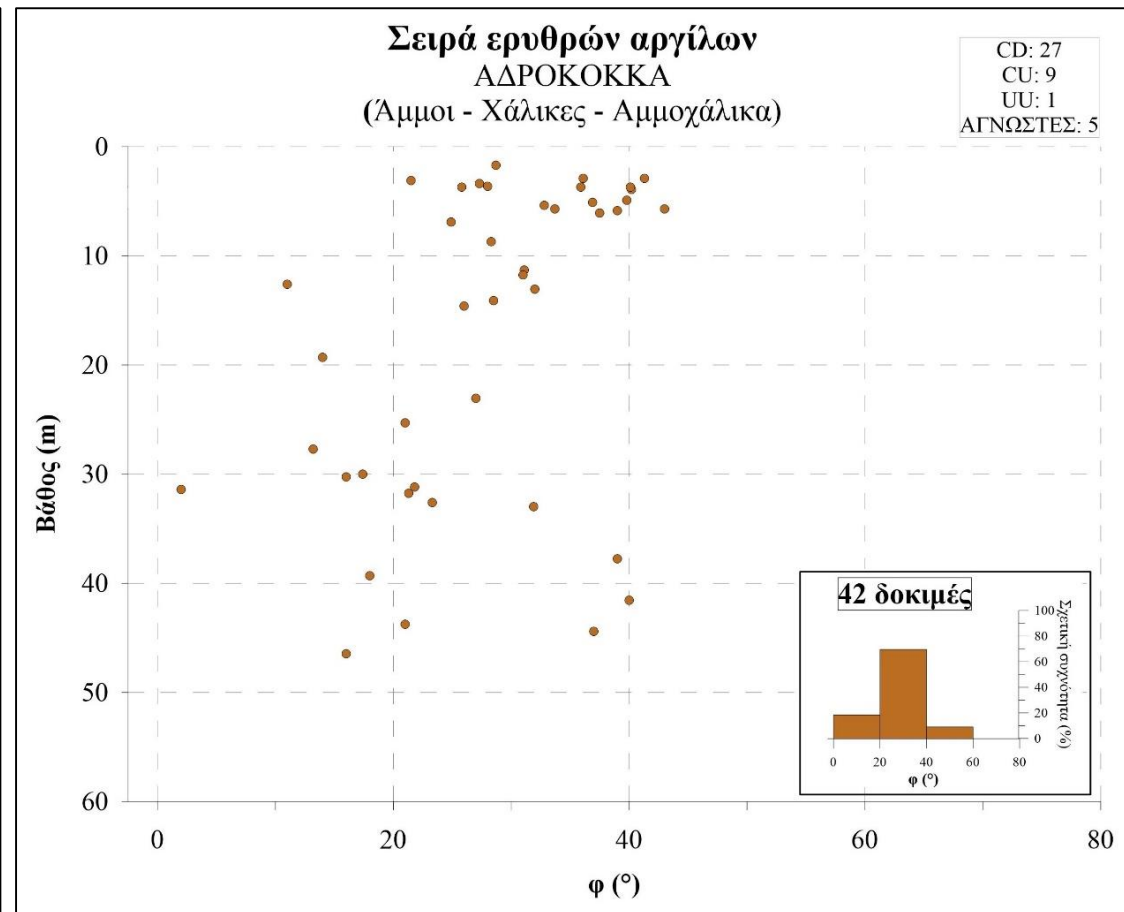
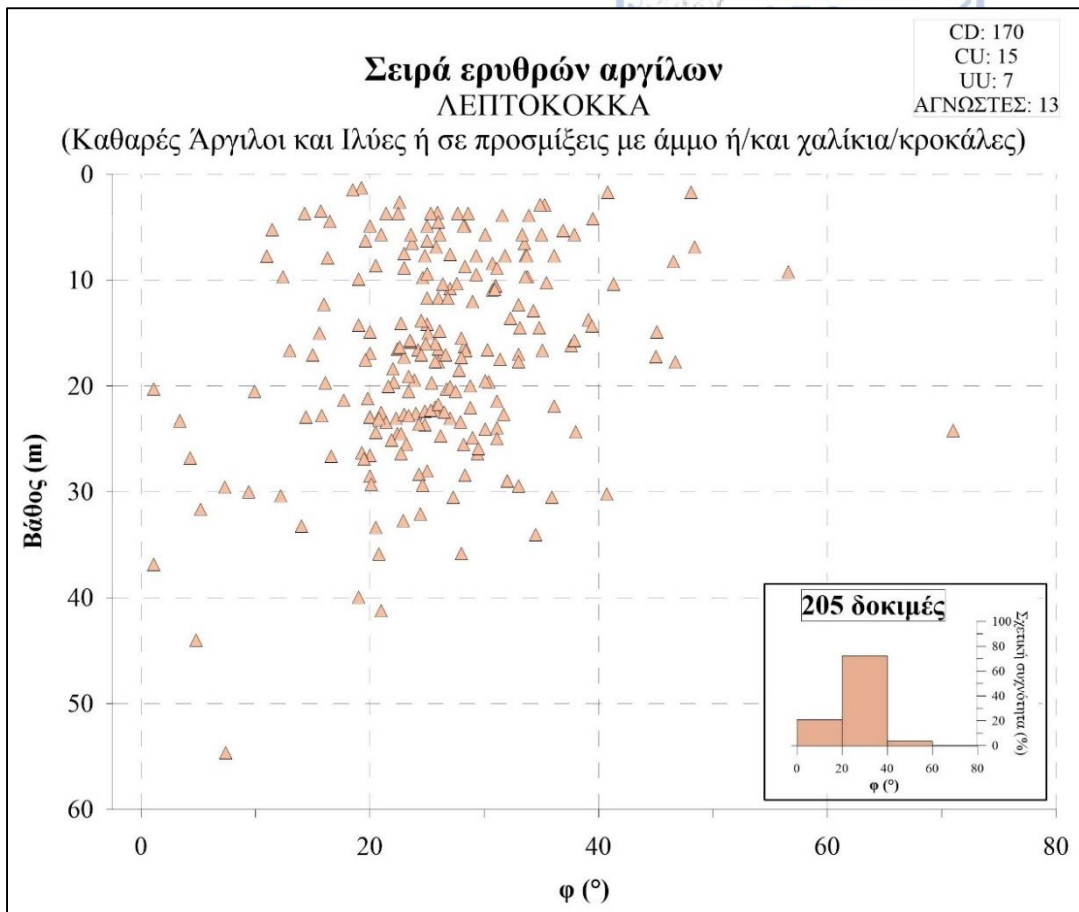


Σχήμα 6.119α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Για τον προσδιορισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής στη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας, διενεργήθηκαν συνολικά 261 δοκιμές (σχήμα 6.120). Από αυτές, 205 σε λεπτόκοκκα υλικά, 42 σε αδρόκοκκα και 14 σε λοιπούς σχηματισμούς. Κυρίαρχος τύπος είναι η βραδεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου (CD). Οι τιμές, τόσο στα λεπτόκοκκα υλικά, όσο και στα αδρόκοκκα κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (74% κι 71% αντίστοιχα), από 20 έως 40° (σχήμα 6.121α.β). Και στις δύο περιπτώσεις σχηματισμών παρατηρείται ποσοστό της τάξης του 20%, όπου οι τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής κυμαίνονται μεταξύ 0° και 20°. Πρόκειται για τιμές που προέκυψαν από δοκιμές που εκτελέστηκαν εντός πυκνής έως πυκνής, καστενέρυθρης αργιλώδους άμμου έως αμμώδους ιλύος με κυμαινόμενο ποσοστό χαλίκων και μέσα σε πολύ στιφρή έως σκληρή, ισχνή άργιλο με άμμο έως αμμώδη ισχνή άργιλο με διάσπαρτους χάλικες και ασβεστιτικά συγκρίματα. Ως προς την κατανομή των τιμών συνοχής για τους υπόλοιπους σχηματισμούς (Παράρτημα ΙΙΙ), αυτές παρουσιάζουν τιμές εντός του εύρους $c = 20-45$ kPa οι οποίες προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν σε δείγματα πολύ ασθενούς αργιολίθου-ιλυολίθου με έντονους διαποτισμούς κόκκινων οξειδίων και τοπικά πολύ στιφρή, αμμώδη ισχνή άργιλο.



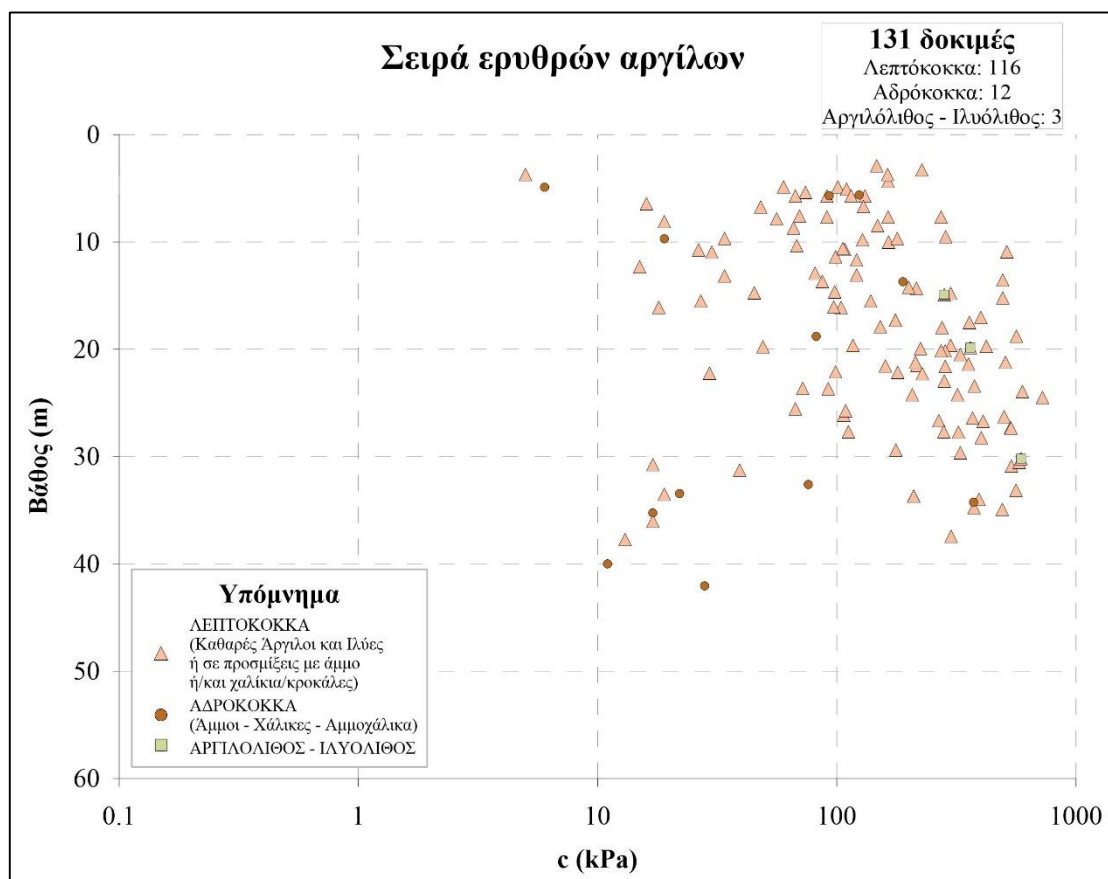
Σχήμα 6.120: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας



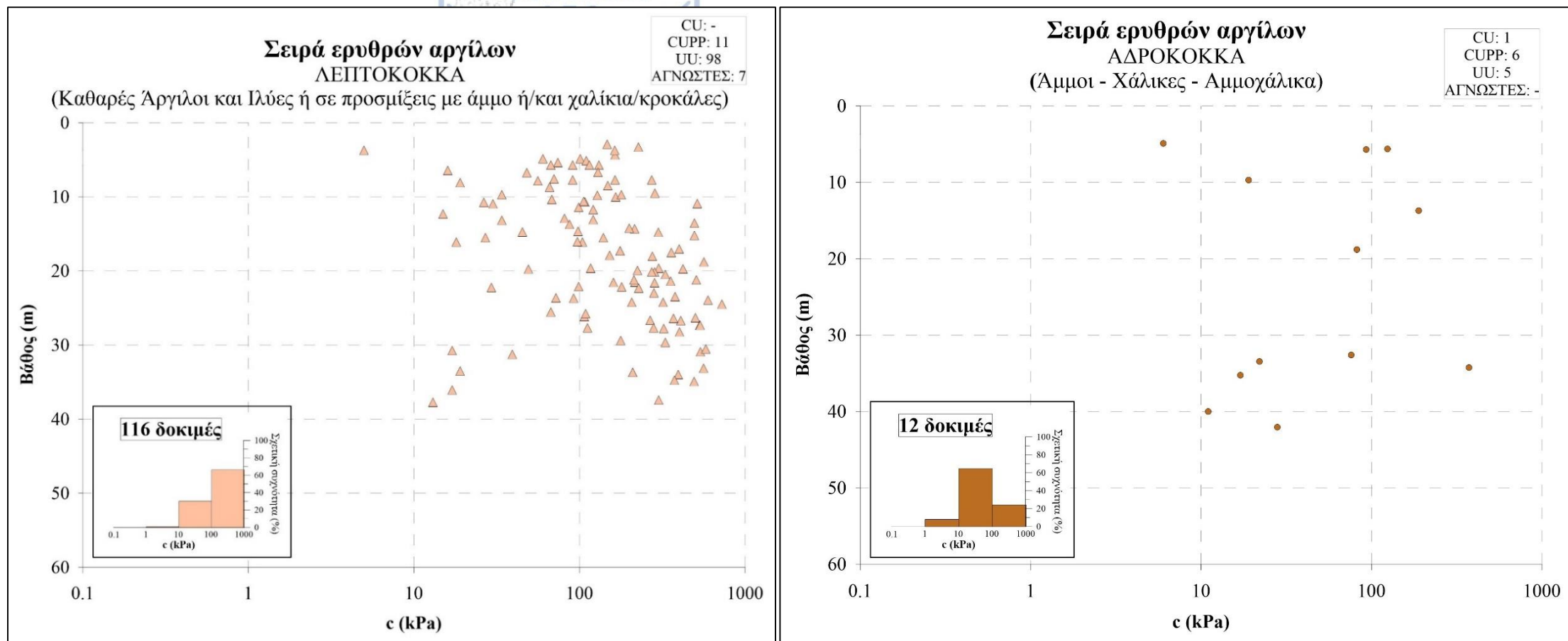
Σχήμα 6.121α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής – c , ϕ (δοκιμή τριαξονικής φόρτισης)

Τα αποτελέσματα των δοκιμών τριαξονικής φόρτισης που διενεργήθηκαν σε εδαφικά δοκίμια, εντός της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας, παρουσιάζονται στα διαγράμματα κατανομής τιμών c του σχήματος 6.122. Συνολικά εκτελέστηκαν 131 δοκιμές εκ των οποίων 116 σε λεπτόκοκκα υλικά, 12 σε αδρόκοκκα και 3 σε λοιπούς σχηματισμούς. Ο κυρίαρχος τύπος είναι αυτός της ταχείας δοκιμής χωρίς στερεοποίηση και χωρίς αποστράγγιση (UU). Οι τιμές στα λεπτόκοκκα υλικά κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (68%), από 100 έως 1000 KPa (σχήμα 6.123α) για βάθη 0-40 m, εντός πολύ στιφρής έως σκληρής, ισχνής αργίλου με άμμο έως αμμώδους ισχνής αργίλου, μέσης πλαστικότητας με σποραδικούς χάλικες. Τιμές $c < 100$ kPa παρατηρούνται σε διάφορα βάθη, αλλά σε μικρότερο ποσοστό (32%). Αναφορικά με την κατανομή των τιμών συνοχής στα αδρόκοκκα υλικά, αυτές κυμαίνονται στο σύνολό τους από 6 έως 373 kPa, με σαφή επικράτηση τιμών εντός του εύρους 10 - 100 kPa (σχήμα 6.123β). Τέλος, διενεργήθηκαν τρεις δοκιμές εντός πολύ ασθενούς ιλυολίθου ο οποίος εμφανίζεται τοπικά με διαποτισμούς κόκκινων οξειδίων και κατά θέσεις χάλικες χαλαζιακής και γνευσιακής προέλευσης, απ' όπου προσδιορίστηκαν μεγάλες τιμές συνοχής (Παράρτημα ΙΙΙ).

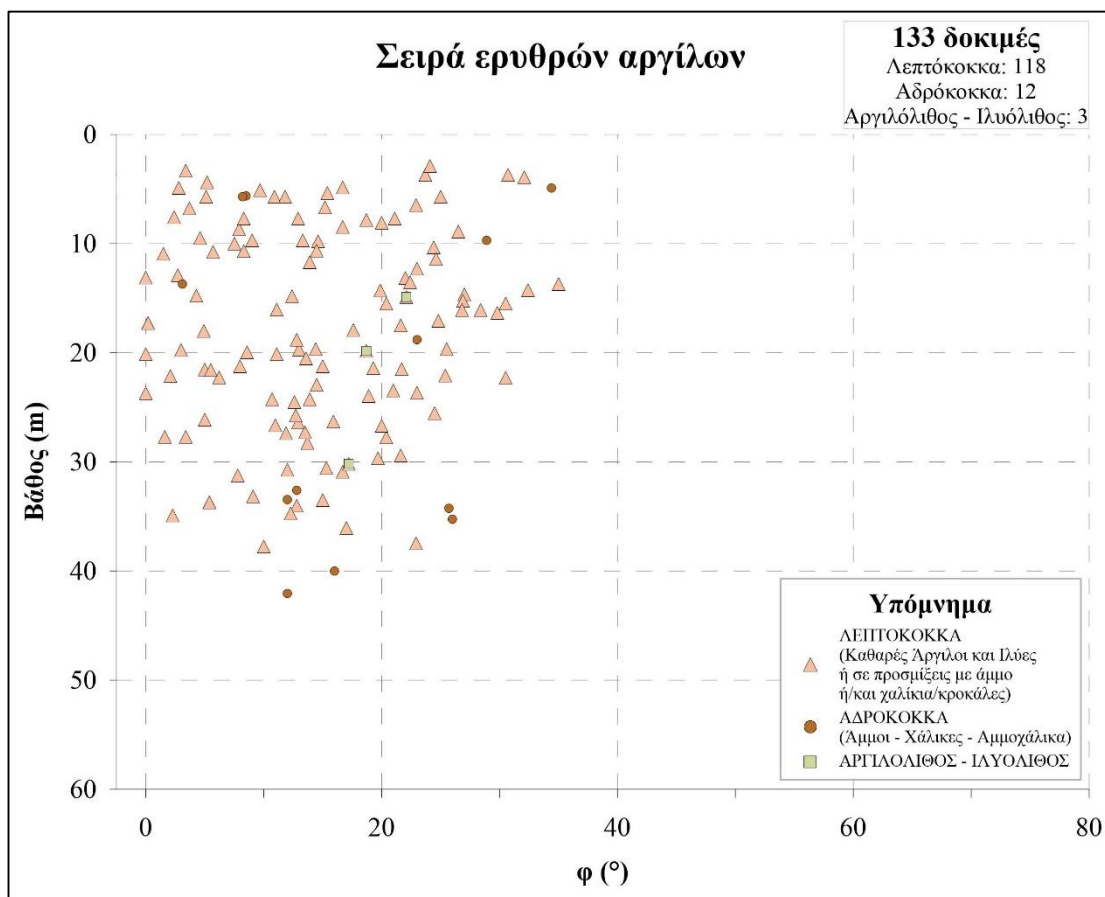


Σχήμα 6.122: Διάγραμμα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

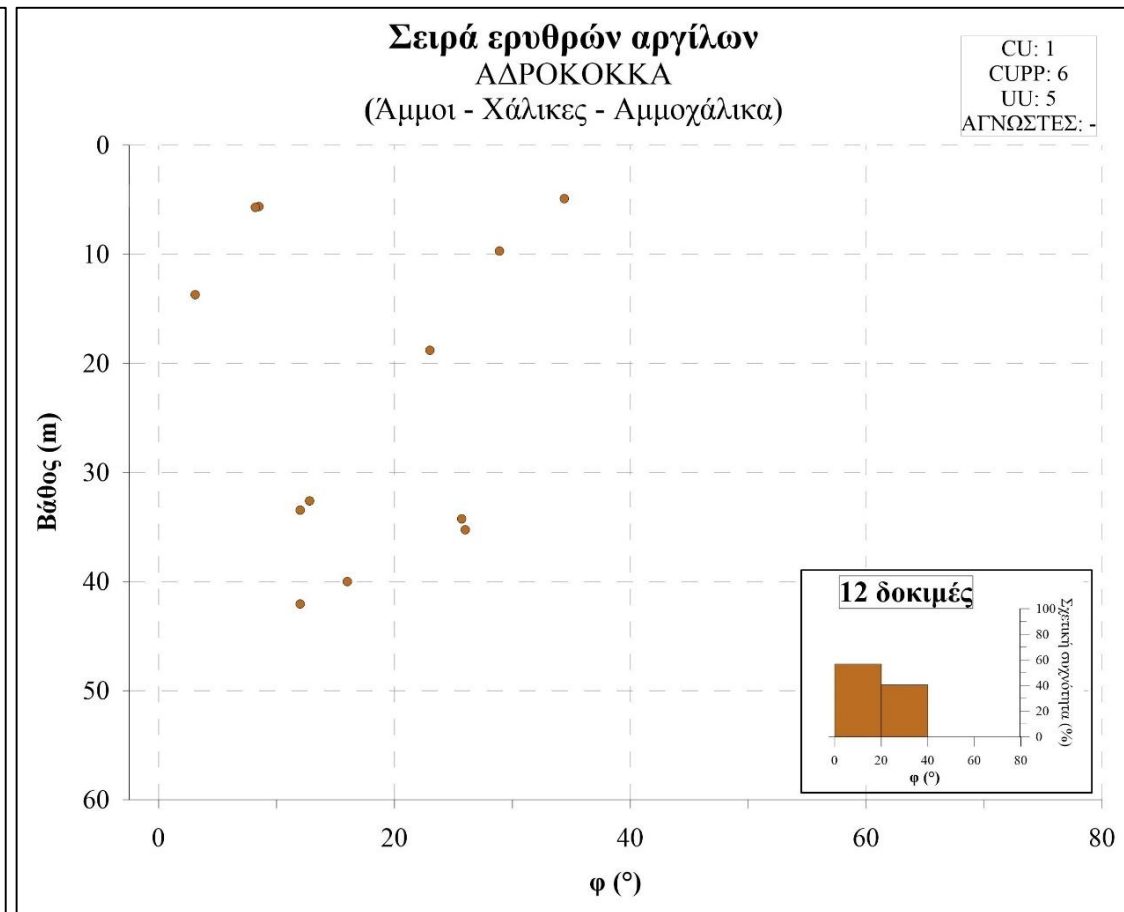
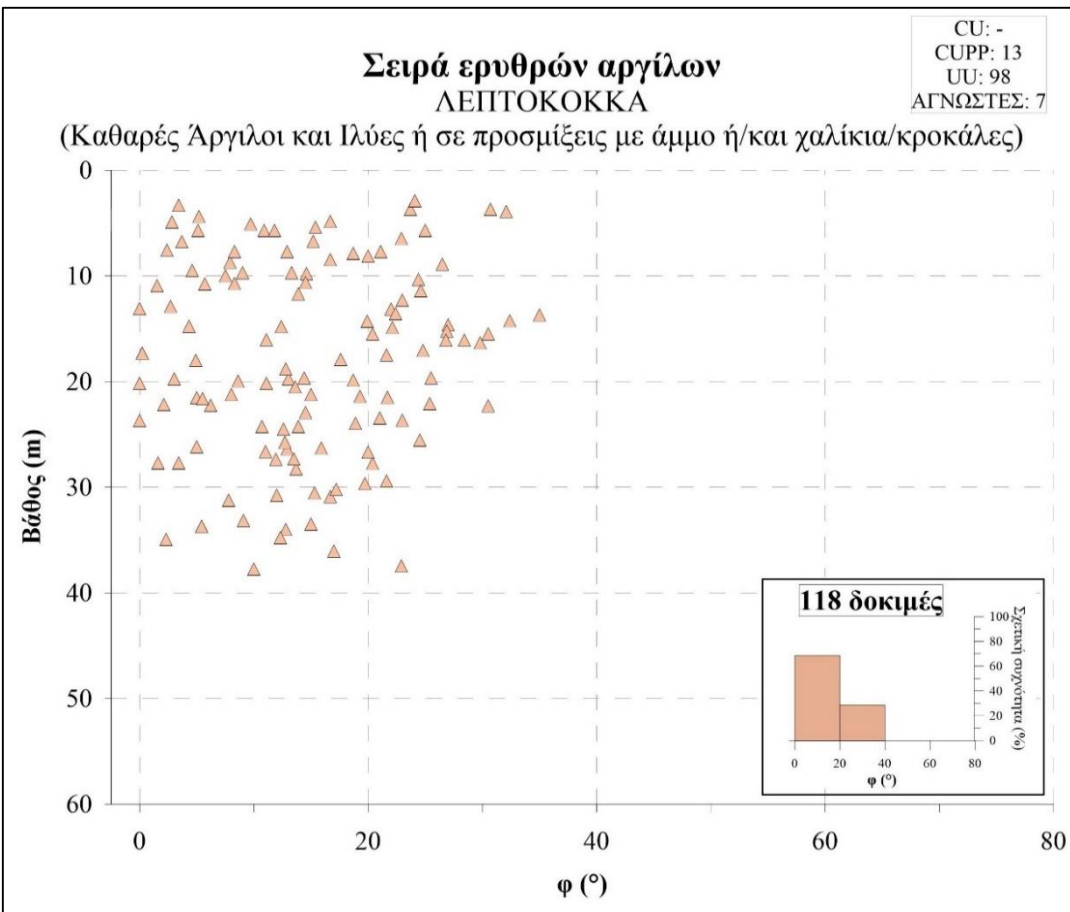


Σχήμα 6.123α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών συνοχής (c) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Για τον προσδιορισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας, εκτελέστηκαν 133 δοκιμές τριαξονικής φόρτισης εκ των οποίων, 118 σε λεπτόκοκκα υλικά, 12 σε αδρόκοκκα και 3 σε λοιπούς σχηματισμούς (σχήμα 6.124). Ο κυρίαρχος τύπος είναι αυτός της ταχείας δοκιμής χωρίς στερεοποίηση και χωρίς αποστράγγιση (UU). Οι τιμές, στα λεπτόκοκκα υλικά, κυμαίνονται, στην πλειονότητά τους (70%), από 0 έως 20° (σχήμα 6.125α). Το υπόλοιπο 30% των δοκιμών εκτελέστηκαν στα πρώτα 30 m κι αντιστοιχεί σε τιμές $\phi = 20^\circ$ -35°. Στην περίπτωση των αδρόκοκκων υλικών, οι τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής κυμαίνονται μεταξύ 3° και 34° (σχήμα 6.125β). Πρόκειται για τιμές που προέκυψαν από δοκιμές που εκτελέστηκαν εντός πυκνής, αργιλώδους άμμου με χαλίκια και κροκάλες κατά θέσεις. Ως προς την κατανομή των τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής για τους υπόλοιπους σχηματισμούς (Παράρτημα ΙΙΙ), αυτές παρουσιάζουν τιμές εντός του εύρους $\phi = 17^\circ$ -22° οι οποίες προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν σε δείγματα πολύ ασθενούς αργιλολίθου-ιλυολίθου με οξειδώσεις κόκκινου χρώματος.



Σχήμα 6.124: Διάγραμμα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τη σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας



Σχήμα 6.125α.β: Διαγράμματα κατανομής τιμών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) για τα λεπτόκοκκα (αριστερά) κι αδρόκοκκα (δεξιά) υλικά της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας

Από την παραπάνω ενδελεχή διερεύνηση των γεωλογικών, τεχνικογεωλογικών και υδρογεωλογικών ιδιοτήτων για τη συνολική περιοχή έρευνας, προέκυψαν νέα εύρη τιμών για τις εξεταζόμενες φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές παραμέτρους (Πίνακας 6.4) που συνοδεύουν τον επικαιροποιημένο τεχνικογεωλογικό χάρτη του σχήματος 6.15. Οι διαφορές σε σχέση με το περιεχόμενο του προγενέστερου διαθέσιμου πίνακα (Πίνακας 4.4) εντοπίζονται στα εξής:

- Προτείνονται νέα, λεπτομερέστερα εύρη τιμών, σαφώς πιο περιορισμένα σε σχέση με τα προϋπάρχοντα, τα οποία συνοδεύονται από στατιστικούς δείκτες για μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Τα φάσματα τιμών παραμέτρων υπολογίζονται με λεπτομέρεια ανά 5 m για το βάθος 0-15 m στις τεχνητές επιχώσεις και 0-25 m για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.
- Το πλήθος των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων που διερευνώνται είναι σαφώς μεγαλύτερο από αυτό της προγενέστερης έκδοσης του τεχνικογεωλογικού χάρτη (Ρόζος et al., 1998). Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής εξετάζονται για πρώτη φορά, συνολικά για τη λεκάνη της Θεσσαλονίκης, οι παράμετροι που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3: Οι νέες εξεταζόμενες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες (βλ. Πίνακα 6.3)

Κατηγορία δοκιμών	Παράμετροι
Εργαστηριακές δοκιμές	<u>Παράμετροι Φυσικών ιδιοτήτων</u>
	Δείκτης πλαστικότητας - PI
	Δείκτης συνεκτικότητας - I _c
	Βαθμός κορεσμού - S
	Δείκτης πόρων - e
	Πορώδες - n
	<u>Παράμετροι Μηχανικών ιδιοτήτων</u>
	Δοκιμή άμεσης διάτμησης: • Συνοχή - c • Γωνία εσωτερικής τριβής - φ
Επιτόπου δοκιμές	Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης - N _{SPT}
	Συντελεστής υδροπερατότητας - k

Αναλυτικότερα, στον πίνακα 6.4 παρουσιάζονται τιμές και στατιστικοί δείκτες των εξεταζόμενων παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών για τα ακόλουθα βάθη: 0-5 m, 5-10 m, 10-15 m, 15-20 m και 20-25 m. Συγκεκριμένα, για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα και για τα συγκεκριμένα βάθη προσδιορίστηκαν το εύρος (min-max), δηλαδή η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή, η μέση τιμή (mean), η τυπική απόκλιση (Standard Deviation - SD) και ο συντελεστής μεταβλητότητας (Coefficient of Variation - CV) των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων που παρουσιάζονται. Η τυπική απόκλιση εκφράζει το μέτρο διασποράς ενός συνόλου δεδομένων γύρω από τη μέση τιμή, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ των δεδομένων με σκοπό τη διερεύνηση ως προς την ομοιογένειά τους. Όσο μικρότερη είναι η τιμή της SD, τόσο πιο συγκεντρωμένες είναι οι τιμές γύρω από το μέσο όρο της κατανομής και, κατά συνέπεια, τόσο πιο αντιπροσωπευτικό στατιστικό μέτρο είναι ο μέσος όρος. Αντίστοιχα, όσο μικρότερη η τιμή του CV, τόσο πιο μικρή είναι η μεταβλητότητα (ανομοιογένεια) των δεδομένων. Εάν το αποτέλεσμα είναι κάτω από δέκα τοις εκατό, τα δεδομένα θεωρούνται ομοιογενή.

Αναφορικά με τις τεχνητές επιχώσεις, αυτές εκτείνονται μέχρι το βάθος των 13 m και επομένως τα εύρη των τιμών που παρουσιάζονται για τις εξεταζόμενες παραμέτρους αντιστοιχούν μόνο στα βάθη 0-5 m, 5-10 m και 10-15 m. Στην περίπτωση της παραμέτρου SPT, δίνεται μόνο το εύρος min-max τόσο στις τεχνητές επιχώσεις, όσο και στις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας. Τα συγκεκριμένα εύρη τιμών προέκυψαν έπειτα από στατιστική επεξεργασία (διαγράμματα σχετικής συχνότητας) λαμβάνοντας υπόψη τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του συνολικού δείγματος. Αυτό σημαίνει ότι, μπορεί να εμφανίζονται μικρότερες ή/και μεγαλύτερες τιμές του εύρους min-max στα διάφορα βάθη των γεωλογικών σχηματισμών. Παρόλα αυτά, πρόκειται για τιμές που αντιστοιχούν σε περιορισμένο αριθμό, συγκριτικά με το σύνολο των δεδομένων για κάθε βάθος, γι' αυτό και δεν συμπεριλαμβάνονται στα εύρη min-max. Η παρουσία των συγκεκριμένων τιμών περιγράφεται αναλυτικά στα αντίστοιχα διαγράμματα κατανομής τιμών SPT με το βάθος στο κεφάλαιο 6.5 (σχήματα 6.17, 6.30, 6.62 και 6.94).

Ένα γενικό σχόλιο όσον αναφορά στο συγκεκριμένο πίνακα, είναι το γεγονός ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, το εύρος μεταξύ των ελάχιστων και των μέγιστων τιμών είναι μεγάλο, υποδεικνύοντας ακραίες τιμές. Σχεδόν σ' όλες τις παραμέτρους οι τιμές των στατιστικών δεικτών SD και CV υποδηλώνουν την ύπαρξη διασποράς κι ανομοιογένειας των τιμών. Εξάιρεση αποτελούν οι τιμές του γ_b στις αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας καθώς και στα βάθη 0-5 m, 5-10 m, 20-25 m για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις και 0-10 m για τις τεχνητές επιχώσεις αντίστοιχα, όπου $CV < 0.1$. Παρόμοια εικόνα παρατηρείται και στις τεχνητές επιχώσεις για βάθη 5-10 και 10-15 όπου ο συντελεστής μεταβλητότητας για το γ_d είναι κάτω από δέκα τοις εκατό χαρακτηρίζοντας τα δεδομένα ως ομοιογενή. Ως προς τον δείκτη SD, αυτός παρουσιάζει τιμές μικρότερες της μονάδας για τις εξής παραμέτρους:



q_u , I_c , e , και k , υποδεικνύοντας ότι, στην πλειοψηφία τους, οι εν λόγω τιμές βρίσκονται σε κοντινή απόσταση γύρω από το μέσο όρο.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις σχετικά με το συγκεντρωτικό πίνακα και τα στατιστικά στοιχεία των εξεταζόμενων παραμέτρων είναι αναμενόμενες, καθώς αυτές οι τιμές προέκυψαν από τη συνολική επισκόπηση κι αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων για ολόκληρη την περιοχή έρευνας. Ωστόσο, οι τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα διαφέρουν αισθητά ανά περιοχές και βάθη, προσδιορίζοντας μικρότερα εύρη τιμών στα οποία είναι χρήσιμο να πραγματοποιηθούν περαιτέρω στατιστικές αναλύσεις των δεδομένων. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 6.7, με τη μορφή τεχνικογεωλογικών μοντέλων.



Πίνακας 6.4: Συγκεντρωτικός πίνακας με συνοπτικά στατιστικά στοιχεία των εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας της περιοχής έρευνας

Γεωλογικοί σχηματισμοί	Βάθος (m)	Φυσικές και μηχανικές παράμετροι																																			
		SPT				q _u (MPa)				w (%)				LL (%)				PI (%)				I _c (%)				PL (%)				S (%)				n (%)			
		min-max	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV			
Τεχνητές επιχώσεις	0–5	1–17	0.03–0.58	0.16	0.14	0.87	2.4–39.8	16.39	7.55	0.46	17.8–57.2	30.74	6.63	0.22	NP–34.7	9.92	7.31	0.74	0.4–1.6	1.01	0.30	0.30	11–34.9	18.91	4.22	0.22	37–100	84.48	15.88	0.19	20–53.3	35.58	7.38	0.21			
	5–10	1–20	0.013–0.6	0.17	0.18	1.08	3.4–54	21.06	10.55	0.50	18.8–61	32.16	7.18	0.22	NP–35	9.31	8.32	0.89	0.1–1.7	0.91	0.41	0.45	12.3–28.8	19.36	4.58	0.24	78–100*	91.00	9.73	0.11	22.5–39.2*	31.57	5.13	0.16			
	10–15	7–25	0.011–0.3	0.10	0.09	0.87	14.9–56.4	32.17	11.68	0.36	30.8–61	42.91	9.94	0.23	NP–41.6*	15.22	14.80	0.97	0.2–1*	0.55	0.31	0.57	15.5–23*	19.43	3.64	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-			
Τεταρτογενείς αποθέσεις	0–5	1–20	0.019–0.8	0.18	0.15	0.85	2.4–66.9	21.56	10.48	0.49	17.2–77	32.69	10.16	0.31	NP–48	11.65	9.85	0.85	0.1–1.5	0.85	0.33	0.38	12–35.5	19.11	3.99	0.21	30–100	88.72	13.59	0.15	17.3–65	40.41	9.74	0.24			
	5–10	7–30	0.01–0.6	0.15	0.13	0.84	3.3–77.5	23.19	13.64	0.59	14.7–75.7	33.21	10.00	0.30	NP–44.5	13.34	9.55	0.72	0.1–2.2	0.83	0.35	0.42	9.9–33.1	18.22	3.72	0.20	9–100	94.25	10.48	0.11	20–67.5	40.44	11.90	0.29			
	10–15	10–35	0.02–0.7	0.13	0.11	0.82	3.6–86.8	23.10	15.63	0.68	17.4–76.4	32.56	10.87	0.33	NP–45	12.85	9.37	0.73	0.1–1.8	0.83	0.30	0.37	10.8–38.1	18.44	4.75	0.26	47–100	94.63	9.67	0.10	18.7–66.1	40.67	13.52	0.33			
	15–20	16–43	0.012–0.54	0.12	0.09	0.71	5.7–70.3	23.78	15.52	0.65	16.6–73.6	32.61	11.99	0.37	NP–41.2	13.22	10.57	0.80	0.1–2.8	0.85	0.48	0.56	10.5–32.4	18.27	3.72	0.84	19–100	96.33	11.09	0.12	20.6–56.8	41.78	12.93	0.31			
	20–25	25–R	0.027–0.36	0.13	0.08	0.62	6–50	19.05	6.93	0.36	18–57	31.44	8.47	0.27	NP–35	12.53	9.36	0.75	0.1–2.5	0.92	0.42	0.46	12–28	17.44	2.68	0.15	78–100	97.22	4.82	0.05	23.7–59.3	36.92	7.62	0.21			
Νεογενείς αποθέσεις	0–5	20–R	0.03–1.04	0.32	0.21	0.65	1.5–36.4	16.78	6.29	0.38	15.5–82	38.68	11.11	0.29	NP–51.1	19.41	7.99	0.41	0.7–2.6	1.12	0.28	0.25	8.9–35.7	19.22	5.00	0.26	9–100	82.89	14.72	0.18	17.3–51.9	35.56	6.85	0.19			
	5–10	24–R	0.027–2.3	0.37	0.32	0.88	1.7–42.2	18.66	6.11	0.33	18.3–83.6	40.39	11.32	0.28	NP–58.3	20.29	8.80	0.43	0.2–2.2	1.04	0.25	0.24	8.9–50	19.70	5.35	0.27	38–100	89.11	11.87	0.13	21.9–67.7	36.25	6.92	0.19			
	10–15	31–R	0.021–6.2	0.47	0.54	1.15	4.6–55	19.21	6.73	0.35	17.7–88	40.18	12.19	0.30	NP–49	19.81	8.84	0.45	0.2–2.8	1.04	0.29	0.28	8.7–55	20.06	5.79	0.29	39–100	89.79	11.70	0.13	18.7–66.1	35.85	7.47	0.21			
	15–20	40–R	0.04–4.9	0.49	0.51	1.05	3–48.6	19.44	6.60	0.34	18.5–90	40.25	12.24	0.30	NP–49.9	19.10	8.93	0.47	0.2–2.6	1.01	0.26	0.26	10.6–54	20.28	6.10	0.30	52–100	91.75	10.48	0.11	21.3–53.3	35.50	6.75	0.19			
	20–25	45–R	0.03–10	0.56	0.82	1.45	3.1–66.1	19.12	6.56	0.34	17–92	41.30	12.41	0.30	NP–47	18.25	9.84	0.54	0.4–2.7	1.08	0.30	0.28	10.5–56	21.42	6.04	0.28	23–100	89.96	11.84	0.13	20.6–67.4	34.81	7.68	0.22			

Γεωλογικοί σχηματισμοί	Βάθος (m)	Φυσικές και μηχανικές παράμετροι																																	
		e				γ _b (KN/m ³)				γ _d (KN/m ³)				k (m/sec)				c (kPa) - Άμεση διάτμηση				φ (°) - Άμεση διάτμηση				c (kPa) - Τριαξονική δοκιμή				φ (°) - Τριαξονική δοκιμή					
		min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min	max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	
Τεχνητές επιχώσεις	0–5	0.28–1.1	0.58	0.19	0.33	15–23.3	20.10	1.57	0.08	12.6–21.2	17.27	1.86	0.11	2.16E-07	4.13E-05	1.12E-05	1.35E-05	1.21	1–49*	13.94	11.60	0.83	18.8–45*	35.01	6.82	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5–10	0.3–0.64*	0.47	0.11	0.23	15.8–22.5	20.31	1.48	0.07	11.2–21.5	20.31	1.48	0.07	3.41E-08	2.33E-05	8.08E-06	7.28E-06	0.90	7–41*	20.09	14.34	0.71	14.2–47*	32.55	10.52	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10–15	-	-	-	-	14.9–22.3*	20.25	2.14	0.11	19.1–19.4*	19.25	0.21	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Τεταρτογενείς αποθέσεις	0–5	0.2–1.9	0.72	0.30	0.42	15–23.8	19.94	1.62	0.08	9.5–23.2	16.66	2.46	0.15	1.50E-08	9.60E-05	3.79E-06	1.25E-05	3.29	1–87	18.46	20.45	1.11	0–40.3	29.59	9.14	0.31	2–123	33.50	38.57	1.15	0–35	10.04	11.78	1.17	
	5–10	0.2–2.1	0.76	0.42	0.56	14.9–23.7	20.16	1.87	0.09	8.7–21.6	16.65	2.84	0.17	4.04E-09	1.52E-04	4.73E-06	1.51E-05	3.19	0.45–65	16.53	14.56	0.88	1.5–47.1	26.63	9.08	0.34	2–211	38.16	39.24	1.03	0–38	14.73	12.95	0.88	
	10–15	0.2–1.9	0.79	0.48	0.61	14–25.3	20.41	2.33	0.11	9.3–23.3	17.14	3.64	0.21	2.62E-08	2.61E-04	1.22E-05	3.70E-05	3.03	1–58	16.69	13.24	0.79	0–44.6	26.77	11.16	0.42	1–98	24.86	24.54	0.99	0–37	15.63	12.97	0.83	
	15–20	0.3–1.9	0.81	0.46	0.57	14.5–25	20.58	2.15	0.10	9.4–22.9	17.37	3.03	0.17	7.43E-09	2.24E-05	2.36E-06	4.33E-06	1.83	1–125	24.76	25.14	1.02	0–41.4	27.26	8.18	0.30	4–122.6	36.11	32.70	0.91	0–33	13.76	11.37	0.83	
	20–25	0.3–1.5	0.61	0.24	0.39	16.5–24	20.98	1.41	0.07	10.8–22.3	17.87	2.18	0.12	1.29E-08	7.98E-05	5.22E-06	1.31E-05	2.50	0.5–135	41.80	34.22	0.82	17–36.8	23.70	8.80	0.37	3–135	33.00	34.62	1.05	0–27.6	14.30	11.54	0.81	
Νεογενείς αποθέσεις	0–5	0.2–1.1	0.57	0.18	0.31	16.3–23.6	20.26	1.34	0.07	10.6–22	17.25	1.91	0.11	2.54E-08	1.51E-05	1.67E-06	3.77E-06	2.26	2–132	30.19	27.73	0.92	8.9–61	28.98	9.21	0.32	1–227	93.69	71.70	0.77	2.8–37	21.16	11.65	0.55	
	5–10	0.3–2.1	0.59	0.20	0.35	15.2–22.8	20.30	1.24	0.06	12.3–20.7	17.04	1.73	0.10	1.45E-08	1.15E-05	1.69E-06	3.05E-06	1.80	1–176	36.62	32.55	0.89	7.6–56.6	28.14	9.47	0.34	1–298	110.26	77.90	0.71	1.5–29.8	14.86	8.35	0.56	
	10–15	0.2–2.0	0.58	0.22	0.37	16.4–23.2	20.39	1.27	0.06	11.9–22.4	17.09	1.92	0.11	7.80E-09	1.60E-05	1.01E-06	2.30E-06	2.27	0.8–222	54.66	51.51	0.94	9.6–45.1	27.62	7.60	0.27	15–571	163.17	132.61	0.81	0–35	14.13	9.24	0.65	
	15–20	0.3–1.1	0.57	0.18	0.31	17–23.5	20.49	1.18	0.06	12.7–21.4	17.12	1.84	0.11	8.20E-10	2.02E-05	6.37E-07	2.33E-06	3.66	1.6–277	84.19	67.32	0.80	8–46.7	25.12	7.30	0.29	18–564	199.09	137.67	0.69	0.2–30.5	15.97	8.92	0.56	
	20–25	0.3–2.1	0.56	0.24	0.43	16.7–23.3	20.48	1.21	0.06	12.5–21.8	17.33	1.77	0.10	1.17E-09	1.33E-05	5.74E-07	1.77E-06	3.08	1.8–387	111.78	81.12	0.73	1.1–38	23.44	6.56	0.28	29.4–723	240.33	150.91	0.63	0–30.5	11.23	8.18	0.73	

* περιορισμένος αριθμός δεδομένων/ – μη διαθέσιμα δεδομένα/ R: APNHΣΗ/ NP: Μη πλαστικό

6.6 Θεματικοί χάρτες τεχνικογεωλογικής πληροφορίας

6.6.1 Γενικά

Στο πλαίσιο της αστικής γεωλογίας, η συλλογή γεωτεχνικών δεδομένων και η ανάλυσή τους με σκοπό τη δημιουργία θεματικών χαρτών τεχνικογεωλογικής πληροφορίας, θεωρείται ως ένα σημαντικό εργαλείο που συμβάλλει στην καθιέρωση ενός ολοκληρωμένου αναπτυξιακού σχεδιασμού. Οι χάρτες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω στον προσδιορισμό της γεωτεχνικής καταλληλότητας και στην αξιολόγηση πιθανών κινδύνων μιας αστικής περιοχής. Αρκετοί είναι οι ερευνητές που ασχολήθηκαν με το συγκεκριμένο αντικείμενο καθιερώνοντας αυτή την προσέγγιση συνεισφέροντας στην ασφαλή επέκταση πόλεων (Baker 1975; Edbrooke et al. 2003; Haworth 2003; Nott 2003; Willey 2003; Woodward 2005; El May et al. 2009, 2010, Abd El Aal and Masoud 2018; Celik et al. 2021).

Η ανάλυση και ερμηνεία των τεχνικογεωλογικών δεδομένων σε περιβάλλον GIS για τη δημιουργία θεματικών χαρτών μπορούν να λειτουργήσουν ως κατευθυντήριες γραμμές για τον ασφαλή σχεδιασμό. Η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση του υπεδάφους έχει μελετηθεί από διάφορους ερευνητές και για διάφορες χώρες όπως η Αυστραλία (Al-Ani et al. 2013), η Παλαιστίνη (Jardaneh 2007), η Τουρκία (Kolat et al. 2006; Koçkar και Akgün 2008; Orhan και Tosun 2010), το Ιράκ (Mohammed et al. 2012; Ali και Shakir 2022a, 2022b), η Ταϊλάνδη (Suwanwiwattana et al. 2001), η Πορτογαλία (Teves-Costa et al. 2014) κι ο Καναδάς (Chung και Rogers, 2010).

Τα εργαλεία GIS συμβάλλουν ιδιαίτερα στη δημιουργία χαρτών ζωνοποίησης κι επιδεκτικότητας στο πεδίο της τεχνικής γεωλογίας. Μάλιστα αρκετοί είναι οι ερευνητές που μέσω της δημιουργίας θεματικών χαρτών τεχνικογεωλογικής πληροφορίας κατέστησαν δυνατή τη χωρική κατανομή διάφορων παραμέτρων συμβάλλοντας ουσιαστικά στην ανάπτυξη αυτού του αντικειμένου. Οι Orhan et al. (2013) έφτιαξαν χάρτες ζωνοποίησης των εδαφικών κλάσεων και χάρτες χωρικής κατανομής των τιμών SPT και της αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη στο πλαίσιο προκαταρκτικής αξιολόγησης των κινδύνων της πανεπιστημιούπολης στην πόλη Eskisehir της Τουρκίας.

Οι Stalin και Murugan (2015) δημιούργησαν ένα σύνολο από θεματικούς χάρτες για διάφορες παραμέτρους και για συγκεκριμένα βάθη, με σκοπό την ανάπτυξη ενός χάρτη καταλληλότητας ως προς τη θεμελίωση κτιρίων για το νότιο Chennai στην Ινδία. Οι Das et al. (2019) χρησιμοποίησαν τα GIS για να αναπτύξουν χάρτες για την αξιολόγηση του δυναμικού ρευστοποίησης στην πόλη Agartala της Ινδίας. Η μελέτη των Ahmed et al. (2020) επικεντρώθηκε στις συσχετίσεις μεταξύ των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών της πόλης Sulaimani στο Ιράκ, με βάση δεδομένα που συλλέχθηκαν από διάφορες ερευνητικές μελέτες. Εδώ, τα GIS χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία

χαρτών χωρικής κατανομής των ορίων Atterberg (όριο υδαρότητας - LL και δείκτη πλαστικότητας - PI) και των μηχανικών ιδιοτήτων όπως η αστράγγιστη διατμητική αντοχή - S_u . Οι Al-Mamoori et al. (2020) δημιούργησαν γεωτεχνικούς χάρτες με σκοπό τη μελλοντική δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για την ανάπτυξη της πόλης An-Najaf στο Ιράκ. Οι Aldefae et al. (2020) ανέπτυξαν ένα σύνολο από γεωτεχνικούς χάρτες για διάφορες εδαφικές παραμέτρους (φέρουσα ικανότητα, συντελεστής στερεοποίησης - C_v , δείκτης συμπίεσης - C_c , δείκτης επαναφοράς - C_r , παράμετροι διατμητικής αντοχής - c , ϕ) για το Wasit του ανατολικού Ιράκ.

Στη μελέτη τους οι Cabalar et al. (2021) χρησιμοποίησαν γεωτεχνικά δεδομένα από διαθέσιμες γεωτρήσεις με σκοπό τη δημιουργία μιας σειράς χαρτών για την πόλη Erzincan, η οποία βρίσκεται σε κοντινή περιοχή της ζώνης ρηγμάτων της Βόρειας Ανατολίας (NAFZ). Οι χάρτες αυτοί αφορούν σε διάφορες ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένης της περιεχόμενης υγρασίας - w , της δοκιμής πρότυπης διεύθυνσης - N_{SPT} , της αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη - q_u , της ταχύτητας διατμητικού κύματος - V_s και της ταχύτητας διαμήκους κύματος - V_p . Οι Ijaz et al. (2021) ανέπτυξαν ένα σύνολο θεματικών χαρτών για διάφορες παραμέτρους, συμβάλλοντας στα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής μελλοντικών έργων της περιοχής Sialkot στο Πακιστάν. Οι Prins και Andresen (2021) χρησιμοποίησαν σεισμικά δεδομένα και δεδομένα δοκιμής διεύθυνσης κώνου (CPT) με σκοπό τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς του εδάφους και της γεωτεχνικής στρωματογραφίας μιας περιοχής στη Νότια Δανία.

6.6.2 Χάρτες χωρικής κατανομής τεχνικογεωλογικών παραμέτρων

Για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών τεχνικογεωλογικής πληροφορίας, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών που αναφέρονται στις φυσικές και μηχανικές παραμέτρους που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5. Για καθεμία παράμετρο δημιουργούνται χάρτες κατανομής ανά 5 m, μέχρι το βάθος των 20 m, οι οποίοι συνοδεύονται από συγκεκριμένα εύρη τιμών με αντίστοιχη διακύμανση χρωμάτων στο υπόμνημα. Τα εύρη των τιμών επιλέγονται κυρίως με βάση τις γεωτεχνικές ταξινομήσεις και κατατάξεις που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.3.3, καθώς και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων για κάθε περίπτωση.

Πίνακας 6.5: Φυσικές και μηχανικές παράμετροι για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών τεχνικογεωλογικής πληροφορίας

Κατηγορία δοκιμών	Παράμετροι
Εργαστηριακές δοκιμές	<u>Φυσικές παράμετροι</u>
	Όριο υδαρότητας - LL
	Όριο πλαστικότητας - PL
	Δείκτης πλαστικότητας - PI
	Δείκτης συνεκτικότητας - I_c
	Περιεχόμενη υγρασία - w
	Βαθμός κορεσμού - S
	Υγρό φαινόμενο βάρος - γ_b
	Ξηρό φαινόμενο βάρος - γ_d
	<u>Μηχανικές παράμετροι</u>
	Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη - q_u
Επιτόπου δοκιμές	Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης - N_{SPT}

Ακολούθως παρουσιάζονται ενδεικτικά οι χάρτες χωρικής κατανομής για τις εξής παραμέτρους:

- δοκιμή πρότυπης διείσδυσης – N_{SPT}
- αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη - q_u
- δείκτης πλαστικότητας – PI
- όριο υδαρότητας – LL
- περιεχόμενη υγρασία – w

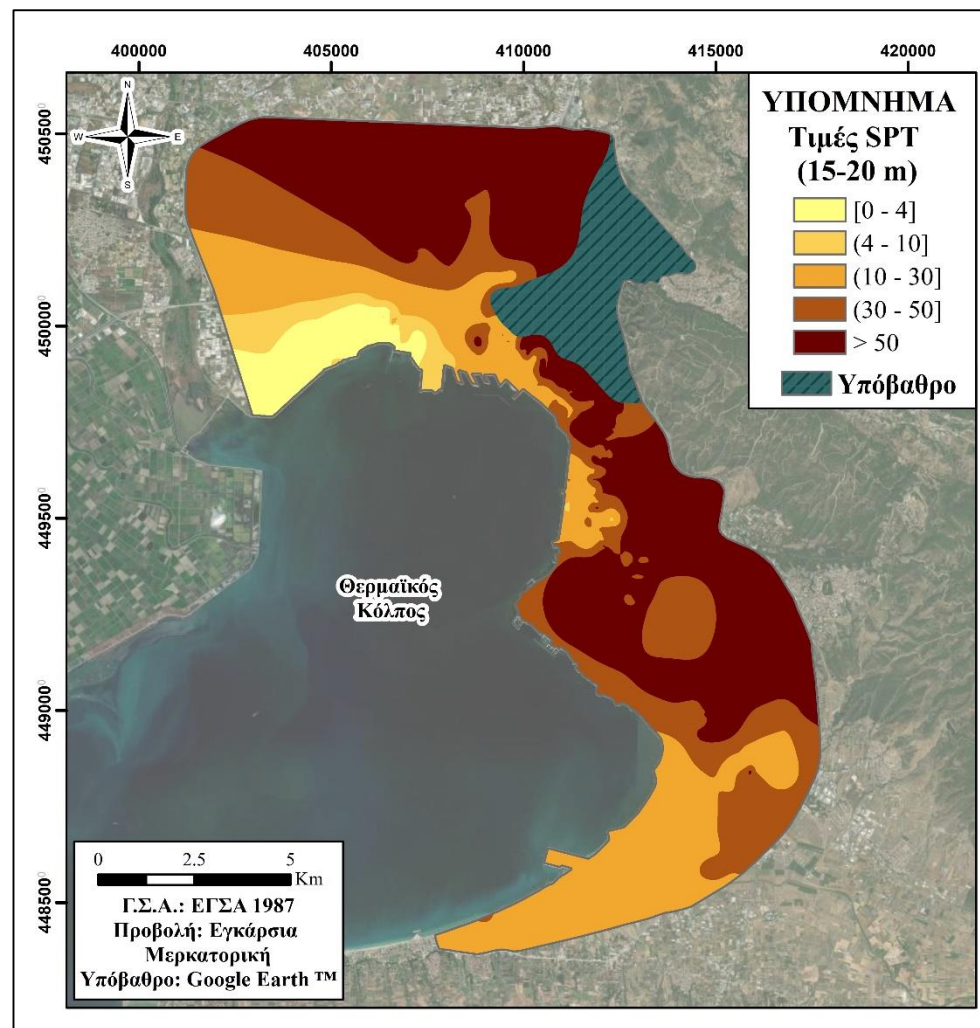
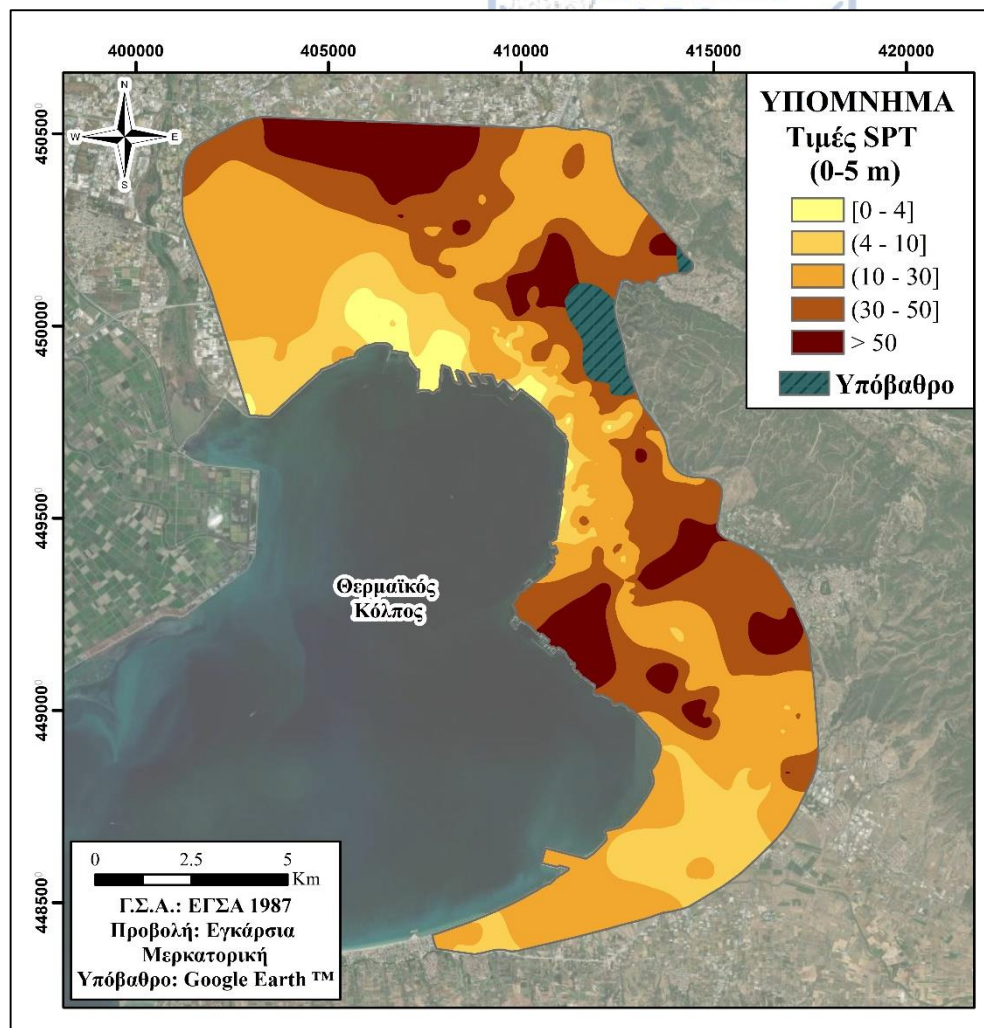
Στο Παράρτημα IV παρουσιάζονται οι χάρτες χωρικής κατανομής για τις υπόλοιπες παραμέτρους:

- όριο πλαστικότητας – PL
- δείκτης συνεκτικότητας - I_c
- βαθμός κορεσμού – S
- υγρό φαινόμενο βάρος- γ_b
- ξηρό φαινόμενο βάρος - γ_d

Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (N_{SPT})

Ξεκινώντας από τον χάρτη χωρικής κατανομής τιμών SPT για τα πρώτα 5 m (σχήμα 6.126α), διαπιστώνεται ότι επικρατούν τιμές $0 \leq N_{SPT} \leq 30$. Ειδικότερα, στις περιοχές του ιστορικού κέντρου, της νέας παραλίας, καθώς και στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης και δυτικά αυτού, εντοπίζονται οι χαμηλότερες τιμές, $N_{SPT} = [0-10]$. Πρόκειται για περιοχές στις οποίες επικρατούν επιφανειακά οι τεχνητές επιχώσεις (σχήμα 6.15) που αποτελούνται κατά βάση από εδάφη πολύ χαλαρά έως χαλαρά στα αδρόκοκκα υλικά και πολύ μαλακά έως μαλακά στα λεπτόκοκκα. Ο χάρτης κατανομής τιμών SPT για βάθος από 5 έως 10 m. (Παράρτημα IV) παρουσιάζει παρόμοια εικόνα μ' αυτόν των πρώτων 5 μέτρων. Ωστόσο, οι περιοχές που αντιστοιχούν σε $N_{SPT} = 0-10$ είναι ελαφρώς πιο περιορισμένες, ενώ μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν οι περιοχές που παρουσιάζουν τιμές $N_{SPT} > 30$ και πρόκειται για αποτελέσματα δοκιμών που έχουν διεξαχθεί κυρίως εντός των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας.

Σύμφωνα με τον χάρτη κατανομής τιμών SPT για βάθη από 10 έως 15 m (Παράρτημα IV), οι περιοχές με $N_{SPT} < 30$ εμφανίζουν περιορισμένη έκταση. Αυτό οφείλεται στο ότι στα συγκεκριμένα βάθη παρατηρούνται κατά βάση οι εδαφικές αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας. Αυτοί οι σχηματισμοί παρουσιάζουν σαφώς καλύτερη αντοχή συγκριτικά με τις τεχνητές επιχώσεις και συνεπώς η κατανομή αυτών των τιμών στο χάρτη είναι αναμενόμενη. Σε βάθος από 15 έως 20 m (σχήμα 6.126β), παρατηρούνται κυρίως αρνήσεις ($N_{SPT} > 50$) στη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής έρευνας. Αυτές εμφανίζονται στο βόρειο, βορειοανατολικό κι ανατολικό τμήμα όπου επικρατούν σχεδόν εξ ολοκλήρου οι σκληρές και πολύ πυκνές αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το εύρος τιμών από 0 έως 4 περιορίζεται στο δυτικό άκρο της περιοχής έρευνας (περιοχή Καλοχωρίου) όπου εντοπίζονται σε σημαντικά βάθη οι μαλακές και χαλαρές αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας.

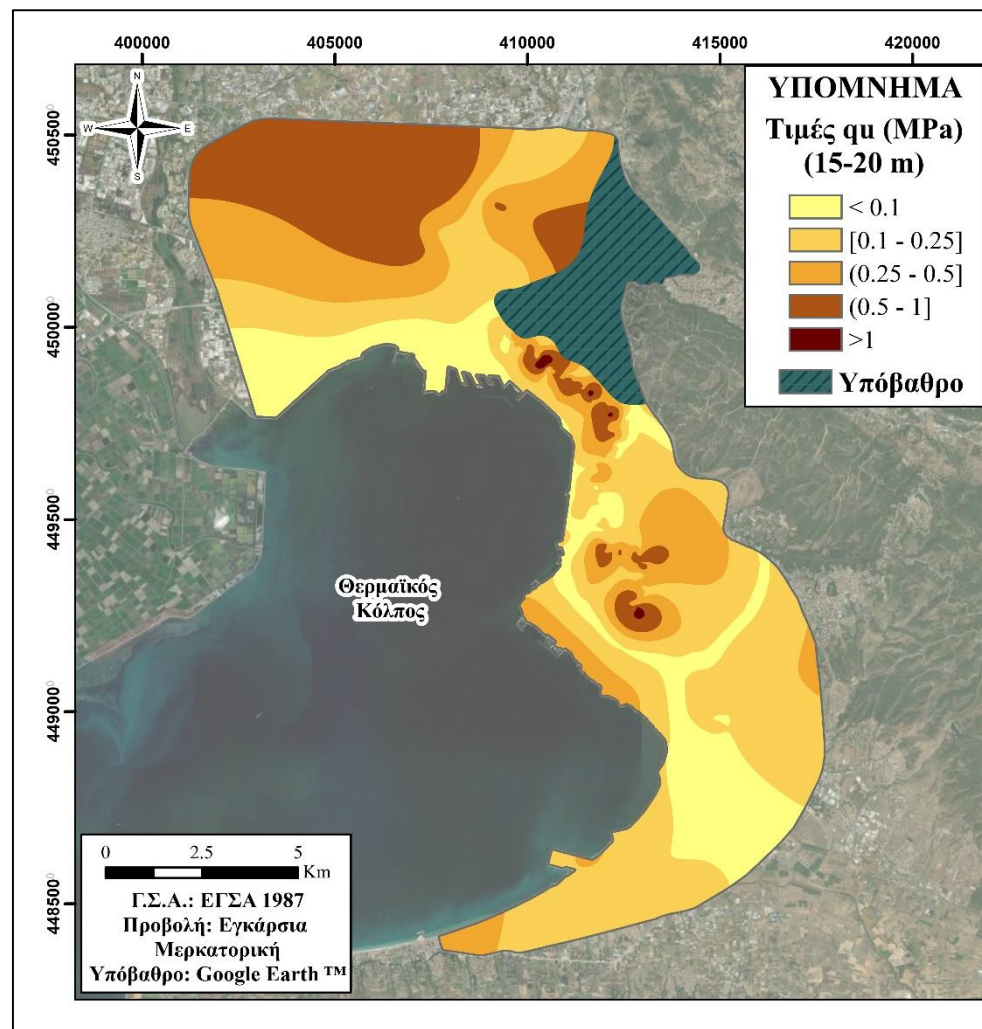
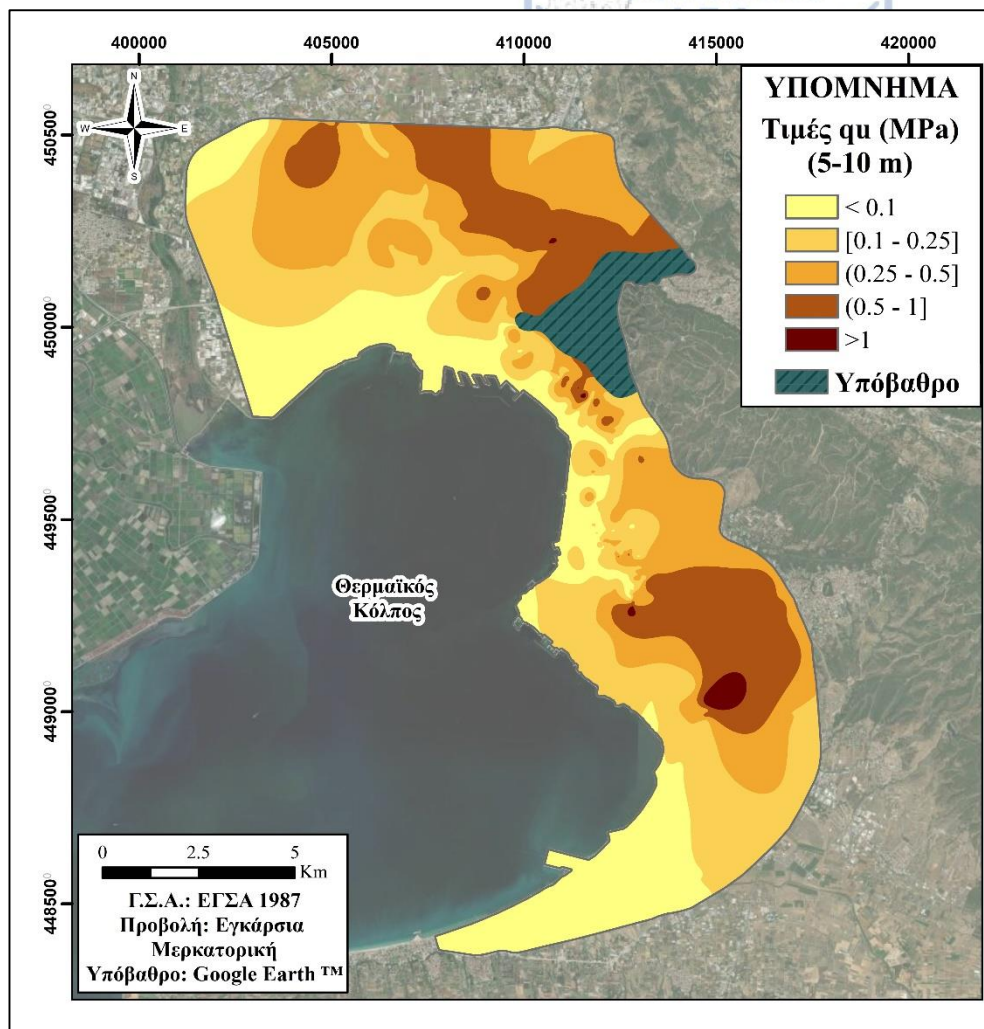


Σχήμα 6.126α.β: Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδσδυσης (N_{SPT}) για βάθη 0-5 m (αριστερά) και 15-20 m (δεξιά)

Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u)

Σύμφωνα με τους χάρτες χωρικής κατανομής τιμών q_u διαπιστώνεται ότι μέχρι το βάθος των 20m επικρατούν κατά κύριο λόγο τιμές $q_u < 0.5\text{MPa}$. Πιο συγκεκριμένα, στα πρώτα 5 m (Παράρτημα IV), επικρατούν χαμηλές έως πολύ χαμηλές τιμές ($q_u \leq 0.25\text{MPa}$) εντός των επιφανειακών τεχνητών αποθέσεων και των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας, προσδίδοντας στα υλικά αυτά πολύ μικρές αντοχές. Τιμές $q_u \leq 1\text{MPa}$ εντοπίζονται σε πολύ περιορισμένες εκτάσεις, κυρίως στο ανατολικό άκρο της περιοχής έρευνας, στα όρια Θέρμης-Πανοράματος καθώς και στην περιοχή του Ευόσμου, στο ύψος της Εγνατίας οδού. Σύμφωνα με τον τεχνικογεωλογικό χάρτη (σχήμα 6.15) αυτές οι περιοχές αποτελούνται από πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις μεικτών φάσεων με επικράτηση των λεπτομερών υλικών.

Παρόμοια εικόνα εμφανίζουν οι χάρτες για βάθη 5-10m (σχήμα 6.127α) και 10-15m (Παράρτημα IV) με την επικράτηση τιμών $q_u \leq 0.25\text{MPa}$ στο παραλιακό μέτωπο από τον Ν.Σ.Σ. έως τη Νέα Κρήνη και σε εύρος που κυμαίνεται από 500m έως 1500m, καθώς και στην περιοχή του αεροδρομίου, των παλαιών σφαγείων και του Καλοχωρίου. Τιμές $0.25\text{MPa} \leq q_u \leq 1\text{MPa}$ συναντώνται σε περιοχές οι οποίες είναι σαφώς πιο διευρυμένες σε σχέση με την έκταση που καταλαμβάνουν στα πρώτα 5m. Τέλος, $q_u > 1\text{MPa}$ παρατηρούνται σε όλα τα βάθη κι αποκλειστικά εντός της σειράς ερυθρών αργίλων και της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή του ιστορικού κέντρου στα βάθη 15-20m (σχήμα 6.127β) όπου εντοπίζονται υψηλές έως πολύ υψηλές τιμές αντοχής λόγω της σταδιακής μετάπτωσης στις αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας. Αυτές προέκυψαν από αποτελέσματα δοκιμών που διενεργήθηκαν κατά βάση εντός πολύ σφιγρής έως σκληρής αργίλου με ή χωρίς προσμίξεις άμμου ($1 < q_u \leq 5\text{MPa}$) και ασθενών έως πολύ ασθενών ιλυολίθων/αργιολίθων/ψαμμιτών ($q_u > 5\text{MPa}$).



Σχήμα 6.127α.β: Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) για βάθη 5-10 m (αριστερά) και 15-20 m (δεξιά)

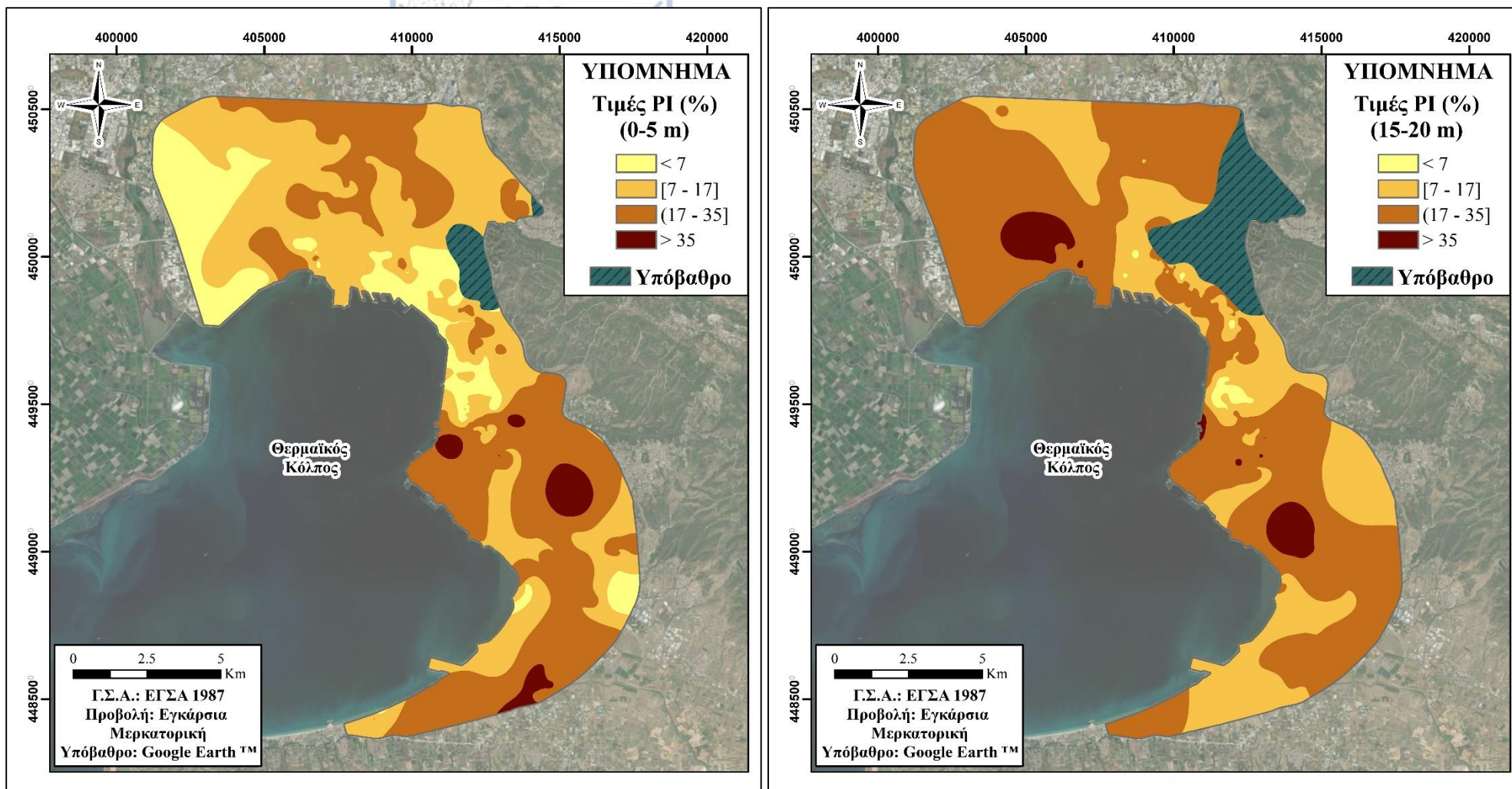
Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI)

Από τους χάρτες χωρικής κατανομής τιμών PI διαπιστώνεται ότι οι τιμές του δείκτη πλαστικότητας αυξάνονται σταδιακά με το βάθος. Συγκεκριμένα, διπιστώνεται ότι για βάθη 0-5m επικρατούν τιμές $PI \leq 17\%$ (σχήμα 6.128α). Οι τιμές αυτές εντοπίζονται:

- στις τεχνητές επιχώσεις του ιστορικού κέντρου, της Άνω πόλης και της νέας παραλίας
- σε χαλαρές αμμώδεις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας με χαμηλή ή καθόλου πλαστικότητα που βρίσκονται στην περιοχή του αεροδρομίου, στη Θέρμη και στο δυτικό άκρο της περιοχής έρευνας.

Σ' αυτά τα βάθη εμφανίζονται και τιμές $PI > 35\%$ οι οποίες προέκυψαν από δοκιμές που διενεργήθηκαν σε δείγματα στιφρής έως πολύ στιφρής, παχιάς αργίλου με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου και χαλικιών, μεγάλης πλαστικότητας Τεταρτογενούς ή Νεογενούς ηλικίας.

Για τα βάθη 5-10m ο χάρτης κατανομής τιμών PI (Παράρτημα IV) παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτόν των πρώτων 5m, με τη διαφορά ότι είναι σαφώς πιο περιορισμένες οι περιοχές που αντιστοιχούν σε εδαφικούς σχηματισμούς χαμηλής πλαστικότητας ($PI < 7\%$). Σε βάθη 10-20m, κυριαρχούν τιμές $PI \geq 7\%$, ενώ $PI < 7\%$ εντοπίζονται μόνο σε μια μικρή έκταση, στην περιοχή Ανάληψη εντός χαλαρής, ιλυώδους άμμου, με λεπτά χαλίκια χωρίς πλαστικότητα. Τέλος, η κύρια διαφορά μεταξύ του χάρτη χωρικής κατανομής τιμών PI για βάθη 10-15m (Παράρτημα IV) και 15-20m (σχήμα 6.128β) είναι ότι στη δεύτερη περίπτωση διακρίνονται τρεις περιοχές όπου συναντάται πολύ στιφρή παχιά άργιλος με ασβεστιτικά συγκρίμματα πολύ υψηλής πλαστικότητας ($PI > 35\%$), στο Μέγαρο Μουσικής, στην Αμερικάνικη Γεωργική Σχολή και μεταξύ Καλοχωρίου-Ελευθερίου Κορδελιού.

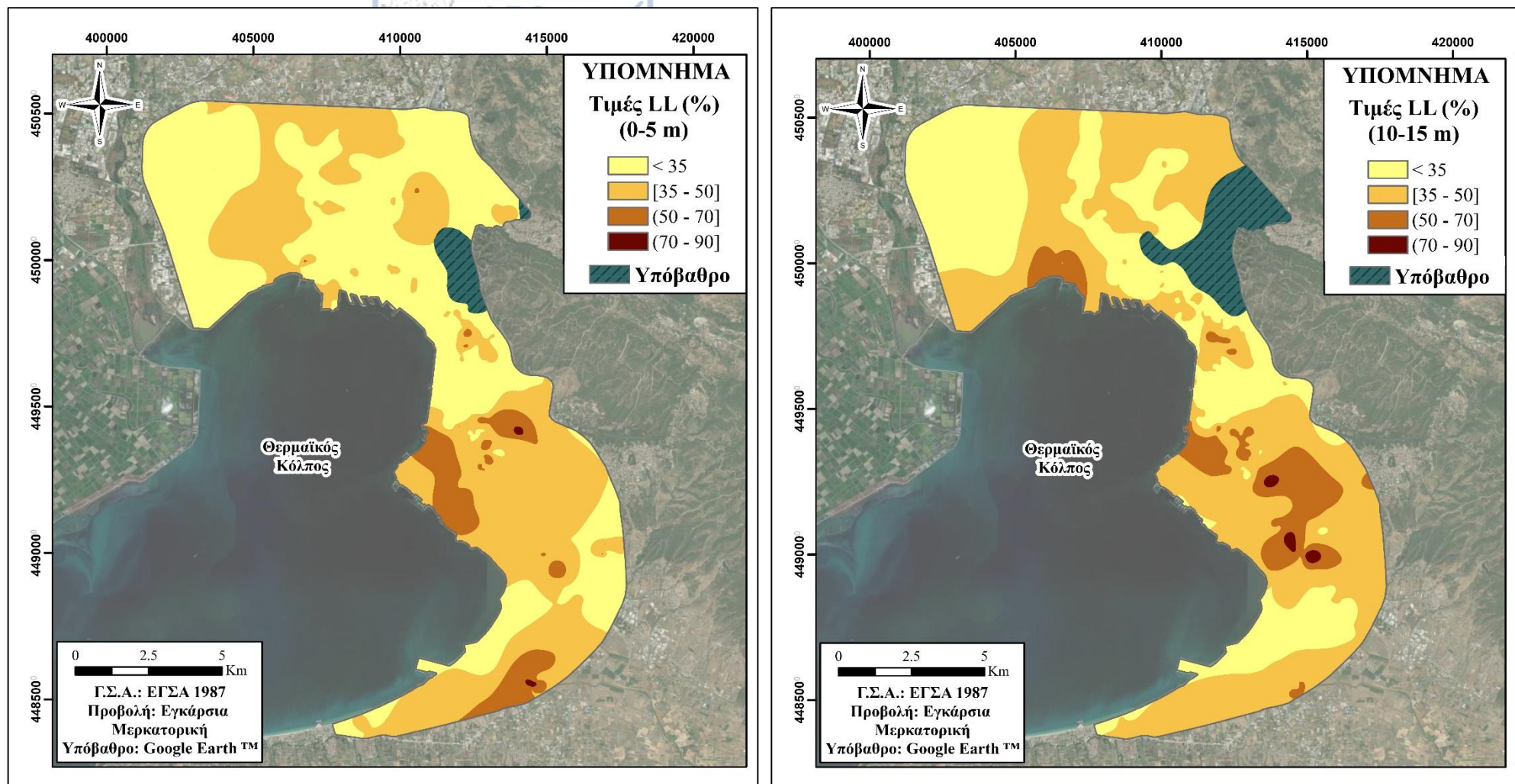


Σχήμα 6.128α.β: Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για βάθη 0-5 m (αριστερά) και 15-20 m (δεξιά)

Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL)

Σύμφωνα με τους χάρτες κατανομής τιμών LL διαπιστώνεται ότι μέχρι το βάθος των 20m επικρατούν κατά κύριο λόγο τιμές $LL \leq 50\%$. Αναλυτικά, για βάθη 0-5m (Σχήμα 6.129α), στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας επικρατούν αποκλειστικά εδαφικοί σχηματισμοί χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας (κυρίως τεχνητές επιχώσεις και χαλαρές Τεταρτογενείς αποθέσεις). Στο ανατολικό άκρο εμφανίζονται μεγαλύτερες τιμές ορίου υδαρότητας ($50 < LL \leq 70\%$) σε τμήμα της περιοχής του αεροδρομίου, της Πυλαίας, του Ντεπό και της Καλαμαριάς. Στις ίδιες περιοχές, εντοπίζονται κατά θέσεις και $70 \leq LL \leq 90\%$ εντός αργίλου, υψηλής πλαστικότητας, με μικρό ποσοστό άμμου Τεταρτογενούς ηλικίας και πολύ σφιγρής μαργαϊκής αργίλου, υψηλής πλαστικότητας Νεογενούς ηλικίας.

Παρόμοια εικόνα, ως προς την επικράτηση τιμών, παρατηρείται και στα βάθη 5-10m (Παράρτημα IV) και 10-15m (Σχήμα 6.129β) με τη διαφορά ότι εντοπίζονται τιμές $50 < LL \leq 70\%$, δυτικά του λιμένα Θεσσαλονίκης (Λαχανόκηποι και παλαιά σφαγεία), όπου οι εδαφικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από υψηλή πλαστικότητα. Τέλος, αξιοπρόσεκτο είναι το γεγονός ότι καθώς αυξάνεται το βάθος, η περιοχή του αστικού κέντρου παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές ορίου υδαρότητας και πλέον σε βάθος 15-20m (Παράρτημα IV) αποτελείται εξ ολοκλήρου από $35 < LL \leq 70\%$.



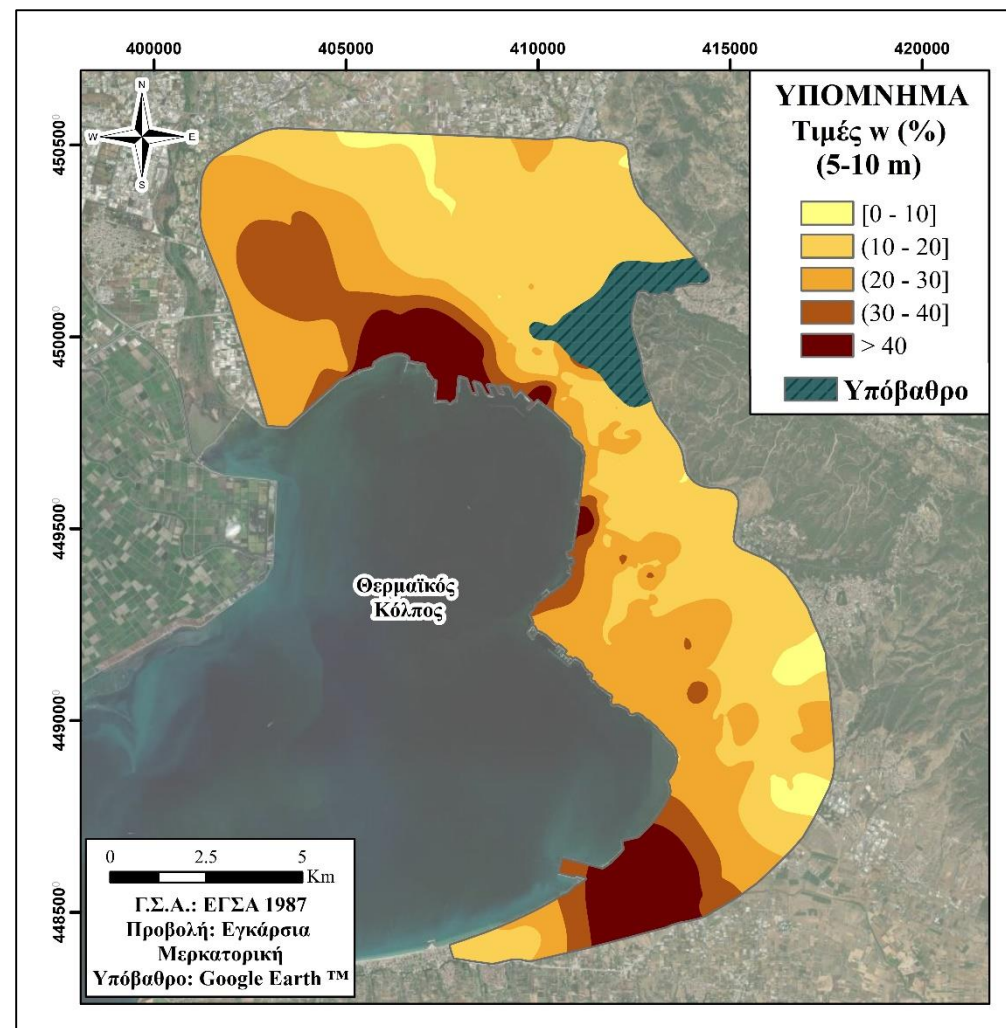
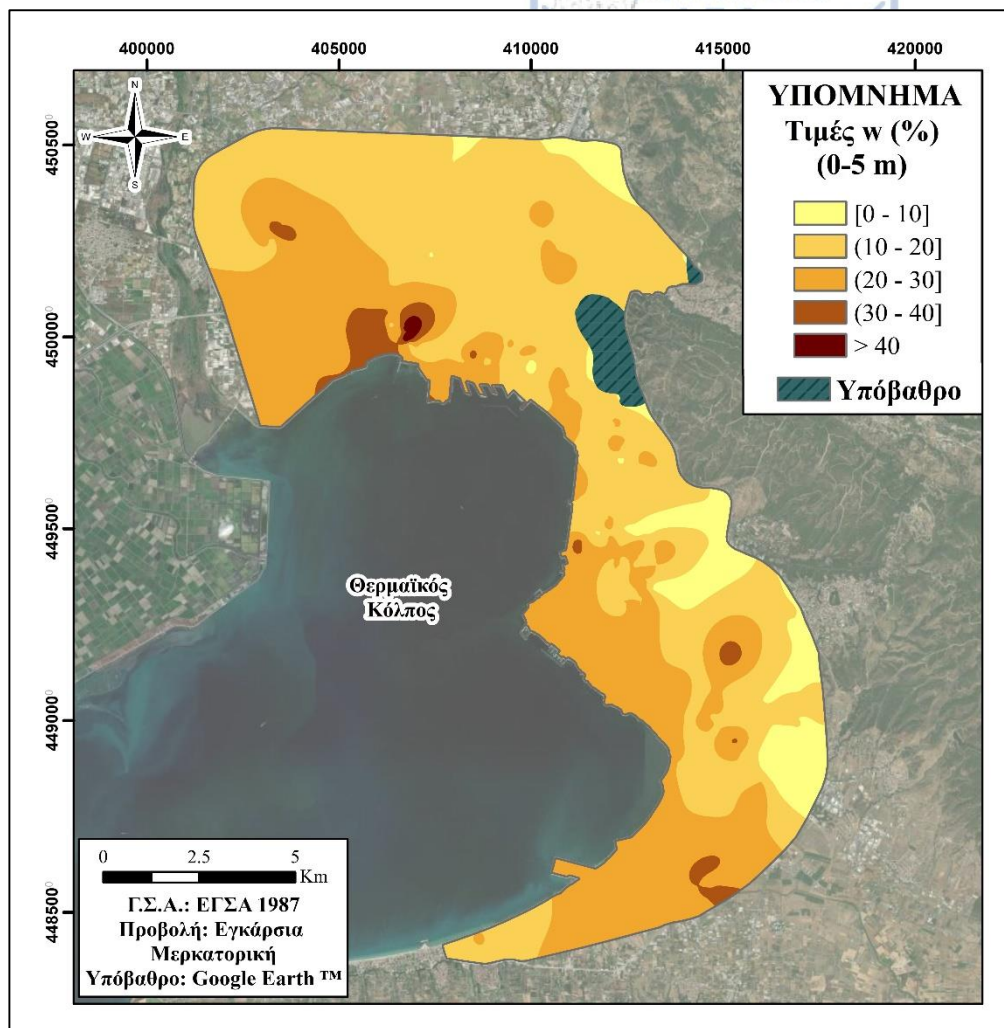
Σχήμα 6.129α.β: Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για βάθη 0-5 m (αριστερά) και 10-15 m (δεξιά)

Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w)

Ακολουθώς παρουσιάζονται οι χάρτες κατανομής τιμών w μέχρι το βάθος των 20m. Σύμφωνα με τον χάρτη κατανομής της περιεχόμενης υγρασίας για τα πρώτα 5 m (Σχήμα 6.130α), διαπιστώνεται η επικράτηση τιμών $0 \leq w \leq 30\%$. Πιο συγκεκριμένα, τιμές $0 \leq w \leq 20\%$ εντοπίζονται κατά βάση στο βόρειο, κεντρικό και νοτιοανατολικό άκρο της περιοχής έρευνας. Μεγαλύτερες τιμές ($20 < w \leq 30\%$) παρατηρούνται κατά βάση δυτικά και νότια της περιοχής έρευνας, εντός στιφρής αμμώδους αργίλου (Τεταρτογενείς αποθέσεις) και πυκνής ιλυώδους άμμου/στιφρής μαργαϊκής αργίλου (Νεογενείς αποθέσεις). Στον χάρτη κατανομής των επόμενων 5m (Σχήμα 6.130β) εξακολουθούν κι επικρατούν τιμές $0 \leq w \leq 30\%$. Ωστόσο, σε σχέση με τον προηγούμενο χάρτη, εμφανίζονται περιοχές σημαντικής έκτασης όπου επικρατούν τιμές $w > 30\%$ σε ιλυοαργιλώδη εδάφη. Αυτές εντοπίζονται:

- στα παλαιά σφαγεία και νότια των Διαβατών
- στην ευρύτερη περιοχή της πλ. Ελευθερίας και πλ. Εμπορίου
- στο παραλιακό μέτωπο, σε εύρος 500m περίπου, από το Λαογραφικό μουσείο μέχρι της περιοχή Σοφούλη και
- στην περιοχή του αεροδρομίου

Παρόμοια εικόνα εμφανίζει ο χάρτης για βάθη 10-15m (Παράρτημα IV) με παρουσία τιμών $w > 30\%$ στις προαναφερθείσες περιοχές και $0 \leq w \leq 30\%$ στην υπόλοιπη περιοχή έρευνας. Τέλος, στο χάρτη κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας για βάθη 15-20m (Παράρτημα IV) εμφανίζεται μια αρκετά μεγάλη περιοχή στη δυτική πλευρά η οποία παρουσιάζει τιμές $w > 40\%$. Εντούτοις, η κατανομή των τιμών που παρουσιάζεται δε θεωρείται αντιπροσωπευτική, καθώς το δίκτυο των γεωτρήσεων στην περιοχή δεν είναι πυκνά κατανεμημένο.



Σχήμα 6.130α.β: Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για βάθη 0-5 m (αριστερά) και 5-10 (δεξιά) m

6.6.3 Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τεχνικογεωλογικών παραμέτρων

Παράλληλα με τη δημιουργία των θεματικών χαρτών τεχνικογεωλογικής πληροφορίας, κατασκευάζονται και χάρτες κατανομής τεχνικογεωλογικών παραμέτρων με την προβολή ισοβαθών καμπυλών, για συγκεκριμένα εύρη τιμών. Πρόκειται για ένα σημαντικό πλήθος χαρτών, ο αριθμός των οποίων εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των τιμών που επιλέγονται σε κάθε περίπτωση παραμέτρου και από την κατανομή τους στο χώρο. Οι συγκεκριμένοι θεματικοί χάρτες συνοδεύουν και ταυτόχρονα ενισχύουν τα αποτελέσματα των στατιστικών κατανομών και διαγραμμάτων κατανομής των παραμέτρων με το βάθος, καθώς πάνω τους προβάλλονται οι ισοβαθείς καμπύλες από τις οποίες εξάγεται η πληροφορία σχετικά με το πώς κατανέμονται τα αντίστοιχα εύρη τιμών στο βάθος με λεπτομέρεια ανά 2 m.

Ακολουθώς παρουσιάζονται ενδεικτικά οι ισοβαθείς χάρτες κατανομής τεχνικογεωλογικών παραμέτρων για τις εξής παραμέτρους:

- δοκιμή πρότυπης διείδυσης – N_{SPT}
- αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη - q_u
- δείκτης πλαστικότητας – PI
- όριο υδαρότητας – LL
- περιεχόμενη υγρασία – w

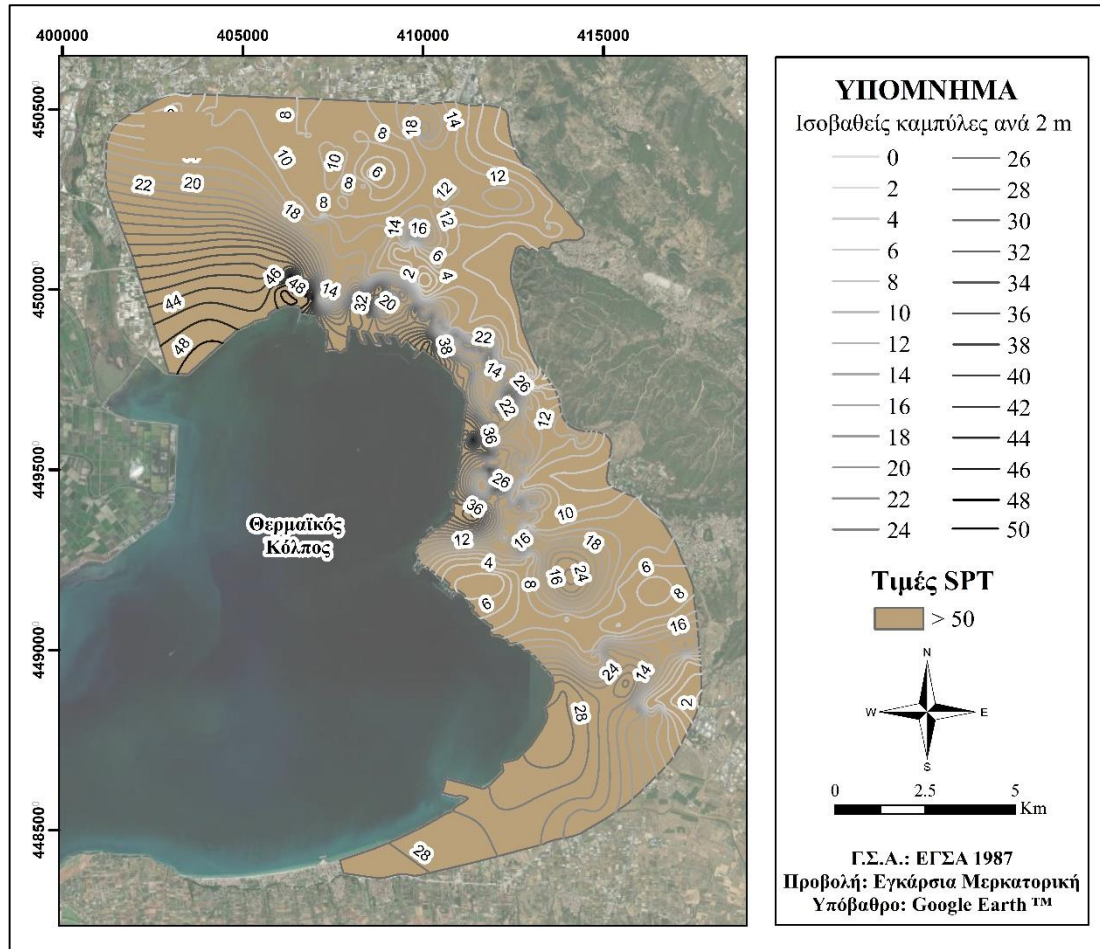
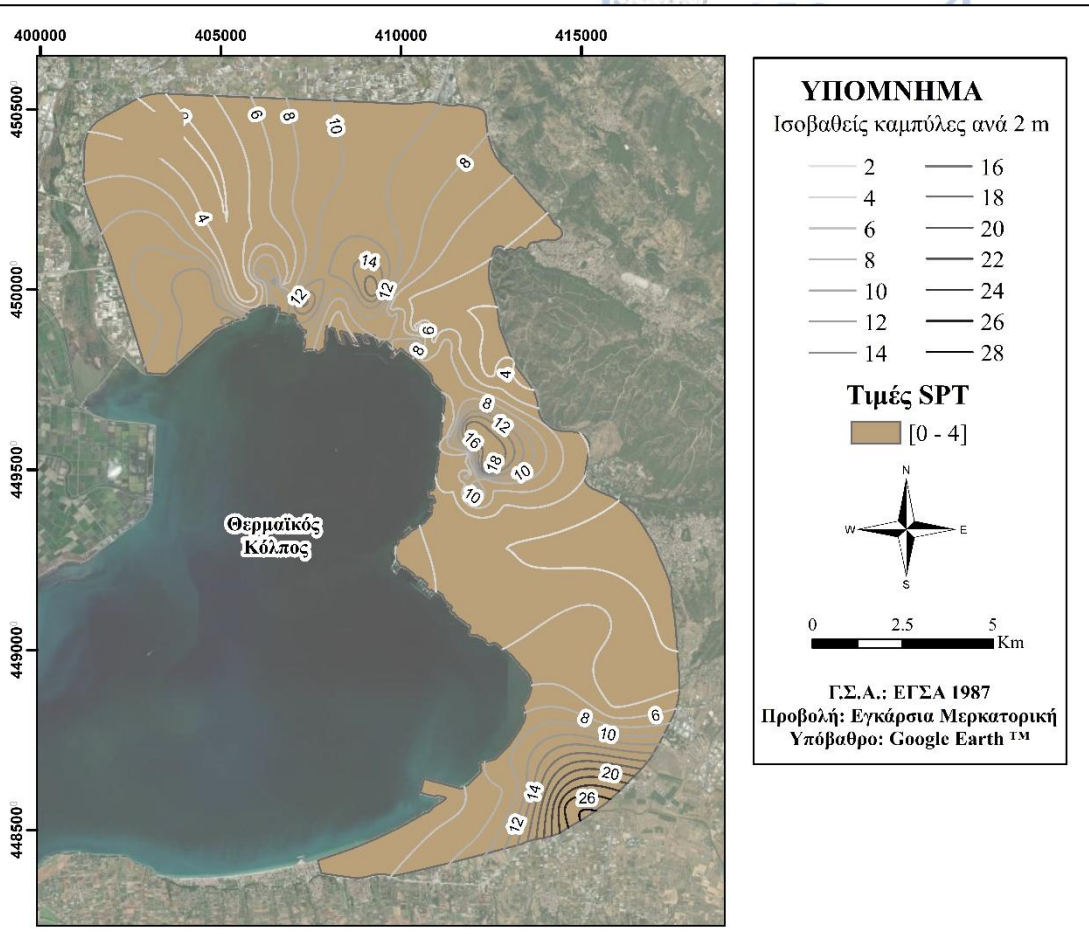
Στο Παράρτημα V παρουσιάζονται οι ισοβαθείς χάρτες κατανομής τεχνικογεωλογικών παραμέτρων για τις υπόλοιπες παραμέτρους:

- όριο πλαστικότητας – PL
- δείκτης συνεκτικότητας - I_c
- βαθμός κορεσμού – S
- υγρό φαινόμενο βάρος - γ_b
- ξηρό φαινόμενο βάρος - γ_d

Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (N_{SPT})

Σύμφωνα με τους ισοβαθείς χάρτες κατανομής των αποτελεσμάτων για τη δοκιμή πρότυπης διείσδυσης, παρατηρείται συνολικά μια σταδιακή αύξηση των τιμών με το βάθος. Πιο συγκεκριμένα, $0 \leq N_{SPT} \leq 4$ εντοπίζονται κατά κύριο λόγο σε βάθη μικρότερα των 15 m. Εξαίρεση αποτελεί η περιοχή ανατολικά του αεροδρομίου Μακεδονία της Θεσσαλονίκης, όπου σε μεγαλύτερα βάθη επικρατούν οι Τεταρτογενείς αποθέσεις που αποτελούνται από άργιλο - ιλυώδη άργιλο, χαμηλής έως μέσης συνεκτικότητας με μικρό ποσοστό άμμου ή ιλυώδους - αργιλώδους άμμου, μέσης πυκνότητας (Σχήμα 6.131α). Μεγαλύτερες τιμές N_{SPT} , χωρίς ωστόσο να ξεπερνούν την τιμή $N_{SPT} = 10$, παρατηρούνται μέχρι το βάθος των 30m (Παράρτημα V). $N_{SPT} = 10-30$ εντοπίζονται σε όλη την περιοχή έρευνας σε βάθη μικρότερα των 16 m, εκτός της περιοχής που βρίσκεται πλησίον του λιμανιού της Θεσσαλονίκης, όπου οι ισοβαθείς φθάνουν μέχρι τα 40 m (Παράρτημα V).

Στην ίδια περιοχή, αλλά σε ακόμη μεγαλύτερα βάθη, εντός των αποθέσεων αργιλικής σύστασης Τεταρτογενούς ηλικίας και των ερυθρών αργίλων επικρατούν τιμές $30 \leq N_{SPT} \leq 50$ (Παράρτημα V). Ακόμη, $N_{SPT} > 50$ εντοπίζονται σε μικρότερα βάθη (6-24 m) στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας λόγω της παρουσίας των Νεογενών αποθέσεων. Τέλος, κατά μήκος της ακτογραμμής και σε εύρος που κυμαίνεται από 500 m (π.χ. πλ. Ελευθερίας) έως 1000 m (π.χ. Makedonia Palace) προς την ενδοχώρα, οι αρνήσεις εμφανίζονται σε βάθη μεγαλύτερα των 12 m. Όσο αυξάνεται η απόσταση από το παραλιακό μέτωπο, οι αρνήσεις εντοπίζονται σε μικρότερα βάθη των 12 m, γεγονός που οφείλεται στη σταδιακή εμφάνιση των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας σ' αυτές τις περιοχές (Σχήμα 6.131β). Η προαναφερθείσα απόσταση από την ακτογραμμή συμπίπτει, σε μεγάλο βαθμό, με τη θέση της κύριας γραμμής του μετρώ Θεσσαλονίκης από όπου έχει ληφθεί και σημαντικό μέρος των δεδομένων για τα οποία γίνεται λόγος.

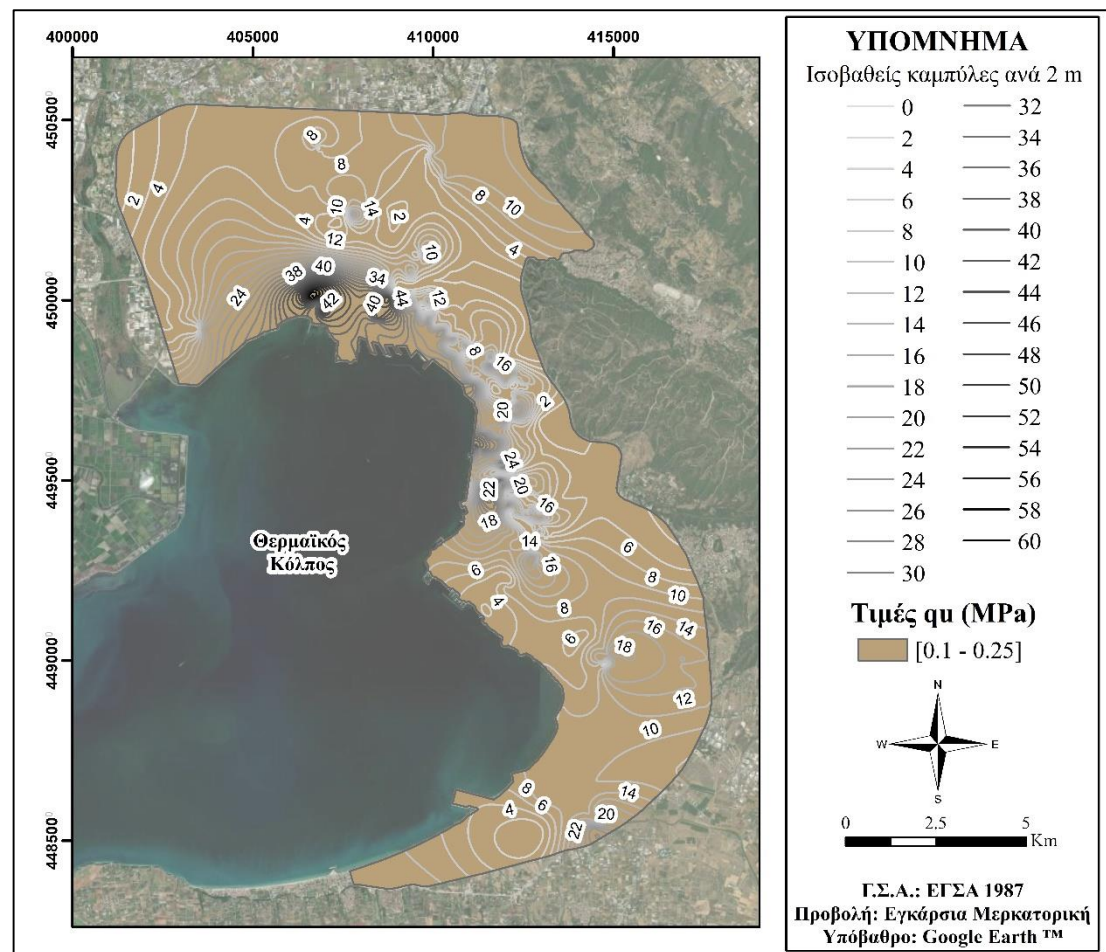
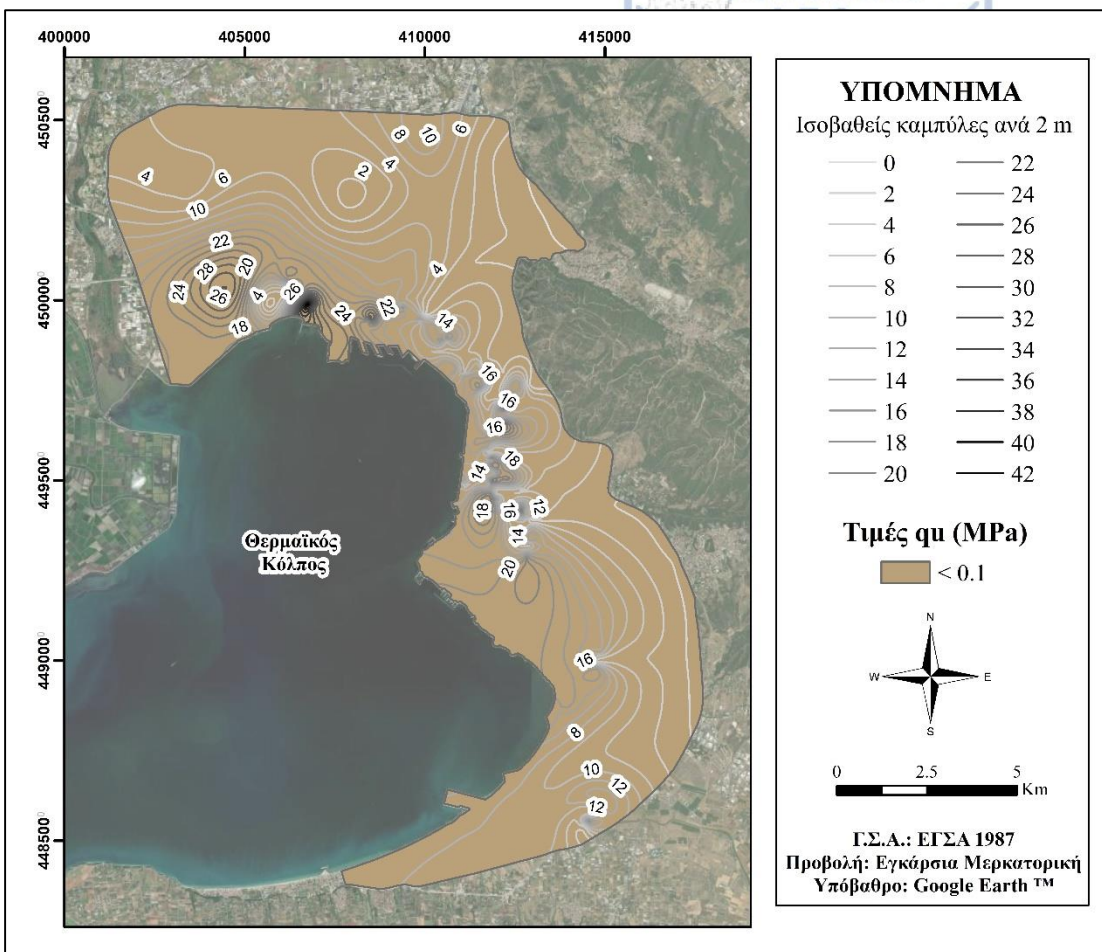


Σχήμα 6.131α.β: Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών δοκιμής πρότυπης διείδυσης (N_{SPT}) για $0 \leq N_{SPT} \leq 4$ (αριστερά) και $N_{SPT}=APN$ (δεξιά)

Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u)

Οι ισοβαθείς χάρτες κατανομής των τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς παρατηρούνται τιμές $q_u < 0.1\text{MPa}$ τόσο σε μικρά, όσο και σε μεγάλα βάθη. Αξιοπρόσεκτη είναι η περιοχή βόρεια των παλαιών σφαγείων, καθώς κι αυτή του Καλοχωρίου (Σχήμα 6.132α) όπου συναντώνται χαμηλές έως πολύ χαμηλές τιμές αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη σε βάθη μεγαλύτερα των 20m. Πρόκειται για αποτελέσματα δοκιμών που διενεργήθηκαν σε δείγματα αμμώδους αργίλου χαμηλής πλαστικότητας Νεογενούς ηλικίας, καθώς κι εντός χαλαρών αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας με επικράτηση των αμμωδών οριζόντων. Αντίστοιχες τιμές q_u παρατηρούνται σε μικρά βάθη (6m) σε δείγματα χαλαρών αποθέσεων, αποτελούμενων από ιλυώδη άμμο, οι οποίες εμφανίζουν μικρή επιφανειακή ανάπτυξη και καλύπτουν τις κοίτες ποταμών και χειμάρρων.

Στην ίδια περιοχή, σε μεγαλύτερα βάθη ($>24\text{m}$) επικρατούν τιμές $0.1 \leq q_u \leq 0.25\text{MPa}$ (Σχήμα 6.132β) σε δείγματα αργιλώδους-χαλικώδους άμμου, με λεπτές ενστρώσεις αμμώδους αργίλου χαμηλής πλαστικότητας. Ακόμη, αυτές οι τιμές εντοπίζονται και σε βάθη μικρότερα των 8 m στην περιοχή του αεροδρομίου, της Αρετσού-Κρήνης και της Αμερικάνικης γεωργικής σχολής εντός δειγμάτων ιλυώδους μαργαϊκής αργίλου και πολύ πυκνής ιλυώδους-αργιλώδους άμμου. Τέλος, για τη δημιουργία των ισοβαθών χαρτών κατανομής τιμών $0.25 < q_u \leq 1\text{MPa}$ (Παράρτημα V) χρησιμοποιήθηκε περιορισμένος αριθμός δεδομένων που εντοπίζεται κατά βάση στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας. Επομένως, οι ισοβαθείς που εμφανίζονται, στο ανατολικό και δυτικό άκρο αντίστοιχα, δεν θεωρούνται αντιπροσωπευτικές.

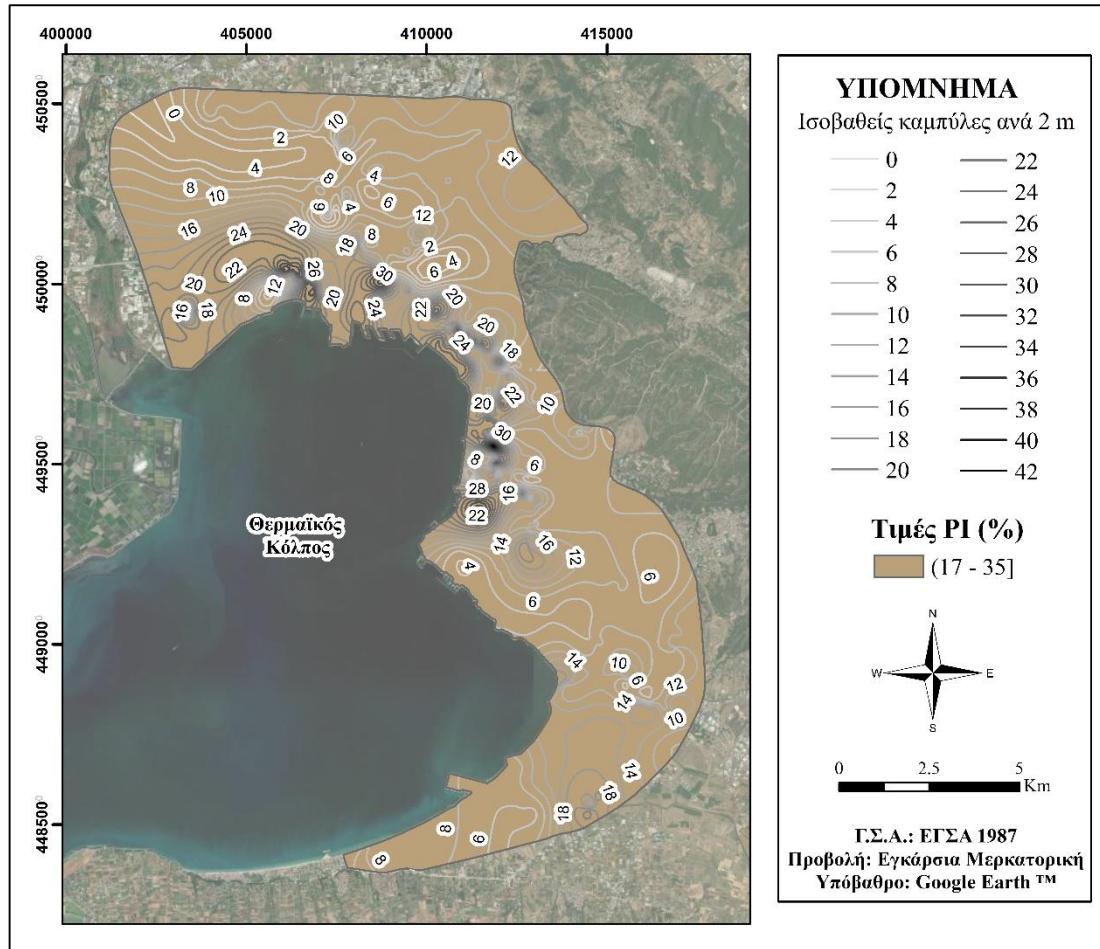
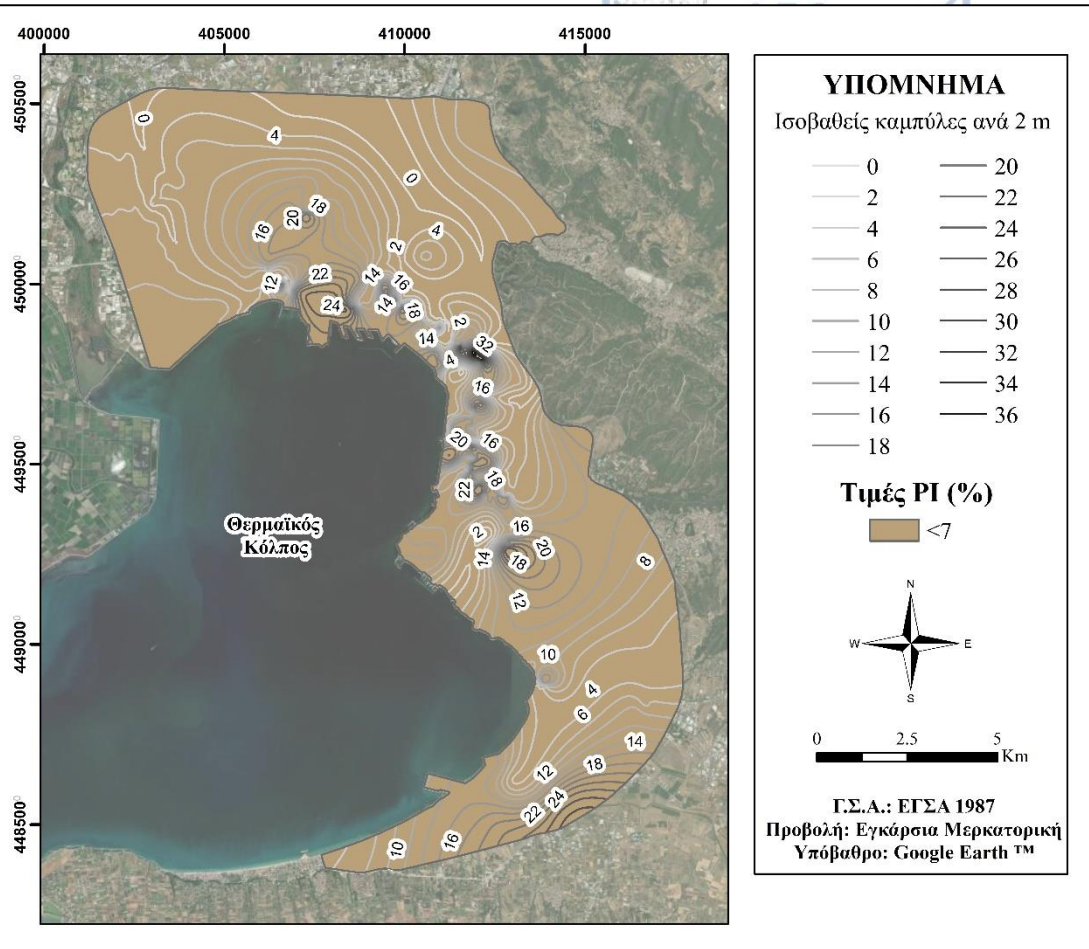


Σχήμα 6.132α.β: Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) για $q_u < 0.1\text{MPa}$ (αριστερά) και $0.1 \leq q_u \leq 0.25\text{MPa}$ (δεξιά)

Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI)

Σύμφωνα με τους ισοβαθείς χάρτες κατανομής των αποτελεσμάτων του δείκτη πλαστικότητας, τιμές $PI < 7\%$ και $PI > 35\%$ συναντώνται κατά κύριο λόγο μέχρι το βάθος των 40m, ενώ τιμές $7 \leq PI \leq 35\%$ ξεπερνούν κατά πολύ το συγκεκριμένο βάθος φθάνοντας το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων (~60m). Πιο συγκεκριμένα, τιμές $PI < 7\%$ εντοπίζονται κατά κύριο λόγο σε βάθη μικρότερα των 20m (Σχήμα 6.133α). Ωστόσο, παρατηρούνται και σε μεγαλύτερα βάθη από αποτελέσματα σε δείγματα μέτριας πυκνής έως πολύ πυκνής αργιλώδους/ιλυώδους άμμου με χάλικες στις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας (περιοχή αεροδρομίου, Ν.Σ.Σ. και Παλαιά Σφαγεία) αλλά κι εντός Νεογενών αποθέσεων (περιοχή Βούλγαρης και πλησίον Πολυτεχνικής Σχολής Α.Π.Θ.). Στις ίδιες περιοχές και σε μεγαλύτερα βάθη συναντώνται τιμές $7 \leq PI \leq 17\%$ (Παράρτημα V).

Σχετικά με τις τιμές $17 < PI \leq 35\%$ εντοπίζονται σε όλη την περιοχή έρευνας σε βάθη μικρότερα των 22m, εκτός από δύο περιοχές στη Δελφών (πλησίον του Νοσοκομείο Αφροδισίων και Δερματικών Νόσων) και στη Μοναστηρίου (πλησίον One Salonica Mall) όπου οι ισοβαθείς φθάνουν μέχρι τα 42m (Σχήμα 6.133β). Τα αποτελέσματα των δοκιμών σ' αυτές τα περιπτώσεις διενεργήθηκαν σε δείγματα στιφρής αμμώδους αργίλου χαμηλής έως μέση πλαστικότητας, με κατά θέσεις ενστρώσεις πυκνής αργιλώδους-ιλυώδους άμμου, με κυμαινόμενο ποσοστό χαλίκων Τεταρτογενούς ηλικίας. Ακόμη, τιμές $PI > 35\%$ παρατηρούνται μέχρι τα 38m, χωρίς ωστόσο να δίνονται πολλές λεπτομέρειες ως προς την κατανομή των ισοβαθών στο βόρειο, βορειοδυτικό κι ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας λόγω απουσίας δεδομένων (Παράρτημα V).



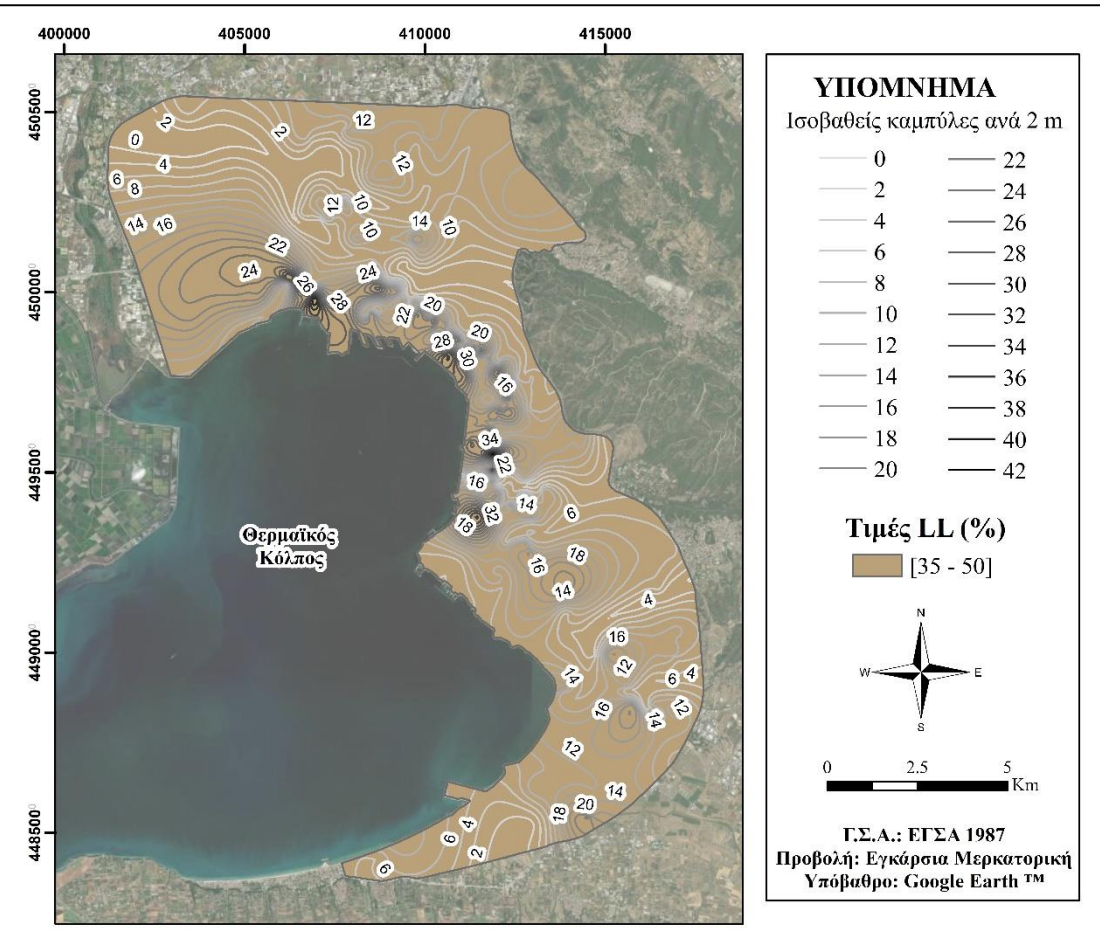
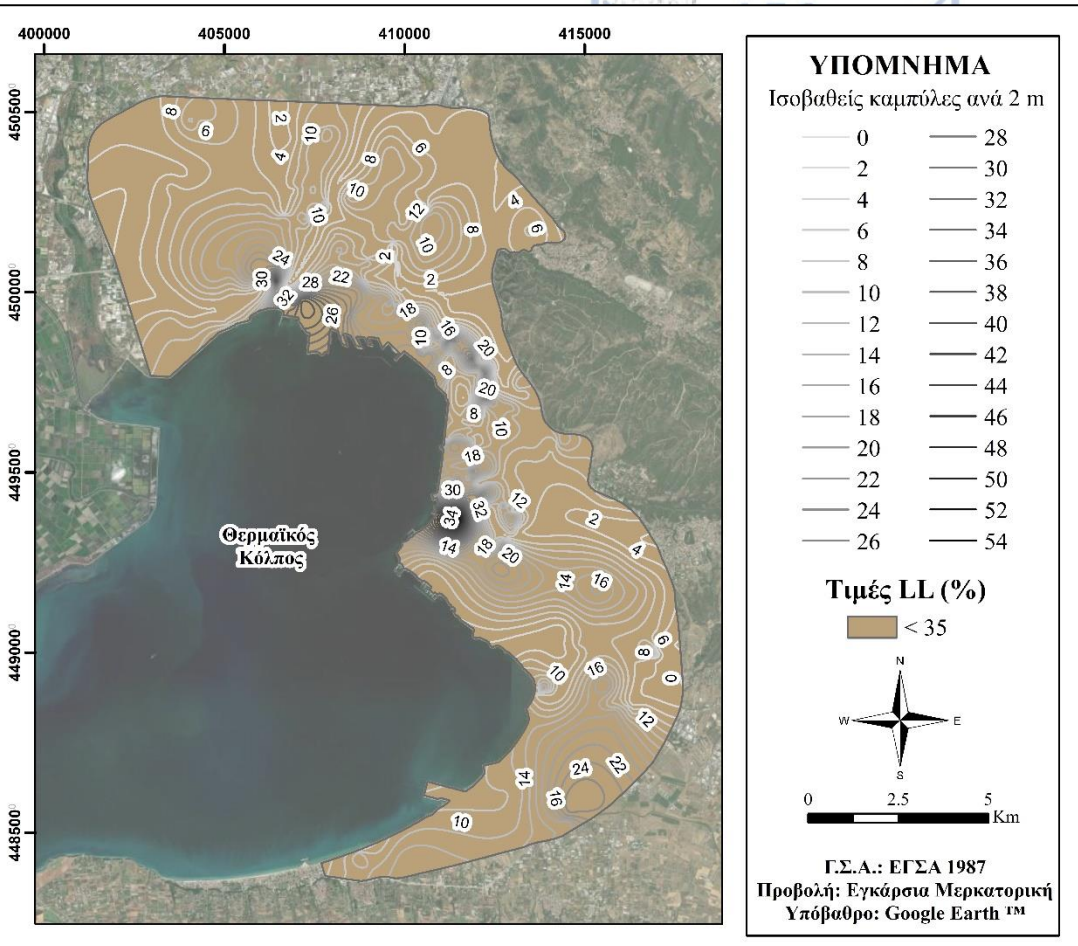
Σχήμα 6.133α.β: Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών δείκτη πλαστικότητας (PI) για $PI < 7\%$ (αριστερά) και $17 < PI \leq 35\%$ (δεξιά)

Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL)

Σύμφωνα με τους ισοβαθείς χάρτες κατανομής των αποτελεσμάτων για το όριο υδαρότητας, εντοπίζονται κατά κύριο λόγο τιμές $LL < 35\%$ κυρίως σε βάθη μικρότερα των 35m εντός τεχνητών επιχώσεων και σε σχηματισμούς Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας όπου επικρατούν χονδρόκοκκα υλικά. Βέβαια οι τιμές αυτές συναντώνται και σε μεγαλύτερα βάθη στην περιοχή των σφαγείων στα δυτικά και στη Σοφούλη, ανατολικά του Μεγάρου Μουσικής, στο ύψος της Βασ. Όλγας (Σχήμα 134α). Οι συγκεκριμένες τιμές εντοπίζονται σε μεγάλα βάθη εντός της «ψαμμιτομαργαϊκής σειράς» Νεογενών αποθέσεων.

Μεγαλύτερες τιμές, χωρίς ωστόσο να ξεπερνούν την τιμή $LL = 50\%$, παρατηρούνται μέχρι το βάθος των 40m (Σχήμα 134β) κατά κύριο λόγο εντός καθαρών αργίλων και ιλύων ή σε προσμίξεις με άμμο και χαλίκια, των Τεταρογενών αποθέσεων και της «σειράς ερυθρών αργίλων». Στην «ψαμμιτομαργαϊκή σειρά» παρατηρούνται τιμές $35 \leq LL \leq 50\%$ τόσο σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα εδάφη, όσο και σε σχηματισμούς όπως ο αργιλόλιθος και η μάργα, στις περιοχές Βούλγαρη, Ντεπώ και Νέα Ελβετία στα ανατολικά της περιοχής έρευνας.

Τέλος, τιμές $50 < LL \leq 70\%$ (Παράρτημα V) και $70 < LL \leq 90\%$ (Παράρτημα V) παρατηρούνται αποκλειστικά μέχρι το βάθος των 30m εντός των λεπτόκοκκων Τεταρτογενών αποθέσεων. Σε μεγαλύτερα βάθη εντοπίζονται σε δείγματα στιφρών έως πολύ στιφρών αργίλων Νεογενούς ηλικίας. Και στους δύο χάρτες παρατηρείται έλλειψη δεδομένων στο βόρειο και βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας όπου η κατανομή των ισοβαθών θεωρείται τυχαία.



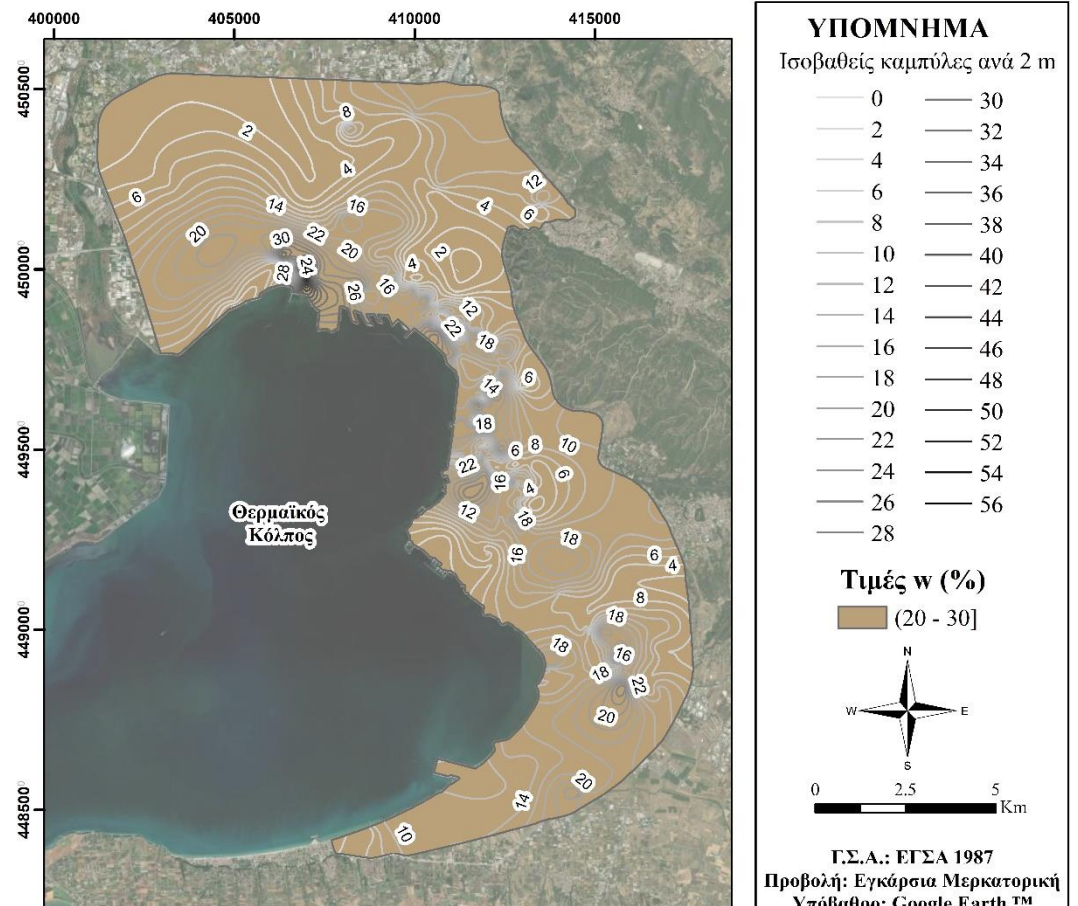
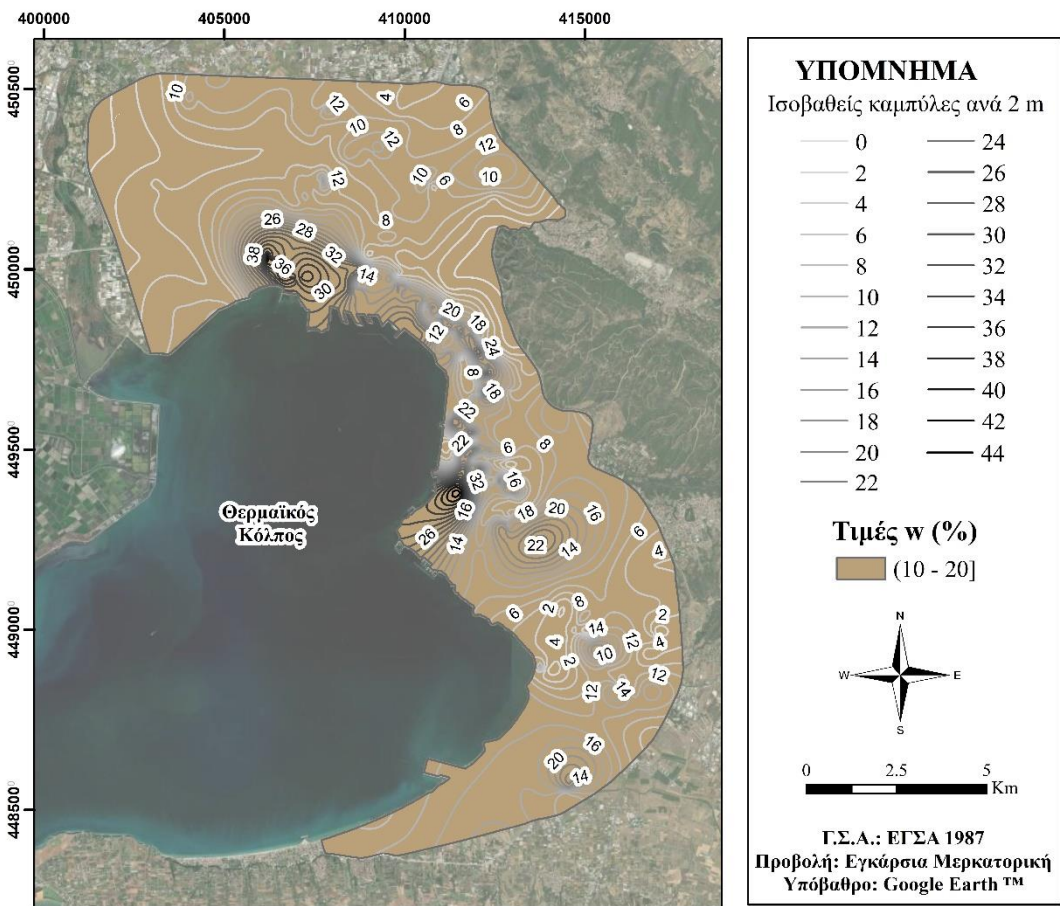
Σχήμα 6.134α.β: Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών ορίου υδαρότητας (LL) για LL < 35% (αριστερά) και $35 \leq LL \leq 50\%$ (δεξιά).

Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w)

Σύμφωνα με τους ισοβαθείς χάρτες κατανομής των αποτελεσμάτων για τη φυσική υγρασία, τιμές $w=0-10\%$ (Παράρτημα V) εντοπίζονται μέχρι τα 40 m. Τιμές $w=10-30\%$ εντοπίζονται τόσο σε μικρά, όσο και σε μεγάλα βάθη. Πιο συγκεκριμένα, τιμές $w=10-20\%$ (Σχήμα 6.135α) εμφανίζονται μέχρι το βάθος των 22m στην περιοχή αεροδρομίου, Βότση, Ευαγγελίστριας και ιστορικού κέντρου. Σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρούνται τόσο εντός λεπτόκοκκων, όσο κι εντός αδρόκοκκων υλικών Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας στην Καλαμαριά και στην ευρύτερη περιοχή του παλιού λιμένα. Στις υπόλοιπες περιοχές (Εύοσμος, Σταυρούπολη, Πολίχνη και Ευκαρπία) οι ισοβαθείς δεν ξεπερνούν τα 12m.

Με βάση το σχήμα 6.135β, σχεδόν σ' ολόκληρη την περιοχή έρευνας παρατηρούνται τιμές $w=20-30\%$ μέχρι το βάθος των 25m. Εξάιρεση αποτελούν δύο περιοχές, η μία στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης και η άλλη δυτικά αυτού, όπου οι συγκεκριμένες τιμές εντοπίζονται μέχρι το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων. Εκεί κυριαρχούν τα αργιλικά υλικά Τεταρτογενούς ηλικίας με ενδιαστρώσεις άμμου, και με οργανικά, καθώς και η «σειρά ερυθρών αργίλων» με έντονη παρουσία λεπτόκοκκων υλικών. Τέλος, τιμές $w=30-40\%$ (Παράρτημα V) εντοπίζονται μέχρι τα 40 m. Τιμές $w>40\%$ (Παράρτημα V) εμφανίζονται κατά βάση σε ιλυώδεις άμμους έως ιλύες με οργανικά στις τεχνητές επιχώσεις κατά μήκος του παραλιακού μετώπου από το Makedonia Palace μέχρι το Μέγαρο Μουσικής. Αντίστοιχα, μεγάλες τιμές παρατηρούνται μέχρι το βάθος των 28m:

- σε λεπτόκοκκα Τεταρτογενή υλικά στο Καλοχώρι και δυτικά των παλαιών σφαγείων
- κι εντός αμμώδους ιλύος έως ιλυώδους άμμου στις περιοχές Αγία Τριάδα, Νέα Ελβετία και Βότση, όπου συναντάται η «ψαμμιτομαργαϊκή σειρά» Νεογενών αποθέσεων.



Σχήμα 6.135α.β: Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών περιεχόμενης υγρασίας (w) για $10 < w \leq 20\%$ (αριστερά) και $20 < w \leq 30\%$ (δεξιά)

Συνδυάζοντας την τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση με γεωτεχνικά δεδομένα, είναι ικανή η δημιουργία μοντέλων στα οποία προβάλλεται η στρωματογραφία της περιοχής, καθώς και η χωρική κατανομή και διακύμανση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των εξεταζόμενων γεωλογικών σχηματισμών. Πολυάριθμες είναι οι έρευνες που αναδεικνύουν αυτή τη δυναμική με τη δημιουργία γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών μοντέλων, αλλά και την κατασκευή μηκοτομών, διαγραμμάτων φράχτη (fence diagrams) και τρισδιάστατων επιφανειών (de Rienzo et al., 2008; Gallerini and Donatis, 2009; Gunninck et al., 2013; Tame et al., 2013; Zhu et al., 2013; Touch et al., 2014; Mathers et al., 2014; Kessler et al., 2009; Orhan and Tosun, 2010; He et al., 2020, 2023; Petrone et al., 2023). Αρκετοί είναι οι ερευνητές που ασχολούνται με τη δημιουργία γεωλογικών μοντέλων και την ενσωμάτωση τεχνικογεωλογικών δεδομένων εστιάζοντας σε συγκεκριμένες εφαρμογές και τεχνικά έργα (Culshaw, 2005; Hack et al., 2006; Choi et al., 2009; de Rienzo et al., 2009; Dong et al., 2015; Dou et al., 2021; Baynes and Parry, 2022).

Ταυτόχρονα, καθίσταται όλο και πιο αναγκαία η μοντελοποίηση της αβεβαιότητας και η εκτίμηση των γεωκινδύνων σε επίπεδο αστικής γεωλογίας. Για παράδειγμα, οι Kearsley et al. (2018) διερεύνησαν τις εξαιρετικά μεταβλητές επιφανειακές αποθέσεις στην περιοχή της Γλασκώβης, η οποία χαρακτηρίζεται από βαριά βιομηχανία και μεταλλευτική-λατομική δραστηριότητα. Οι Stafleu et al. (2011) δημιούργησαν ένα τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο του υπεδάφους της Ζηλανδίας, επαρχία της Ολλανδίας, προκειμένου να απαντήσουν σε ερωτήματα σχετικά με τη διαχείριση των υπόγειων υδάτων και να εκτιμήσουν θέματα καθιζήσεων και ευστάθειας υποδομών. Ερευνητές από το British Geological Survey (Culshaw et al., 2005; Ford et al., 2008; Royse et al., 2009; Aldiss et al., 2012; Burke et al., 2014) ανέπτυξαν μια σειρά τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων του Λονδίνου και της περιοχής γύρω από τις εκβολές του Τάμεση. Ακόμη, οι Hou et al. (2016) παρουσίασαν ένα τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο εστιάζοντας στην κατανομή των υπόγειων συνθηκών της πόλης Foshan στην Κίνα, αξιολογώντας παράλληλα την ποιότητα των γεωτεχνικών ιδιοτήτων της περιοχής. Οι Ye et al. (2016) ανέπτυξαν ένα αριθμητικό μοντέλο καθίζησης του εδάφους στη Σαγκάη, χρησιμοποιώντας τρισδιάστατα δεδομένα ροής υπόγειων υδάτων και μετατοπίσεων του υδροφόρου συστήματος. Στη Γαλλία, οι Thierry et al. (2009) ανέπτυξαν ένα τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο της πόλης του Παρισιού ώστε να διερευνηθεί η ευαισθησία σε μετακινήσεις του εδάφους λόγω διάλυσης της γύψου. Τέλος, οι Høyer et al. (2019) ανέπτυξαν ένα τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο που περιβάλλει έναν πρώην Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (XYTA) με σκοπό την εκτίμηση

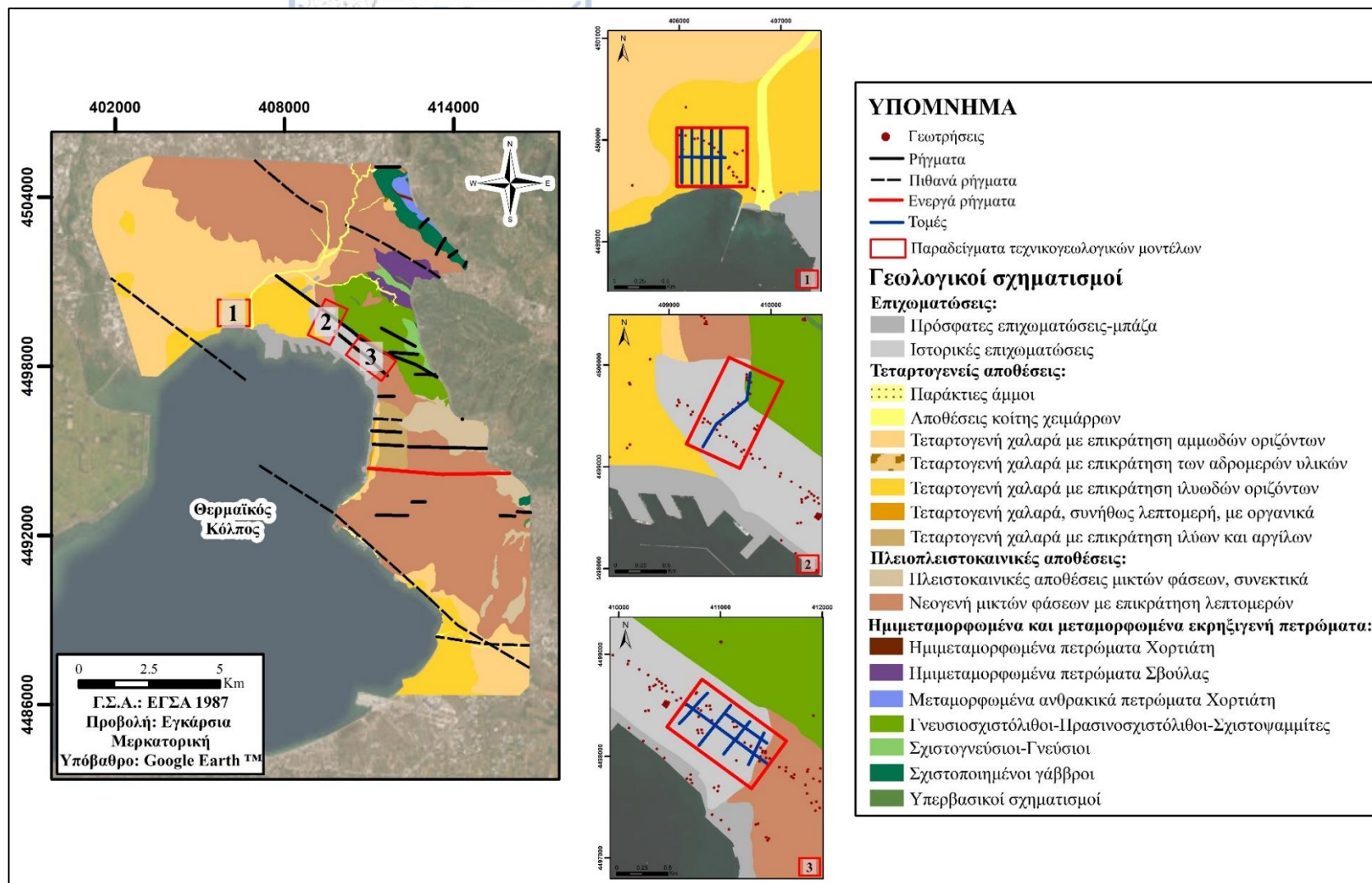
6.7.2 Παραδείγματα τεχνικογεωλογικών μοντέλων

Αναφορικά με την περιοχή έρευνας της παρούσας διατριβής, επιλέχθηκαν οι περιοχές του σχήματος 6.136 με σκοπό την κατασκευή τρισδιάστατων τεχνικογεωλογικών μοντέλων. Για κάθε ένα μοντέλο χρησιμοποιείται μια παράμετρος, ούτως ώστε να προβληθεί η χωρική μεταβλητότητα καθώς και οι διακυμάνσεις των τιμών που παρατηρούνται εντός των διαφορετικών σχηματισμών. Ταυτόχρονα δημιουργούνται διαγράμματα στατιστικών κατανομών όπου παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα εμφάνισης για τα διάφορα εύρη τιμών.

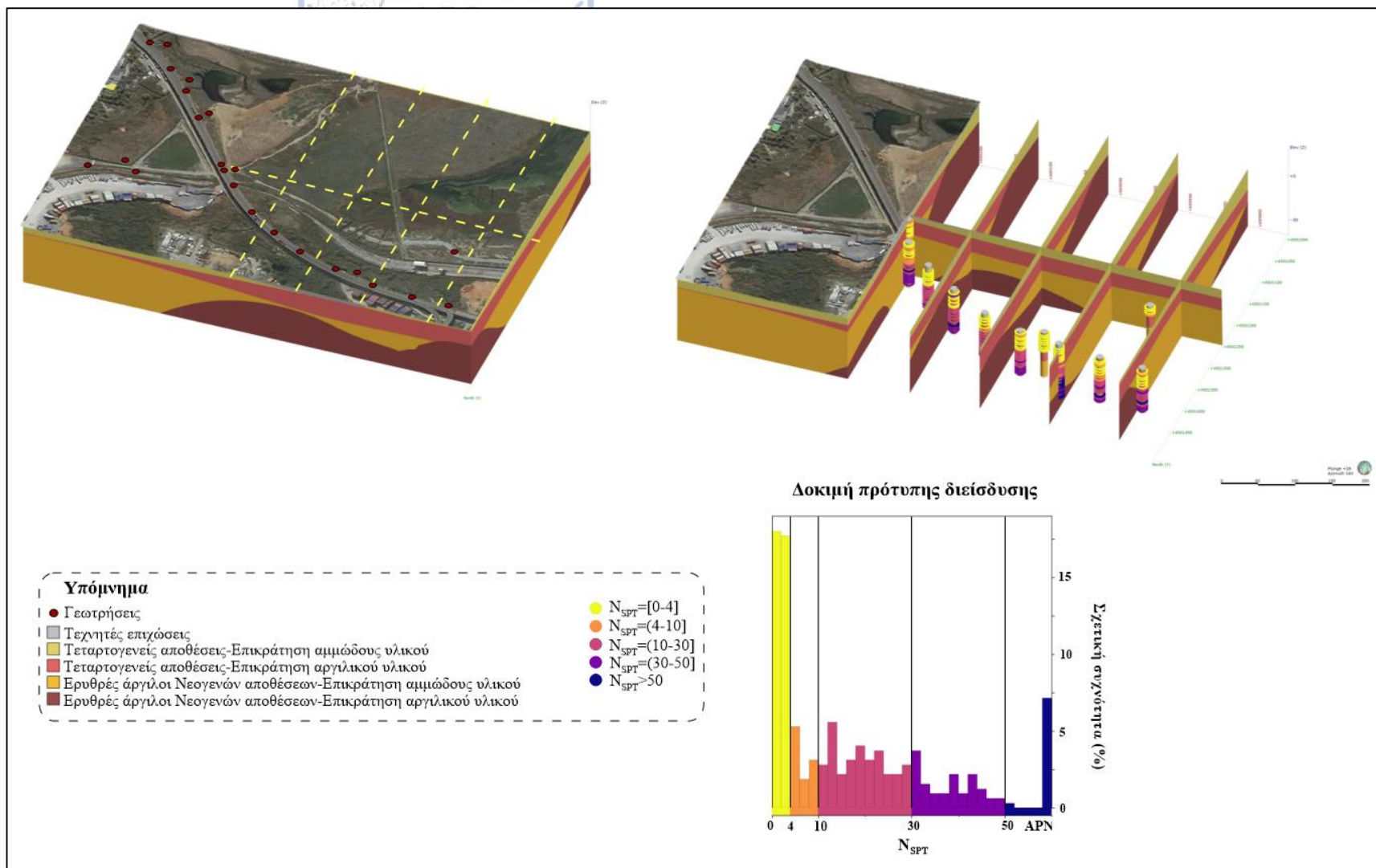
Τεχνικογεωλογικό μοντέλο περιοχής 1

Το τεχνικογεωλογικό μοντέλο του σχήματος 6.137 αντιστοιχεί στην «περιοχή 1» (σχήμα 6.136). Κατά μήκος των γεωτρήσεων προβάλλονται οι τιμές SPT, οι οποίες σχηματίζονται από μια σειρά επικαλυπτόμενων χρωματιστών δίσκων που εμφανίζονται ανάλογα με το βήμα δειγματοληψίας (ανά 2-3 m.), των οποίων το χρώμα αντιπροσωπεύει το εύρος τιμών που περιγράφεται στο υπόμνημα. Οι τιμές αναπαρίστανται γραφικά με χρωματικές κλίμακες που κυμαίνονται από τα «θερμά» χρώματα (με τάση προς το κίτρινο), ως αντιπροσωπευτικά των χαμηλότερων τιμών, έως τα «ψυχρά» χρώματα (με τάση προς το μπλε), ως αντιπροσωπευτικά των υψηλότερων τιμών.

Γενικά, στα μικρότερα βάθη όπου επικρατούν οι τεχνητές επιχώσεις και οι Τεταρτογενείς αποθέσεις εμφανίζονται μικρότερες τιμές SPT. Αντίθετα, σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρείται συνολικά βελτίωση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων, με υψηλότερες τιμές SPT, λόγω της εναλλαγής των εδαφικών οριζόντων οι οποίοι μεταπίπτουν στις Νεογενείς αποθέσεις. Συγκεκριμένα, στις τεχνητές επιχώσεις οι τιμές SPT δεν ξεπερνούν το 4. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι εντός των Τεταρτογενών αποθέσεων παρατηρείται διακύμανση τιμών με τα αμμώδη υλικά να εμφανίζουν $N_{SPT} < 10$ και τα αργιλικά $N_{SPT} < 30$. Ως προς τις Νεογενείς αποθέσεις είναι σαφής η επικράτηση μεγαλύτερων τιμών ($N_{SPT} > 30$), με τις αρνήσεις να παρατηρούνται κατά βάση στα μεγαλύτερα βάθη (σκούρα μπλε απόχρωση).



Σχήμα 6.136: Τεχνικογεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας με τις 3 περιοχές για τις οποίες δημιουργούνται 3D τεχνικογεωλογικά μοντέλα στο Leapfrog Works

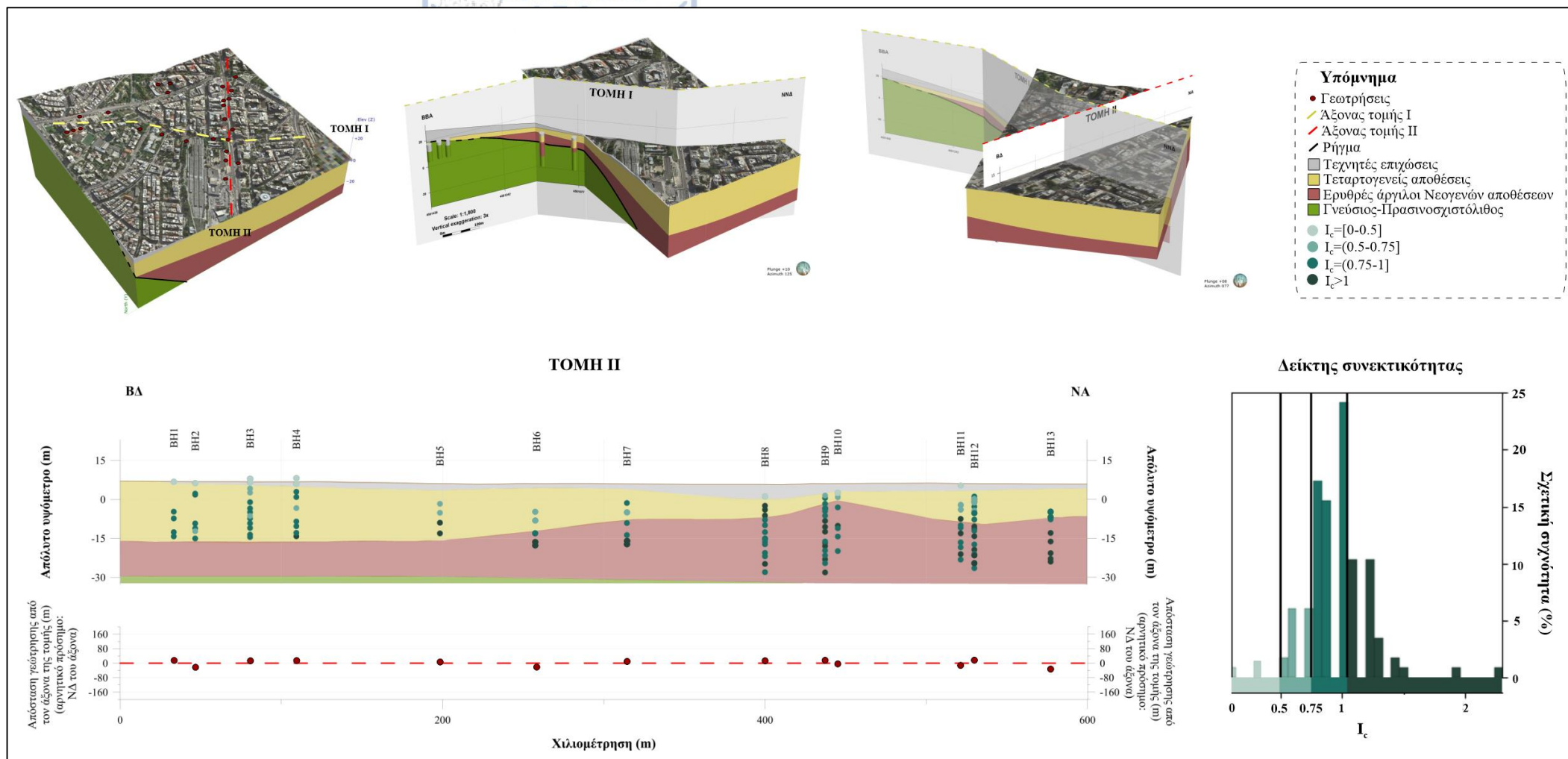


Σχήμα 6.137: Τρισδιάστατο τεχνικογεωλογικό μοντέλο «περιοχής 1» (βλ. σχήμα 6.136)

Τεχνικογεωλογικό μοντέλο περιοχής 2

Για την κατασκευή του δεύτερου τεχνικογεωλογικού μοντέλου της «περιοχής 2» του σχήματος 6.136 χρησιμοποιούνται δεδομένα του δείκτη συνεκτικότητας. Κατά μήκος της τομής II, στις θέσεις των γεωτρήσεων προβάλλονται οι τιμές I_c οι οποίες αναπαρίστανται με χρωματική διαβάθμιση που κυμαίνεται από τα ανοιχτόχρωμα χρώματα (χαμηλότερες τιμές), έως τα σκουρόχρωμα χρώματα (υψηλότερες τιμές).

Σύμφωνα με το σχήμα 6.138, για τη δημιουργία του τεχνικογεωλογικού μοντέλου χρησιμοποιούνται δεδομένα από 13 γεωτρήσεις οι οποίες βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τον άξονα της τομής II. Από τις τιμές που προβάλλονται, παρατηρείται σαφής επικράτηση των τιμών $0.75 < I_c \leq 1$ σε ποσοστό της τάξης του 56.9%. Πρόκειται για τιμές που εμφανίζονται κατά κύριο λόγο εντός των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας, όπου παρατηρείται επίσης επικράτηση τιμών μεγαλύτερες από τη μονάδα χαρακτηρίζοντας το συγκεκριμένο εδαφικό σχηματισμό ως ημίσκληρο-σκληρό. Σχετικά με τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, η εικόνα δεν είναι τόσο ξεκάθαρη, καθώς το εύρος των τιμών που παρατηρείται είναι μεγάλο. Ενδεικτικά αναφέρονται χαμηλότερες τιμές που εμφανίζονται σε μικρότερα βάθη ($I_c \leq 0.5$), πολύ κοντά στην επαφή με τις τεχνητές επιχώσεις, χαρακτηρίζοντας το έδαφος ως μαλακό. Σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρούνται στιφρά έως σκληρά εδάφη, με τιμές $0.5 < I_c \leq 1$, χωρίς ωστόσο να παρατηρείται ευδιάκριτη σταδιακή μετάπτωση από τις χαμηλότερες στις υψηλότερες τιμές. Τέλος, εντός των τεχνητών επιχώσεων, παρατηρούνται μόνο χαμηλές τιμές, στο σύνολο τους μικρότερες του 0.5.

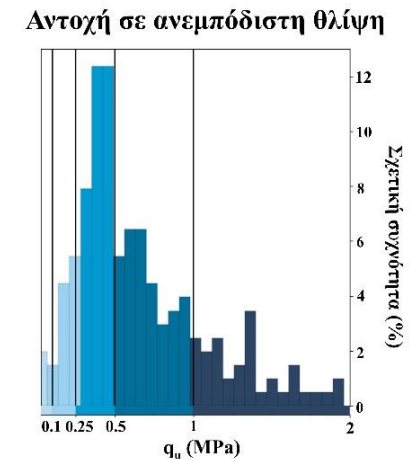
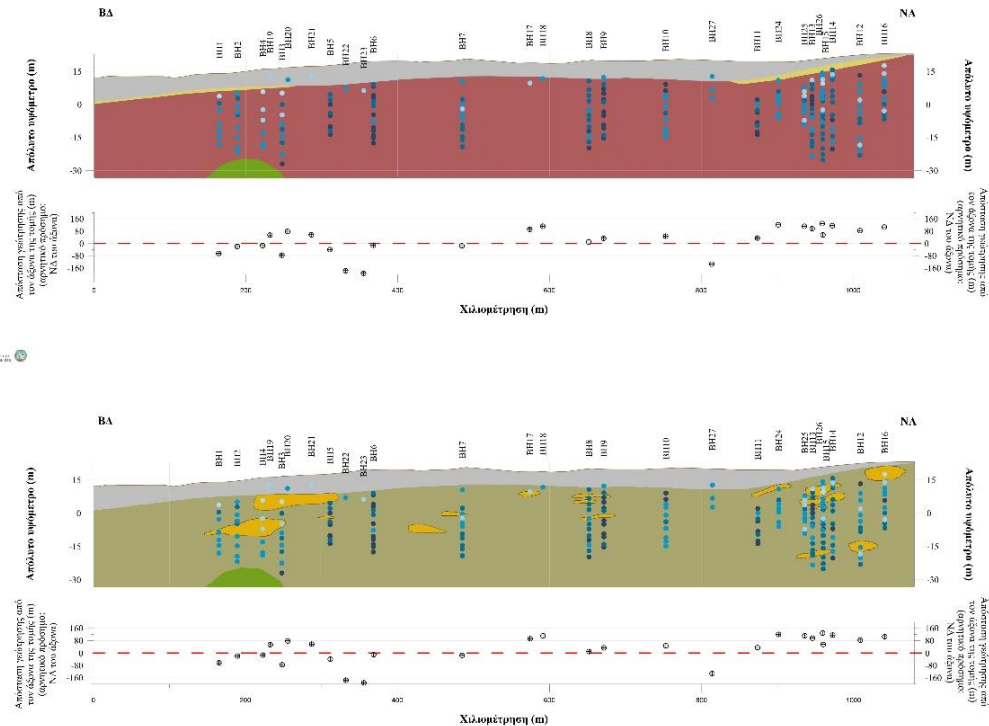
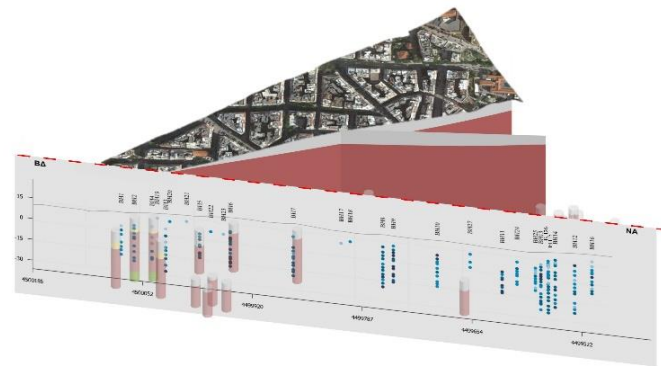


Σχήμα 6.138: Τρισδιάστατο τεχνικογεωλογικό μοντέλο «περιοχής 2» (βλ. σχήμα 6.136)

Τεχνικογεωλογικό μοντέλο περιοχής 3

Η «περιοχή 3» του σχήματος 6.136 επιλέγεται με σκοπό την κατασκευή του τρίτου τεχνικογεωλογικού μοντέλου στο οποίο προβάλλονται οι τιμές της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (σχήμα 6.139). Οι τιμές q_u αναπαρίστανται με χρωματική διαβάθμιση που κυμαίνεται από τα ανοικτόχρωμα χρώματα (χαμηλότερες τιμές), έως τα σκουρόχρωμα χρώματα (υψηλότερες τιμές) και προβάλλονται στις θέσεις των γεωτρήσεων, όπου είναι διαθέσιμα τα δεδομένα. Οι δύο μηκοτομές που παρουσιάζονται αντιστοιχούν στην ίδια διεύθυνση. Ωστόσο, στην επάνω τομή προβάλλονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί σύμφωνα με το «fence diagram», ενώ στην από κάτω παρουσιάζεται η επικράτηση του αργιλικού υλικού, έναντι του αμμώδους τόσο εντός των Τεταρτογενών αποθέσεων όσο και μέσα στα ιζήματα Νεογενούς ηλικίας.

Από το διάγραμμα κατανομής των τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη προκύπτει η σαφής επικράτηση τιμών $0.25 < q_u \leq 0.5$ MPa που εμφανίζονται κυρίως εντός των λεπτόκοκκων υλικών στις ερυθρές αργίλους Νεογενών αποθέσεων. Τιμές $q_u \leq 0.25$ MPa συναντώνται εντός των τεχνητών επιχώσεων, καθώς και στις θέσεις όπου επικρατούν τα αμμώδη υλικά των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας. Εντός των αδρόκοκκων υλικών του ΝΑ τμήματος της τομής παρατηρούνται και κάποιες μεγαλύτερες τιμές, χωρίς ωστόσο να ξεπερνούν τη μονάδα. Τέλος, ποσοστό της τάξης του 19.8% αντιστοιχεί σε τιμές $q_u > 1$ MPa και εντοπίζεται εξ ολοκλήρου εντός των αργιλικών υλικών προσδίδοντάς τους ιδιαίτερα υψηλές αντοχές. Γενικά, η εικόνα που παρατηρείται ως προς τη διακύμανση των τιμών με το βάθος δεν είναι σαφής, και η κατανομή θεωρείται ακανόνιστη.



Σχήμα 6.139: Τρισδιάστατο τεχνικογεωλογικό μοντέλο «περιοχής 3» (βλ. σχήμα 6.136)

7. Εφαρμογές τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων

7.1 Γενικά

Η βάση δεδομένων που αναπτύσσεται στην παρούσα έρευνα αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέσο αποθήκευσης και κυρίως διαχείρισης της γεωλογικής και τεχνικογεωλογικής πληροφορίας με σκοπό την ανάδειξη και ανάπτυξη πλήθους δυνατοτήτων προσανατολισμένες στον ασφαλή σχεδιασμό τεχνικών έργων και στην προστασία των αστικών περιοχών από γεωκινδύνους. Ακολούθως, αναπτύσσεται συνοπτικά το πλήθος των χρήσεων της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων που σχετίζονται με:

- τα στάδια προμελέτης σημαντικών έργων υποδομής στο πλαίσιο του ασφαλούς αστικού σχεδιασμού
- τον προσδιορισμό των επιτόπου συνθηκών για την ανάπτυξη έργων υποδομής
- τον καθορισμό κατάλληλων τύπων θεμελίωσης με βάση τις γεωλογικές, τεχνικογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες
- την ανάλυση ευστάθειας πρανών και την πρόταση μέτρων αντιστήριξης
- την αξιολόγηση των γεωλογικών συνθηκών για υπόγειες κατασκευές και η επιλογή της βέλτιστης μεθόδου διάνοιξης αστικών σηράγγων
- την απομείωση της γεωλογικής αβεβαιότητας και την αντιμετώπιση προκλήσεων που σχετίζονται μ' αυτή
- τον προσδιορισμό ζωνών υψηλής γεωλογικής επικινδυνότητας
- την ανάπτυξη στρατηγικών που σχετίζονται με ζητήματα πολιτικής προστασίας
- τη διαχείριση κρίσεων σε επίπεδο ετοιμότητας και προστασίας της περιοχής έρευνας από τους αστικούς γεωκινδύνους
- την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας προτείνεται η ανάπτυξη ενός συνόλου συγκεκριμένων εφαρμογών της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων που αναλύονται στις ακόλουθες παραγράφους έχουν σκοπό:

- i. Να αποδώσουν εύρη τιμών ιδιοτήτων σε συνάρτηση με το βάθος σε συγκεκριμένες περιοχές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά το αρχικό στάδιο προγραμματισμού τεχνικών έργων.
- ii. Να παραθέσουν πληροφορίες σχετικά με τη χωρική κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών και την ετερογένεια που παρουσιάζουν στην επιφάνεια και στο βάθος

- iii. Να διερευνήσουν τον τρόπο με τον οποίο η τεχνικογεωλογική έρευνα συμβάλλει στη διασφάλιση της ασφάλειας κατά τον σχεδιασμό των αστικών έργων υποδομής, όπως τα κτίρια, οι δρόμοι και τα υπόγεια έργα
- iv. Να προτείνουν βέλτιστες μεθόδους και πρακτικές ώστε να ανασχεθεί ή/και να μειωθεί ο κίνδυνος αστοχίας
- v. Να αναδείξουν την ανάγκη για περαιτέρω διενέργεια γεωτεχνικών ερευνών με σκοπό την ασφαλή κατασκευή των τεχνικών έργων στο αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης
- vi. Να προσδιορίσουν τους πιθανούς γεωκινδύνους (όπως οι καθιζήσεις και η ρευστοποίηση) που συνδέονται με την αστική ανάπτυξη
- vii. Να τονίσουν τη σημασία και ιδιαίτερη συμβολή της λεπτομερούς τεχνικογεωλογικής έρευνας με σκοπό τον μετριασμό αυτών των γεωκινδύνων

7.2. Τεχνικά έργα

7.2.1 Υπόγεια έργα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ως πρώτο παράδειγμα χρήσης της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων η επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος διάνοιξης σπηράγγων (Tunnel Boring Machine - TBM). Η πλήρης διερεύνηση των γεωλογικών, υδρογεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών είναι ιδιαίτερα σημαντική, ιδίως όταν η κατασκευή υπόγειων έργων διενεργείται εντός αστικού περιβάλλοντος. Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται αυξανόμενη ανάπτυξη στη χρήση της μηχανοποιημένης διάνοιξης κατά την κατασκευή υπόγειων έργων σε αστικές περιοχές. Οι κυριότεροι λόγοι επικράτησης αυτής της μεθόδου σχετίζονται με:

- Τις γεωλογικές συνθήκες των σχηματισμών, καθώς πολλές αστικές περιοχές ανά τον κόσμο διακρίνονται από την ύπαρξη ενός σημαντικού ιστορικού υποβάθρου με ταυτόχρονη παρουσία αρχαιολογικών ευρημάτων
- Τα μικρά βάθη στα οποία κατασκευάζονται συνήθως οι αστικές σήραγγες και την αποφυγή δυσμενών καταστάσεων που πιθανώς μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στην επιφάνεια του εδάφους, όπως π.χ. καθιζήσεις
- Το χαμηλό ύψος των υπερκείμενων σε συνδυασμό με την ύπαρξη του υδροφόρου ορίζοντα πάνω από το επίπεδο της σήραγγας με σκοπό την όσο το δυνατόν μικρότερη διαταραχή του περιβάλλοντος κατά την εκσκαφή και την ορθή λειτουργία του υπόγειου έργου

Την έντονη αστικοποίηση και αυξημένη οικοδόμηση που καθιστούν περιορισμένη την προσβασιμότητα για περαιτέρω διερεύνηση του χώρων όπου εκτελούνται οι εργασίες (Guglielmetti et al. 2008).

Ωστόσο, η επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος διάνοιξης δε περιορίζεται μόνο στα παραπάνω, αλλά υπεισέρχεται και σ' άλλες πληροφορίες, που σχετίζονται με το γεωλογικό περιβάλλον και τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών. Αυτές αναφέρονται κυρίως:

- i. στη σύσταση και κοκκομετρία των εδαφικών σχηματισμών,
- ii. στην υδροπερατότητά τους,
- iii. στην ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς στα αργιλικά εδάφη,
- iv. καθώς και στη διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων (Papouli και Marinou, 2023).

Προτού παρουσιαστούν αναλυτικά τα χαρακτηριστικά επιλογής μηχανημάτων TBM, κρίνεται απαραίτητη η αναφορά σε κάποιες βασικές πληροφορίες που σχετίζονται με την επιλογή του εκάστοτε μηχανήματος διάνοιξης, τη λειτουργία και τους περιορισμούς που συναντώνται.

Μηχανήματα TBM

Γενικά, σε περιπτώσεις που επικρατούν λιγότερο σταθεροί εδαφικοί σχηματισμοί, οι οποίοι βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, πρέπει να ασκηθεί πίεση επί του μετώπου εκσκαφής κατά τη διάνοιξη, έτσι ώστε το υλικό να παραμείνει ευσταθές. Οι δύο βασικοί τύποι μηχανημάτων που παρουσιάζουν αυτή τη δυνατότητα είναι τα μηχανήματα εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης με ασπίδα (Earth Pressure Balance machines - EPB) και τα μηχανήματα πολφού μπεντονίτη με ασπίδα (Slurry Shield machines).

Ακολούθως περιγράφονται κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών των δύο τύπων, ξεκινώντας από το μηχάνημα EPB. Ο θάλαμος εκσκαφής αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μέρη ενός μηχανήματος EPB, καθώς διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στη λειτουργία του. Οι διαστάσεις της κεφαλής κοπής, σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε το εκσκαφθέν υλικό να εισέρχεται ομαλά μέσα από τα ανοίγματά της, ούτως ώστε να μη δημιουργούνται προβλήματα έμφραξης (clogging). Οι παράγοντες που ελέγχουν τη συγκεκριμένη διαδικασία είναι κυρίως οι γεωλογικές συνθήκες και δευτερευόντως η μηχανολογική συγκρότηση του μηχανήματος.

Η μέθοδος εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης είναι ιδιαίτερα αποδοτική στα συνεκτικά υλικά, σε αντίθεση με τα μη συνεκτικά. «Η υψηλή εσωτερική τριβή των περισσότερων μη συνεκτικών υλικών δρα αποτρεπτικά από το να γεμίσει πλήρως ο θάλαμος εκσκαφής. Αυτό οδηγεί σε ανεπαρκή πίεση επί του μετώπου εκσκαφής που μεταφράζεται σε μεγαλύτερες επιφανειακές καθιζήσεις» (Becker, 1995). Σ' αυτές τις περιπτώσεις, εισάγονται στο θάλαμο εκσκαφής διάφορα χημικά πρόσθετα προκειμένου αυτά να αναμειχθούν με το εκσκαφθέν υλικό και να δημιουργηθεί ένα περισσότερο πλάσιμο και ομοιογενές υλικό. Ο σκοπός της κατεργασίας του εδάφους με χημικά πρόσθετα είναι η δημιουργία μιας προσωρινής και τεχνητής συνοχής στα κοκκώδη υλικά, καθώς και η μείωση της υδροπερατότητας

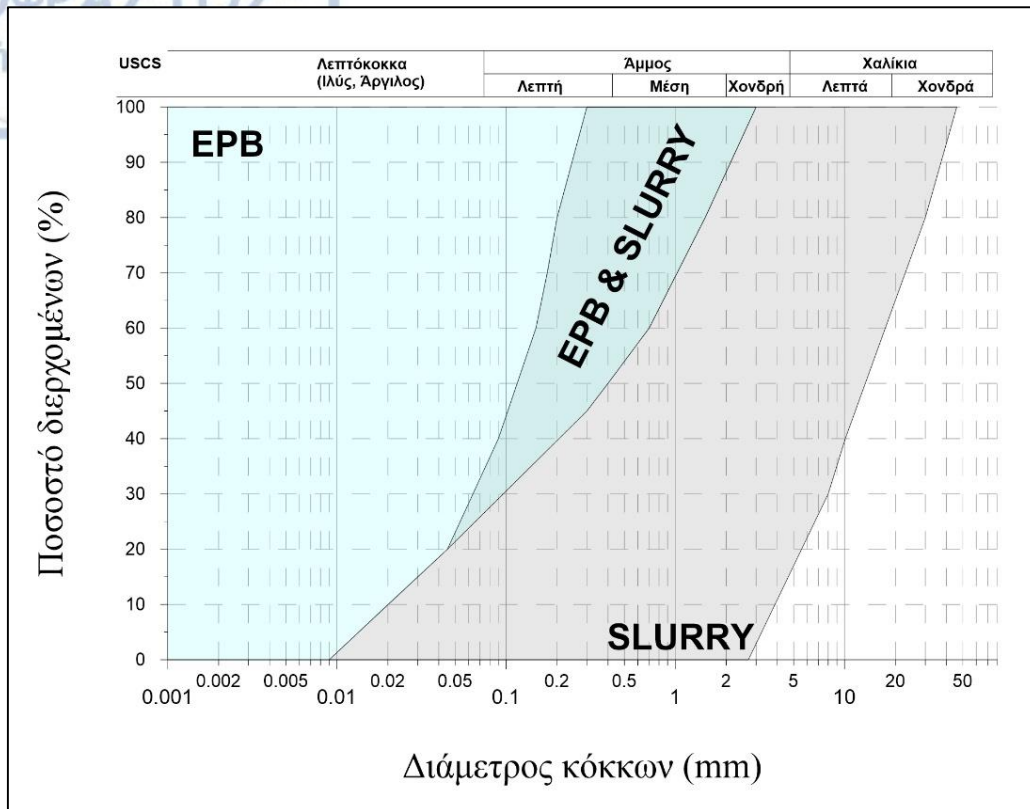
(Babendererde et al., 2004). Η συγκεκριμένη μέθοδος γίνεται πιο ευπροσάρμοστη και μπορεί να εφαρμοστεί και σε περισσότερο στιφρά κι αδρομερή εδαφικά υλικά. Ωστόσο, μεγαλύτερη απόδοση παρατηρείται σε μαλακά, συνεκτικά εδάφη με σχετικά χαμηλές υδατικές πιέσεις με εμφάνιση λίγων χαλίκων ή κροκάλων (Suwansawat, 2002).

Η μέθοδος πολφού μπεντονίτη είναι μία από τις τεχνικές διάνοιξης σηράγγων που χρησιμοποιούν μηχανήματα με ασπίδα ελέγχοντας έτσι την ευστάθεια του μετώπου εκσκαφής, ασκώντας υποστηρικτική πίεση σ' αυτό. Αυτή η λειτουργία, έχει στόχο τον περιορισμό του μεγέθους των μετακινήσεων και κυρίως των επιφανειακών καθιζήσεων σε περιβάλλοντα με έντονη αστική δραστηριότητα. Τα Slurry TBM χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιοχές όπου επικρατούν μη συνεκτικά εδαφικά υλικά όπου απαιτείται υποστήριξη του μετώπου σε υδαρή μορφή. Αυτή γίνεται με τη χρήση αιωρήματος μπεντονίτη, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του συστήματος αντλήσεως και να αποφευχθούν πιθανές εμπλοκές που μπορεί να παρουσιαστούν στο σύστημα.

Έτσι, το εδαφικό υλικό που εκσκάπτεται θα πρέπει να έχει κατάλληλη κοκκομετρία ώστε να επιτυγχάνεται αφενός ο διαχωρισμός των υλικών κι αφετέρου η ανακύκλωση του πολφού. Γι' αυτό το λόγο τα συνεκτικά υλικά θεωρούνται ακατάλληλα προς εκσκαφή καθώς οι πολύ μικρού μεγέθους κόκκοι αυτών ενώνονται με τον μπεντονίτη δυσχεραίνοντας ιδιαίτερα τη διαδικασία διαχωρισμού και ανακύκλωσης (Paparouli και Marinos, 2023).

i. Σύσταση και κοκκομετρία

Ένας σημαντικός παράγοντας που διερευνάται με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος κατά τη διάνοιξη των σηράγγων, είναι η διερεύνηση των γεωυλικών ως προς την κοκκομετρική διαβάθμισή τους. Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων συμβάλλουν ιδιαίτερα στην επιλογή του TBM, καθώς τα EPB μηχανήματα αποδίδουν καλύτερα σε αργιλώδεις και ιλυώδεις εδαφικούς σχηματισμούς, ενώ τα μηχανήματα Slurry λειτουργούν πιο αποδοτικά σε χαλαρά χονδρόκοκκα εδάφη. Στο σχήμα 7.1 προβάλλονται τα όρια που ορίζουν τις περιοχές εφαρμογής των μηχανημάτων EPB και Slurry βάσει της κοκκομετρίας των εδαφικών σχηματισμών.



Σχήμα 7.1: Πεδίο εφαρμογής μηχανήματος εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης (EPB) και μηχανήματος πολφού μπεντονίτη με ασπίδα (Slurry)

ii. Υδροπερατότητα

Η British Tunneling Society (BTS) σε συνεργασία με το Institution of Civil Engineers (ICE) (Anonymous, 2005) αναφέρουν ως όριο επιλογής μεταξύ των δύο μηχανημάτων (EPB και Slurry) την τιμή 1.0×10^{-5} m/sec. Μηχανήματα EPB επιλέγονται στην περίπτωση επικράτησης χαμηλότερων του ορίου τιμών, ενώ τα Slurry TBM θεωρούνται πιο αποδοτικά σε περιοχές όπου παρατηρούνται υψηλότερες τιμές. Ωστόσο είναι εφικτή η αύξηση του πεδίου εφαρμογής με κατάλληλη ρύθμιση και προσθήκη πρόσμικτων (Papouli και Marinos, 2023).

iii. Ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς στα αργιλικά εδάφη

Ορισμένοι τύποι συνεκτικών εδαφών, ιδίως εκείνα που αποτελούνται από υψηλής πλαστικότητας αργίλους, έχουν την τάση να αναπτύσσουν κολλώδη συμπεριφορά. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στη συγκόλληση μεταξύ των αργιλικών σωματιδίων και στην προσκόλλησή τους στις μεταλλικές επιφάνειες με αποτέλεσμα να προκληθούν προβλήματα έμφραξης σε τμήματα του κοπτικού άκρου, του θαλάμου εργασίας και του ατέρμονα κοχλία ενός TBM. Αντίστοιχα, σε ένα μηχανήμα τύπου Slurry, κατά την ανάμειξη των σωματιδίων με τον μπεντονίτη δημιουργούνται σφαιρίδια, τα οποία προκαλούν προβλήματα στις σωληνώσεις και δυσχεραίνουν τη διαδικασία

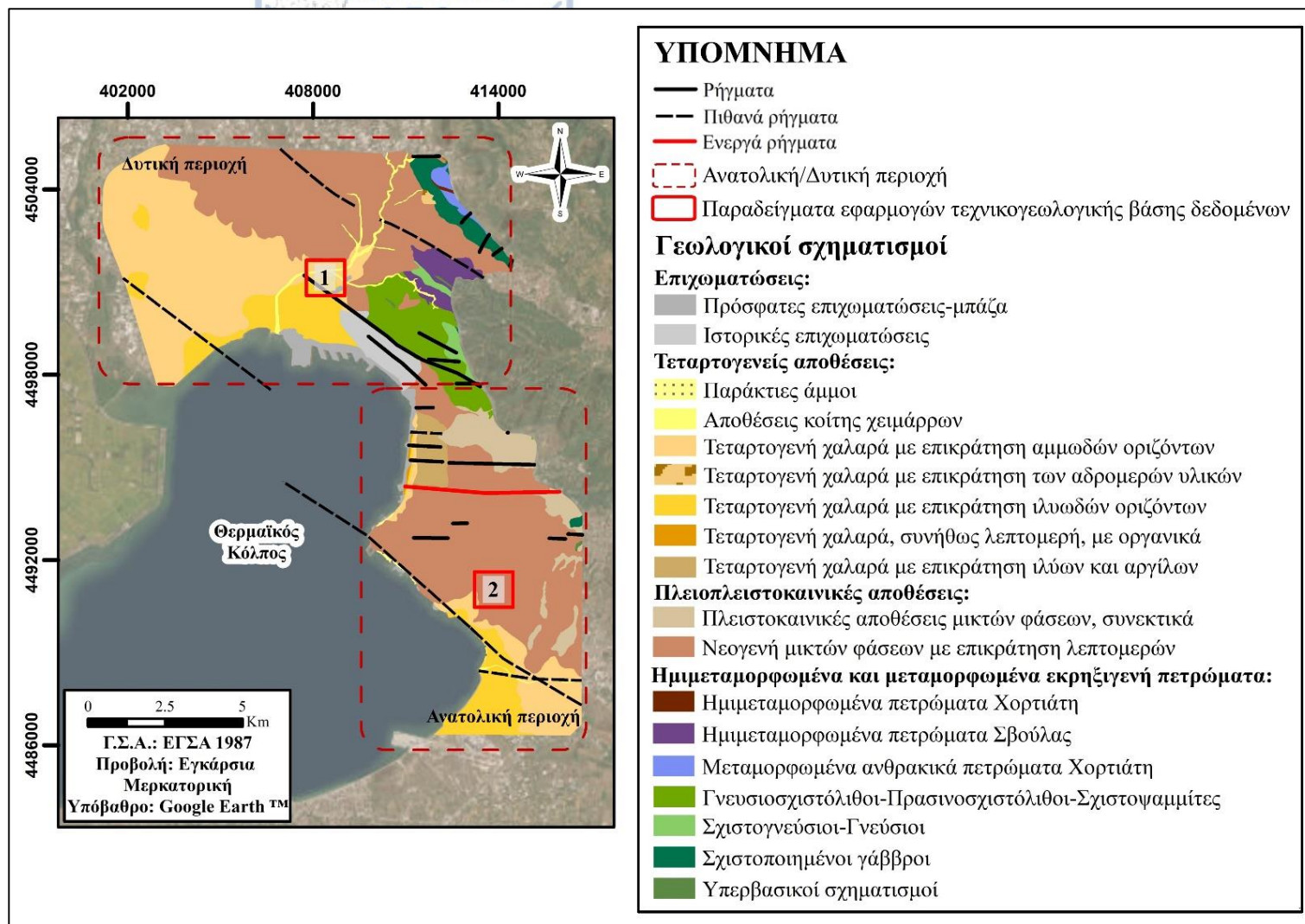
διαχωρισμού κι ανακύκλωσης αυτών των υλικών. Παρότι η κολλώδης συμπεριφορά που παρατηρείται στους εδαφικούς σχηματισμούς δεν αποτελεί βασικό κριτήριο επιλογής μηχανήματος διάνοιξης, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη καθώς επηρεάζει όλους τους τύπους των μηχανημάτων που εφαρμόζονται σε κλειστή κατάσταση λειτουργίας (Geodata S.p.A, 1995).

iv. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων

Μια παρόμοια προσέγγιση επί του θέματος παρουσιάστηκε από τους Thewes και Burger (2004) που επικεντρώθηκαν στην εκτίμηση των προβλημάτων που ενδέχεται να προκληθούν κατά τη διάνοιξη σήραγγων και αφορούν στη διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Οι συγγραφείς πρότειναν τρεις κατηγορίες με βάση τις οποίες διακρίνονται οι σχηματισμοί ως προς την τάση τους να δημιουργούν συσσωματώματα. Τα όρια μεταξύ των κατηγοριών διακινδύνευσης (χαμηλή, μέτρια ή υψηλή) παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 7.9 όπου προβάλλεται και η σχέση μεταξύ των δεικτών συνεκτικότητας και πλαστικότητας.

Η κατασκευή υπόγειων έργων, μέσα στο έντονα αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης, δημιουργεί την ανάγκη για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των σχηματισμών κατά τη μηχανοποιημένη όρυξη τους με σκοπό την επιλογή κατάλληλου μηχανήματος TBM. Προκειμένου να καθοριστούν ο τύπος, οι απαιτήσεις και οι προδιαγραφές ενός μηχανήματος TBM, απαιτούνται διάφορες πληροφορίες σχετικά με τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης της χάραξης, τους περιορισμούς κι απαγορεύσεις που ενδέχεται να υπάρχουν στην περιοχή, τη γνώση κι εμπειρία των εμπλεκόμενων στο σχεδιασμό και την κατασκευή του έργου, το κόστος της κατασκευής κ.α.

Στην παρούσα έρευνα επιλέγονται δύο υποπεριοχές οι οποίες καλύπτουν τη συνολική έκταση της περιοχής έρευνας, με σκοπό τη διερεύνησή τους ως προς την επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος διάνοιξης. Σημειώνεται ότι η αξιολόγηση που ακολουθεί δεν θεωρείται αντιπροσωπευτική των περιοχών που διερευνώνται, καθώς δεν πραγματοποιείται για μια συγκεκριμένη γραμμική χάραξη. Παρότι λαμβάνεται υπόψη ως ενδεικτικό εύρος για τη διάνοιξη αστικής σήραγγας το βάθος 10-20 m, οι συνθήκες διαφοροποιούνται ανάλογα με τη χάραξη που επιλέγεται σε κάθε περίπτωση. Οι υπό έρευνα περιοχές παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.2 κι εφεξής θα διακρίνονται μεταξύ τους με βάση τη θέση τους, σε ανατολική και δυτική περιοχή.



Σχήμα 7.2: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, όπου απεικονίζονται η ανατολική και δυτική περιοχή (διακεκομμένα πλαίσια) και συγκεκριμένα παραδείγματα χρήσης της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων στην περιοχή έρευνας (περιοχές 1 και 2)

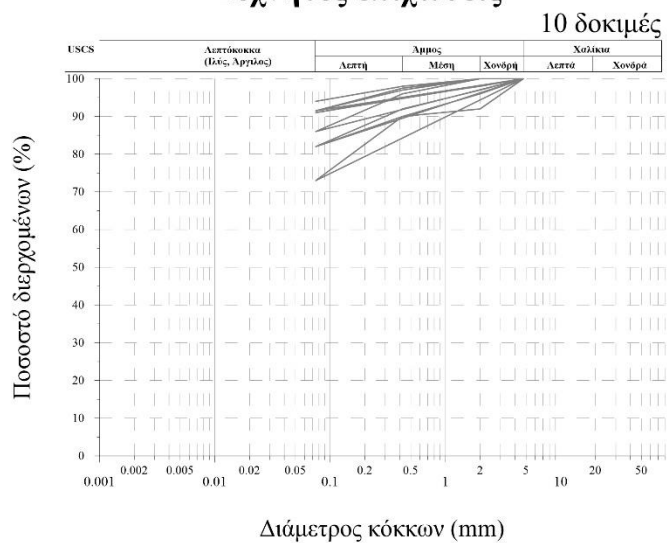
- **Διερεύνηση σύστασης και κοκκομετρίας εδαφικών σχηματισμών**

Στα διαγράμματα των κοκκομετρικών καμπυλών που ακολουθούν, παρουσιάζεται η επικράτηση των υλικών για τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για το βάθος 10-20 m της ανατολικής και δυτικής περιοχής που επιλέχθηκαν προς αξιολόγηση. Τα δείγματα που συλλέχθηκαν για το σκοπό αυτό είναι πολυάριθμα (885 δοκιμές για την ανατολική περιοχή και 909 για τη δυτική) και παρέχουν τις πραγματικές συνθήκες στο βάθος της σήραγγας. Σύμφωνα με το σχήμα 7.3 η πλειονότητα των δοκιμών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις δείχνει ότι, στο βάθος της σήραγγας, το ποσοστό του δείγματος που διέρχεται από το κόσκινο 200 (0,0074 mm, όριο μεταξύ λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων) είναι μεγαλύτερο από 40-50 %, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα λεπτόκοκκα υλικά κυριαρχούν κατά μήκος της σήραγγας. Οι κοκκομετρικές καμπύλες των τεχνητών επιχώσεων υποδηλώνουν ομοιόμορφα εδάφη τα οποία αποτελούνται από λεπτόκοκκη έως χονδρόκοκκη άμμο.

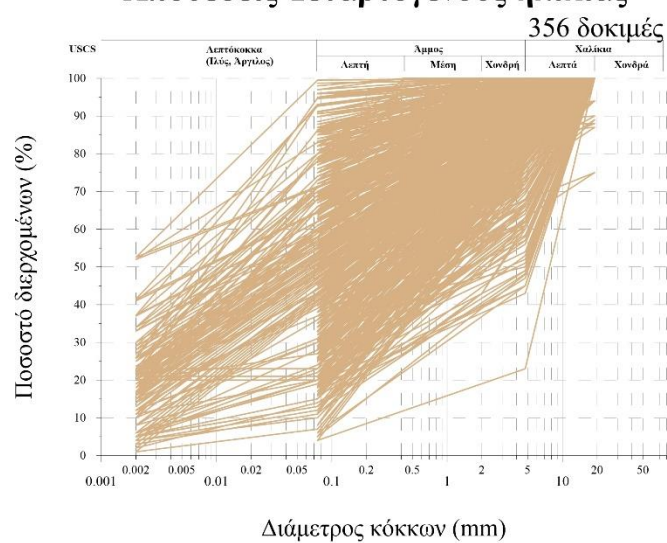
Αναφορικά με τη δυτική περιοχή (Σχήμα 7.4), η κατανομή των κοκκομετρικών καμπυλών για τα Τεταρτογενή και Νεογενή ιζήματα υποδηλώνει ότι τα λεπτόκοκκα υλικά κυριαρχούν επίσης κατά μήκος της σήραγγας. Ωστόσο, το ποσοστό του δείγματος που διέρχεται από το κόσκινο 200 είναι μικρότερο από αυτό της ανατολικής περιοχής, γεγονός που υποδηλώνει την επικράτηση χονδρόκοκκων υλικών κατά θέσεις στο βάθος 10-20 m. Οι τεχνητές επιχώσεις αποτελούνται εξ ολοκλήρου από αδρόκοκκα υλικά, με σαφή επικράτηση της άμμου έναντι των χαλικιών.

Ανατολική περιοχή
Βάθος: 10-20 m
(885 δοκιμές)

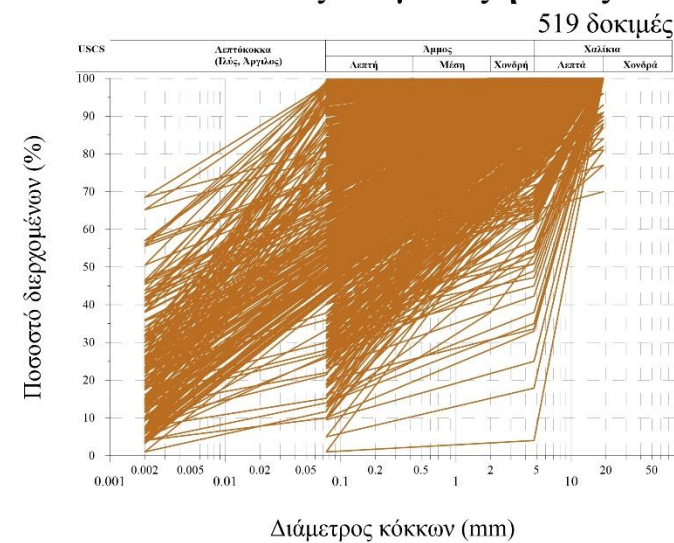
Τεχνητές επιχώσεις



Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας



Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας

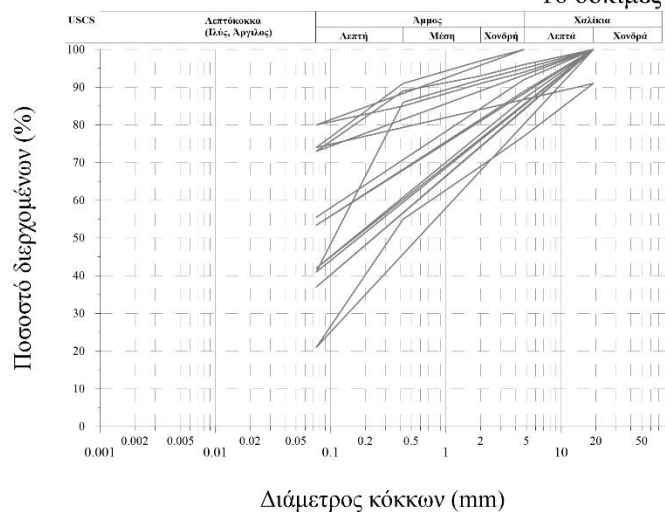


Σχήμα 7.3: Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 10-20 m της ανατολικής περιοχής (βλ. Σχήμα 7.5)

Δυτική περιοχή
Βάθος: 10-20 m
(909 δοκιμές)

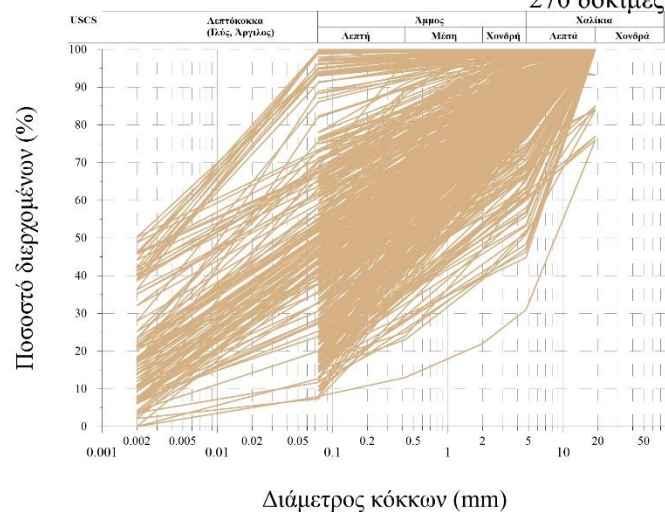
Τεχνητές επιχώσεις

16 δοκιμές



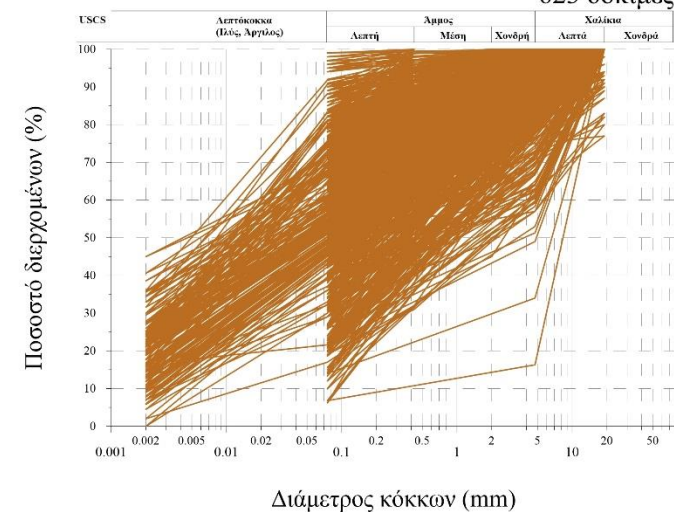
Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

270 δοκιμές



Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας

623 δοκιμές



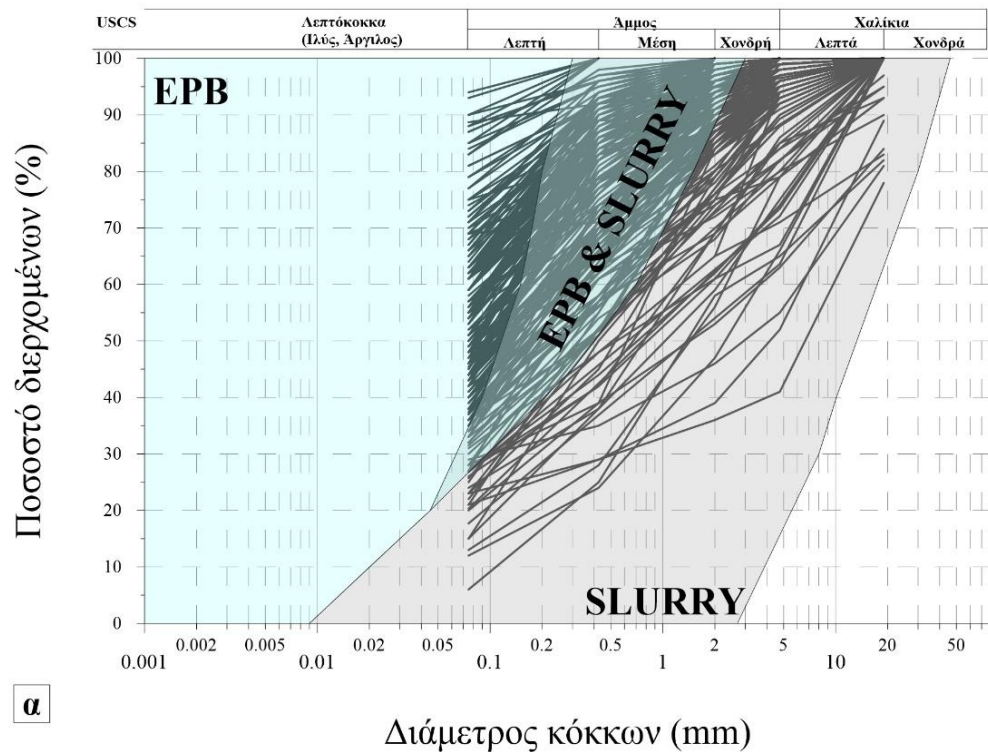
Σχήμα 7.4: Κοκκομετρικές καμπύλες ανά γεωλογικό σχηματισμό για το βάθος 10-20 m της δυτικής περιοχής (βλ. Σχήμα 7.5)

Ανεξάρτητα από την ανατολική και δυτική περιοχή που διερευνώνται, επιλέγονται προς αξιολόγηση δύο συγκεκριμένες περιοχές ως παραδείγματα μελλοντικών επεκτάσεων του μετρώ, στη νοτιοδυτική και βορειοανατολική περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης (Σχήμα 7.2). Στην «περιοχή 1» για τα βάθη 10-20 m, συναντώνται αποκλειστικά αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας, ενώ στην «περιοχή 2» εμφανίζονται στα ίδια βάθη Νεογενή υλικά. Οι κοκκομετρικές καμπύλες των γεωυλικών για τις δύο περιοχές παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.5, όπου προβάλλονται και τα όρια που ορίζουν τις περιοχές εφαρμογής των μηχανημάτων EPB και Slurry βάσει της κοκκομετρίας των εδαφικών σχηματισμών κατά Langmaack (2002).

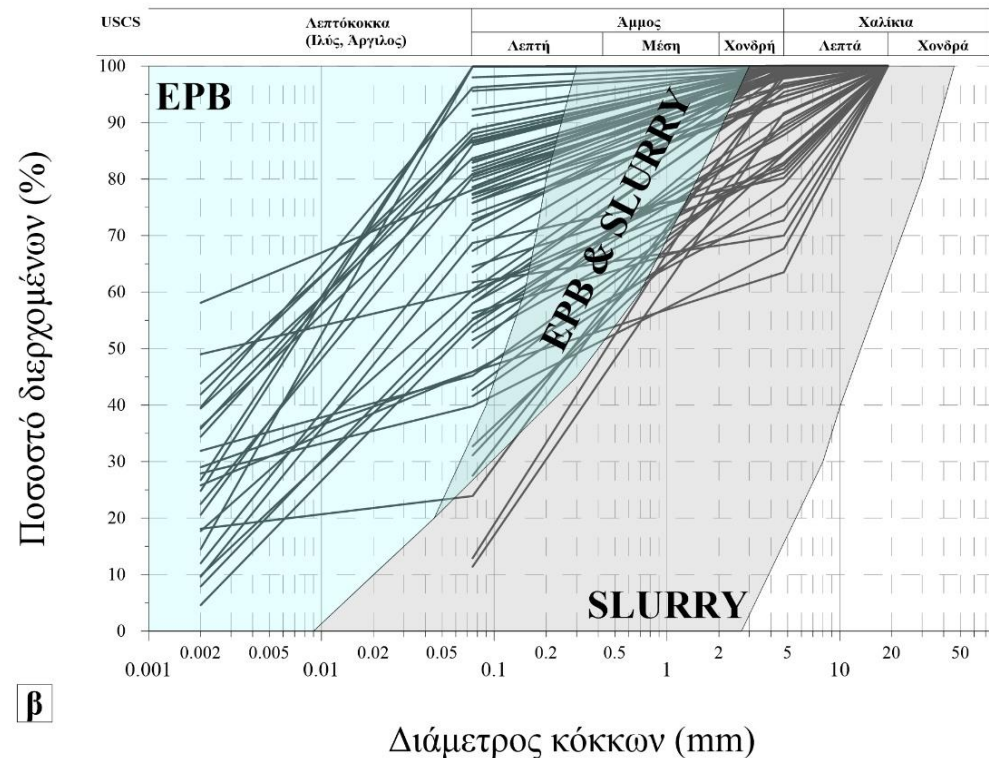
Σύμφωνα μ' αυτό, και οι δύο σχηματισμοί αποτελούνται από αμμώδη άργιλο και άργιλο με άμμο, αμμώδη ιλύ και αργιλώδη έως ιλυώδη άμμο με μεταβλητό ποσοστό χαλικιών. Ωστόσο, η πλειονότητα των κοκκομετρικών καμπυλών της «περιοχής 2» παρουσιάζει υψηλό ποσοστό λεπτόκοκκων υλικών. Αντίστοιχα, στην «περιοχή 1» παρατηρείται επικράτηση των χονδρόκοκκων υλικών καθώς το σύνολο των καμπυλών σταματά στο όριο μεταξύ λεπτόκοκκων κι αδρόκοκκων. Συνεπώς, ένα μηχάνημα EPB κλειστού τύπου φαίνεται να είναι η βέλτιστη επιλογή στην περίπτωση της «περιοχής 2». Όσον αφορά την «περιοχή 1», ένα Slurry TBM θεωρείται ως η πλέον αποδοτική μέθοδος για τη διάνοιξη σήραγγας σ' αυτούς τους σχηματισμούς.

Οι συγκεκριμένες επιλογές ως προς τα μηχανήματα διάνοιξης για τις δύο περιπτώσεις, γίνονται λαμβάνοντας υπόψη αποκλειστικά την κοκκομετρική διαβάθμιση των υλικών. Σαφώς και η ανάλυση της κοκκομετρίας δεν αποτελεί το μοναδικό κριτήριο ως προς την επιλογή του μηχανήματος TBM. Ωστόσο, με την επιλογή των συγκεκριμένων, προς διερεύνηση, περιοχών πραγματοποιείται μια σαφής διάκριση ως προς την κοκκομετρία των γεωυλικών, ικανή ώστε να προκρίνει σε πρώτο στάδιο τα αντίστοιχα μηχανήματα για κάθε περίπτωση. Αυτή η διαδικασία, σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα κριτήρια επιλογής μηχανήματος διάνοιξης όπως περιγράφονται στην αρχή του παρόντος, καθορίζουν την τελική επιλογή του εκάστοτε TBM.

Κοκκομετρικές καμπύλες περιοχής "1"



Κοκκομετρικές καμπύλες περιοχής "2"



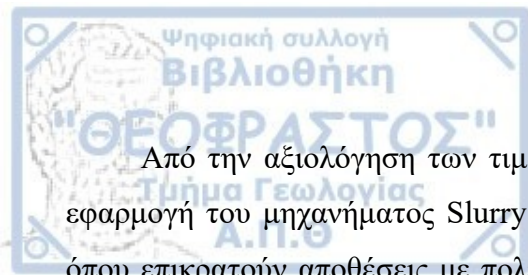
Σχήμα 7.5: Κοκκομετρικές καμπύλες των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας της «περιοχής 1» (α) και Νεογενούς ηλικίας της «περιοχής 2» (β), μαζί με τα όρια καταλληλότητας των μηχανημάτων EPB και slurry TBM από το Langmaack (2002). Οι θέσεις των περιοχών απεικονίζονται στο σχήμα 7.2

- **Διερεύνηση υδροπερατότητας εδαφικών σχηματισμών**

Η διερεύνηση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών που πρόκειται να συναντηθούν στο βάθος της σήραγγας, πραγματοποιείται με τη δημιουργία διαγραμμάτων κατανομής των τιμών υδροπερατότητας με το βάθος τόσο για την ανατολική, όσο και για τη δυτική περιοχή.

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.6α, οι τιμές της υδροπερατότητας για την ανατολική περιοχή είναι χαμηλότερες από 1.0×10^{-4} m/sec, με την πλειονότητα των μετρήσεων να κυμαίνεται από 1.0×10^{-8} m/sec έως 1.0×10^{-5} m/sec. Ειδικότερα, τα ιζήματα Νεογενούς ηλικίας παρουσιάζουν τιμές κάτω από 7.5×10^{-6} m/sec, χαρακτηρίζοντας τους συγκεκριμένους σχηματισμούς ως πολύ χαμηλής υδροπερατότητας έως πρακτικά αδιαπέρατους. Οι τιμές της υδροπερατότητας για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας κυμαίνονται από 1.0×10^{-8} m/sec έως 1.0×10^{-5} m/sec. Σημειώνεται επίσης ότι για τις τεχνητές επιχώσεις δεν διενεργήθηκαν δοκιμές περατότητας στο βάθος της σήραγγας και συνεπώς ο συγκεκριμένος σχηματισμός δεν διερευνάται περαιτέρω. Τέλος, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7.7α, όπου λαμβάνεται υπόψη μόνο οι τιμές της υδροπερατότητας για το βάθος 10-20 m, η πλειονότητα των τιμών για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας (πάνω από 60%) κυμαίνεται μεταξύ 1.0×10^{-7} m/sec έως 1.0×10^{-5} m/sec. Στις αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας παρατηρείται ένα σημαντικό ποσοστό της τάξης του 40% όπου επικρατούν τιμές μικρότερες του 1.0×10^{-7} m/sec, ενώ οι υπόλοιπες τιμές περιορίζονται στο εύρος μεταξύ 1.0×10^{-7} m/sec και 1.0×10^{-5} m/sec.

Όσον αφορά στη δυτική περιοχή (Σχήμα 7.6β), οι τιμές της υδροπερατότητας για τις αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας, είναι στην πλειονότητά τους χαμηλές ($<1.0 \times 10^{-6}$ m/sec), ενώ για τα Τεταρτογενή ιζήματα παρατηρούνται τιμές από 1.0×10^{-7} m/sec έως 1.0×10^{-5} m/sec. Οι επικρατούσες τιμές της υδροπερατότητας για τις τεχνητές επιχώσεις περιορίζονται κάτω από 1.0×10^{-6} m/sec στα υπερκείμενα της σήραγγας, λόγω της επικράτησης των χαλαρών υλικών. Επιπλέον, σύμφωνα με το Σχήμα 7.7β και τη στατιστική κατανομή των τιμών υδροπερατότητας για το βάθος 10-20 m, προκύπτει η σαφής επικράτηση τιμών (σχεδόν 80%) μεταξύ 1.0×10^{-7} m/sec έως 1.0×10^{-5} m/sec για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας. Το υπόλοιπο ποσοστό εντοπίζεται τόσο σε μικρότερες, όσο και σε μεγαλύτερες τιμές. Αναφορικά με τις αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας παρατηρείται ένα σημαντικό ποσοστό της τάξης του 40% όπου επικρατούν τιμές μικρότερες του 1.0×10^{-7} m/sec. Οι υπόλοιπες περιορίζονται κατά βάση μεταξύ 1.0×10^{-7} m/sec και 1.0×10^{-5} m/sec, ενώ παρατηρείται κι ένα περιορισμένο ποσοστό της τάξης του 4% με τιμές από 1.0×10^{-5} m/sec έως 1.0×10^{-3} m/sec. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρατηρείται σαφής επικράτηση των δοκιμών πίπτοντος φορτίου έναντι των δοκιμών σταθερού φορτίου και στις δύο περιοχές, λόγω της επικράτησης εδαφικών σχηματισμών χαμηλής υδροπερατότητας.

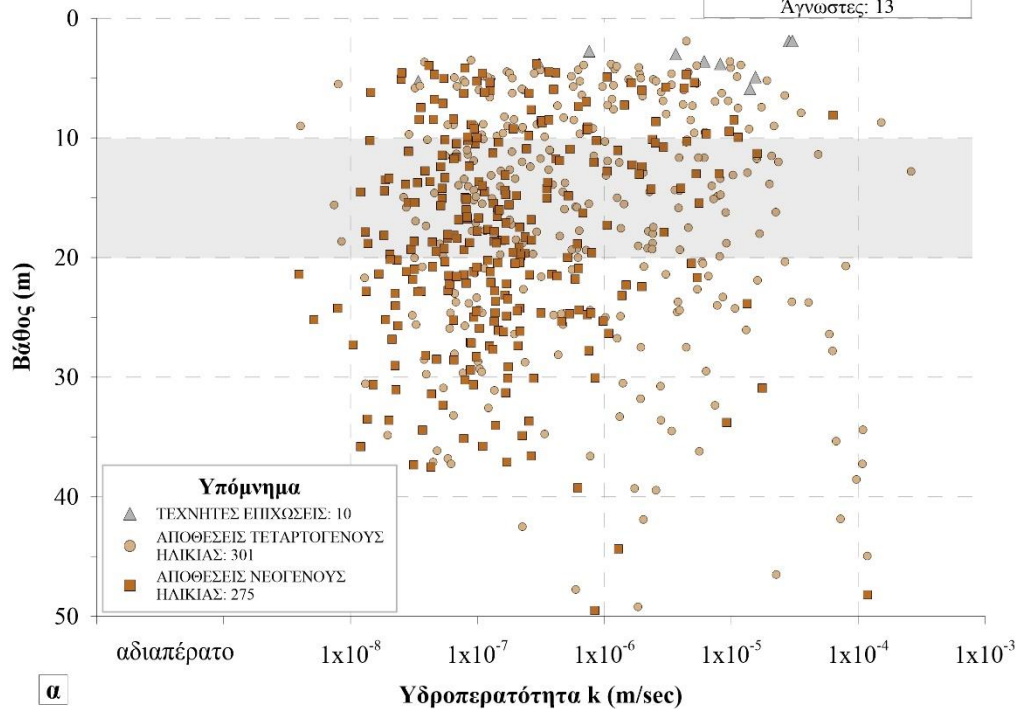


Από την αξιολόγηση των τιμών υδροπερατότητας για τις δύο περιοχές, συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή του μηχανήματος Slurry μπορεί να αυξηθεί σε ορισμένα τμήματα της δυτικής περιοχής όπου επικρατούν αποθέσεις με πολύ υψηλές τιμές υδροπερατότητας. Όσον αφορά στην ανατολική περιοχή, ένα μηχανήμα EPB αναμένεται να λειτουργήσει αποδοτικά λόγω των χαμηλότερων τιμών της υδροπερατότητας που παρατηρούνται συνολικά στους εξεταζόμενους σχηματισμούς.

Ανατολική περιοχή

586 δοκιμές

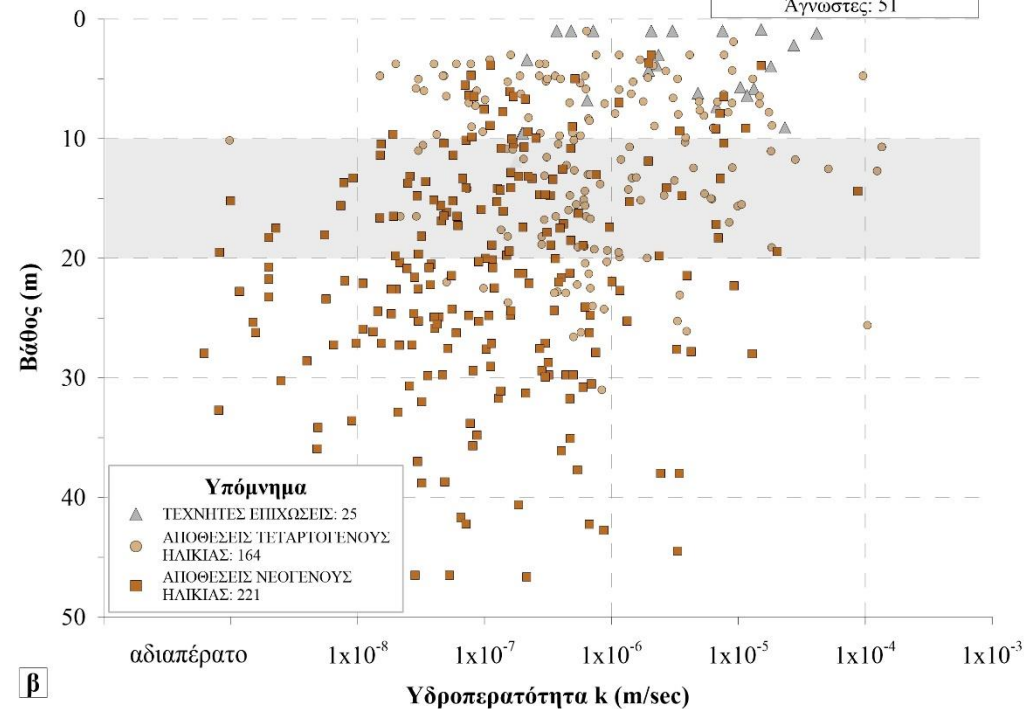
Δοκιμές πέτοντος φορτίου: 518
Δοκιμές σταθερού φορτίου: 55
Άγνωστες: 13



Δυτική περιοχή

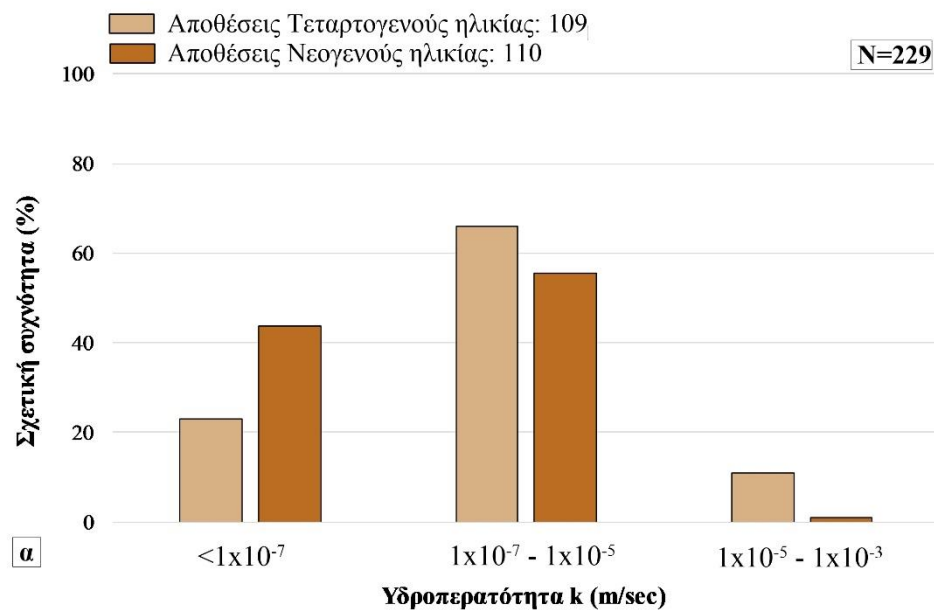
410 δοκιμές

Δοκιμές πέτοντος φορτίου: 337
Δοκιμές σταθερού φορτίου: 22
Άγνωστες: 51

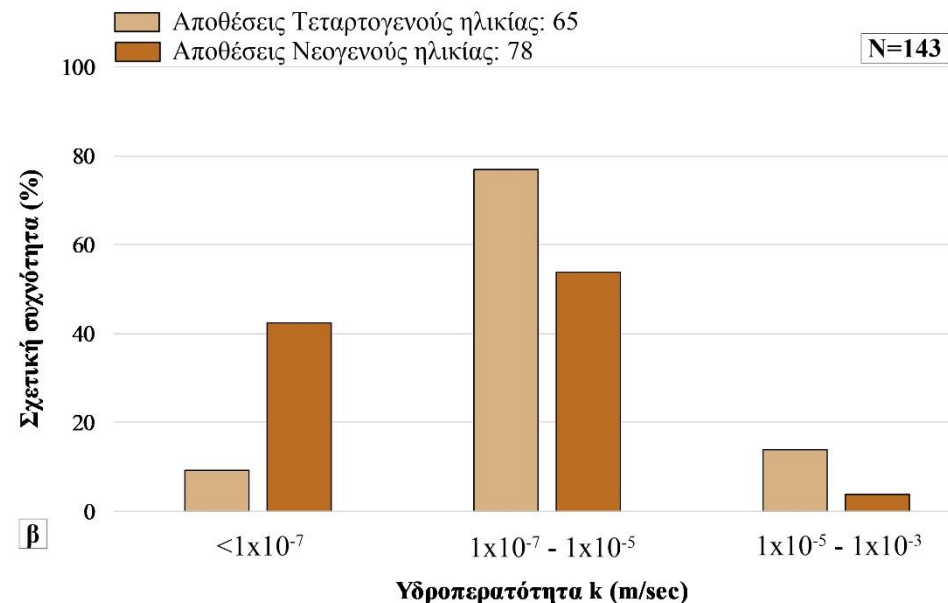


Σχήμα 7.6: Διαγράμματα διακύμανσης της υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους για τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας στην ανατολική (α) και δυτική (β) περιοχή (βλ. Σχήμα 7.5), μαζί με ένα ενδεικτικό εύρος του βάθους σήραγγας (10-20 m)

Ανατολική περιοχή



Δυτική περιοχή



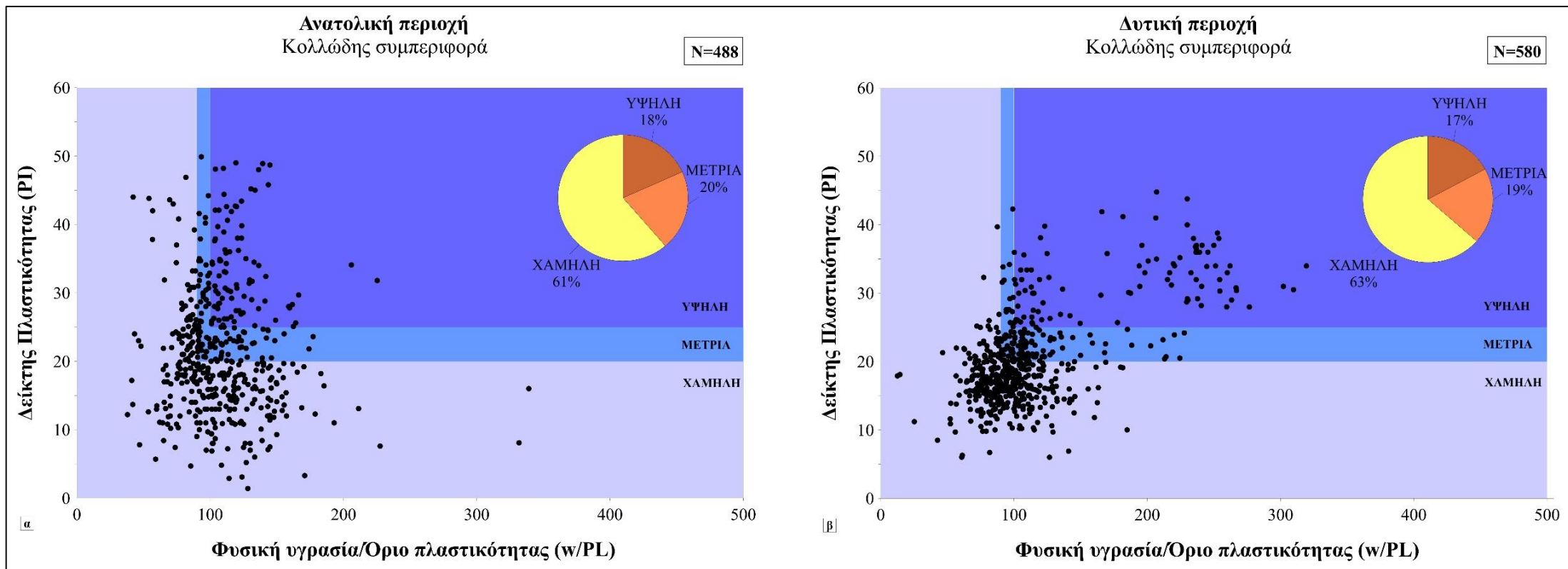
Σχήμα 7.7: Διαγράμματα στατιστικής κατανομής των τιμών της υδροπερατότητας για τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας στην ανατολική (α) και δυτική (β) περιοχή (βλ. Σχήμα 7.5) για το βάθος της σήραγγας

- **Ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς στα αργιλικά εδάφη**

Στην παρούσα έρευνα, διερευνάται η ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς των σχηματισμών κατά τη διάνοιξη αστικής σήραγγας στην ανατολική και δυτική περιοχή. Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.8 βασίζονται στη δημοσιευμένη εργασία της Geodata-Torino (1995) όπου διερευνάται η κολλώδης συμπεριφορά των συνεκτικών υλικών για τη γραμμή 3 του μετρό της Αθήνας. Σ' αυτά περιγράφεται η σχέση μεταξύ του λόγου της φυσικής υγρασίας προς το όριο υδαρότητας με το δείκτη πλαστικότητας. Επίσης, προβάλλονται τα όρια μεταξύ των διάφορων κατηγοριών ως προς την τάση που έχουν οι εξεταζόμενοι σχηματισμοί να αναπτύσσουν χαμηλή, μέτρια ή υψηλή κολλώδη συμπεριφορά.

Στο Σχήμα 7.8α προβάλλονται συνολικά 488 σημεία για τη διερεύνηση της ανάπτυξης κολλώδους συμπεριφοράς στα συνεκτικά εδάφη (Τεταρτογενή και Νεογενή) κατά τη διάνοιξη σήραγγων στην ανατολική περιοχή. Σύμφωνα μ' αυτό, παρατηρείται ένα σημαντικό ποσοστό της τάξης του 81% που υποδεικνύει ότι τα συνεκτικά εδάφη που συναντώνται σε βάθος 10-20 m παρουσιάζουν χαμηλή προς μέτρια τάση ως προς την ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς. Το υπόλοιπο 18% χαρακτηρίζει εδάφη που αναπτύσσουν υψηλή κολλώδη συμπεριφορά.

Για τη δυτική πλευρά προβάλλονται 580 σημεία για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις στο βάθος της σήραγγας (Σχήμα 7.8β). Παρότι τα σημεία εμφανίζουν μεγαλύτερη διασπορά απ' αυτά της ανατολικής περιοχής, τα ποσοστά εμφάνισης ως προς την ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς είναι παρόμοια. Συγκεκριμένα, το 82% αντιστοιχεί σε σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται από χαμηλή προς μέτρια τάση ως προς την ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς, ενώ το 17% χαρακτηρίζει εδάφη που παρουσιάζουν υψηλή τάση στην ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς.



Σχήμα 7.8: Κολλώδης συμπεριφορά των συνεκτικών εδαφικών σχηματισμών για βάθος 10-20 m, στην ανατολική (α) και δυτική (β) περιοχή (βλ. Σχήμα 7.5), βασισμένο στο διάγραμμα από Geodata-Torino (1995)

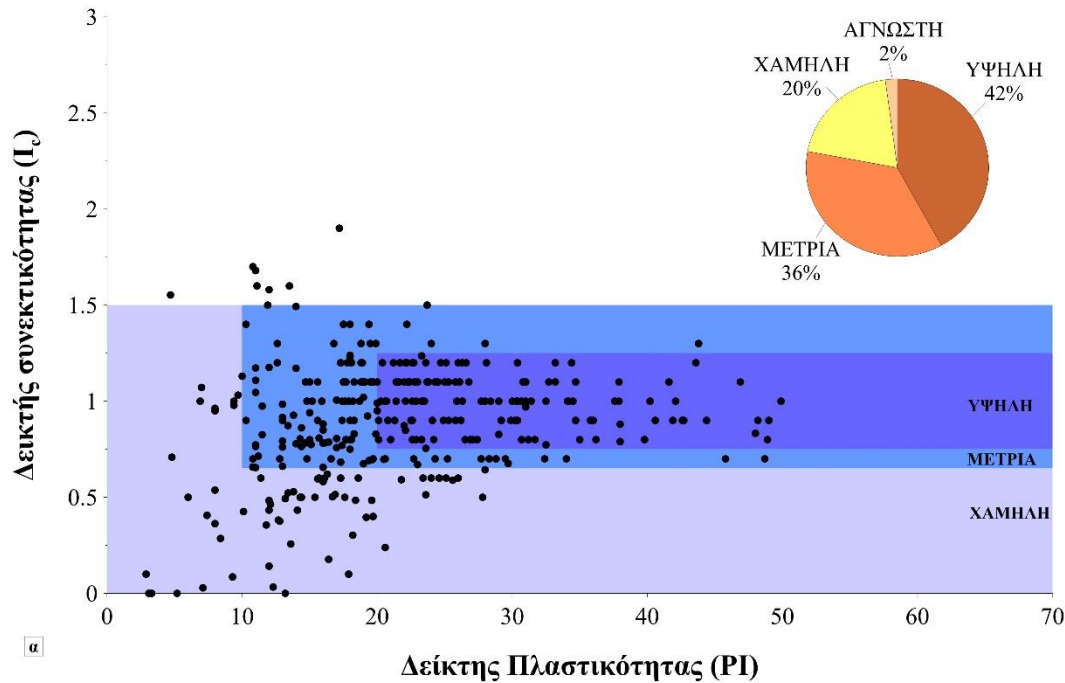
- **Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων**

Στο σχήμα 7.9α προβάλλονται συνολικά 331 σημεία με σκοπό την αξιολόγηση των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, ως προς τη διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων για το βάθος της σήραγγας στην ανατολική περιοχή. Σύμφωνα μ' αυτό, παρατηρείται ένα ποσοστό της τάξης του 36% που εμπίπτει στην περιοχή της μέτριας διακινδύνευσης έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Ποσοστό της τάξης του 20% χαρακτηρίζεται από χαμηλή διακινδύνευση υποδεικνύοντας εδάφη που μπορούν να εκσκαφθούν χωρίς να απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στη λειτουργία του μηχανήματος. Μόλις 2% βρίσκεται εκτός των οριοθετημένων περιοχών όπως έχουν προταθεί από τους Thewes και Burger (2004) και δεν μπορεί να προσδιοριστεί, ενώ το υπόλοιπο 42% εμπίπτει στην περιοχή της υψηλής διακινδύνευσης.

Στο σχήμα 7.9β προβάλλονται 451 σημεία για τη διερεύνηση των εδαφικών σχηματισμών Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, ως προς τη διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων στη δυτική περιοχή. Από την αξιολόγηση του διαγράμματος προκύπτει ένα ποσοστό της τάξης του 7% για το οποίο δεν παρατηρείται διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Το 36% χαρακτηρίζεται από υψηλή διακινδύνευση, ενώ το 2% δεν μπορεί να προσδιοριστεί. Τέλος, το υπόλοιπο 55% εμπίπτει στην περιοχή της μέτριας διακινδύνευσης. Αυτό σημαίνει ότι οι σχηματισμοί μπορούν να εκσκαφθούν έχοντας γίνει πρώτα οι κατάλληλες μηχανικές τροποποιήσεις, κυρίως στην κεφαλή ολομέτωπης κοπής με ασπίδα και στο σύστημα κυκλοφορίας πολφού στην περίπτωση ενός μηχανήματος Slurry. Ακόμη, μπορεί να γίνουν αλλαγές στη λειτουργία του μηχανήματος, όπως μεγαλύτερη χρήση των χημικών πρόσθετων υλικών έχοντας ωστόσο ως αποτέλεσμα τη μείωση του βήματος εκσκαφής.

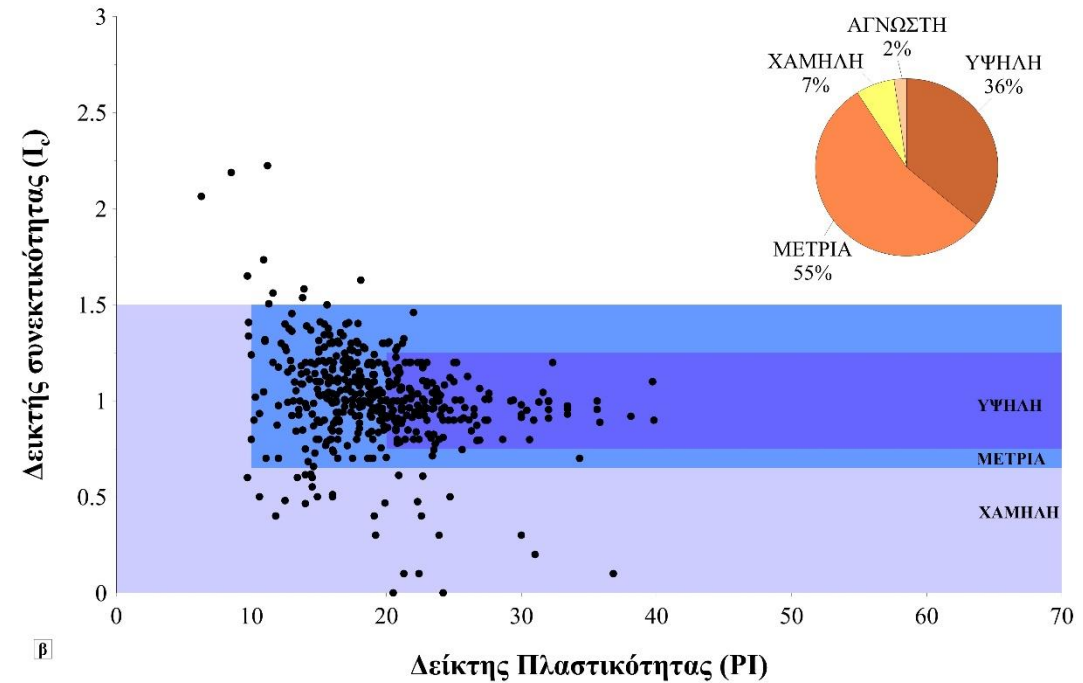
Ανατολική περιοχή
Διακινδύνευση έμφραξης συσσωματωμάτων

N=331



Δυτική περιοχή
Διακινδύνευση έμφραξης συσσωματωμάτων

N=451



Σχήμα 7.9: Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων για βάθος 10-20 m, στην ανατολική (α) και δυτική (β) περιοχή (βλ. Σχήμα 7.5) βασισμένο στην αξιολόγηση των Thewes και Burger (2004)

Συμπερασματικά, οι γεωτεχνικές συνθήκες της πόλης της Θεσσαλονίκης σε συνδυασμό με την παρουσία ευαίσθητων επιφανειακών ή υπόγειων κατασκευών οδηγούν στην επιλογή ενός TBM κλειστού τύπου (Earth Pressure Balance Machine-EPBM ή Slurry Tunnel Boring Machine) ως την κατάλληλη τεχνική διάνοιξης σηράγγων. Από τη διερεύνηση των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών της περιοχής έρευνας με βάση την κοκκομετρική ανάλυση των εδαφικών σχηματισμών, την υδροπερατότητά τους, την ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς και τη διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, προέκυψαν τα εξής:

Για την ανατολική περιοχή προτείνεται η χρήση ενός μηχανήματος EPB. Η συγκεκριμένη επιλογή φαίνεται να είναι η πλέον κατάλληλη καθώς κατά τη διάνοιξη αναμένεται να συναντηθούν κατά βάση λεπτόκοκκοι εδαφικοί σχηματισμοί Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας που χαρακτηρίζονται στην πλειονότητά τους από χαμηλές τιμές υδροπερατότητας (1.0×10^{-5} m/sec).

Για τη δυτική περιοχή συναντώνται κατά θέσεις, οι χαλαρές αμμώδεις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας οι οποίες μπορεί να είναι επιρρεπείς στη δημιουργία καθιζήσεων κατά τη διάνοιξη σηράγγων. Ωστόσο, ακόμη και σ' αυτή την περίπτωση όπου παρατηρούνται μεμονωμένες περιοχές με μεγαλύτερες τιμές υδροπερατότητας, η χρήση ενός μηχανήματος EPB στις κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας, όπως αναλύονται στην αρχή του κεφαλαίου, φαίνεται να είναι η πλέον αποτελεσματική.

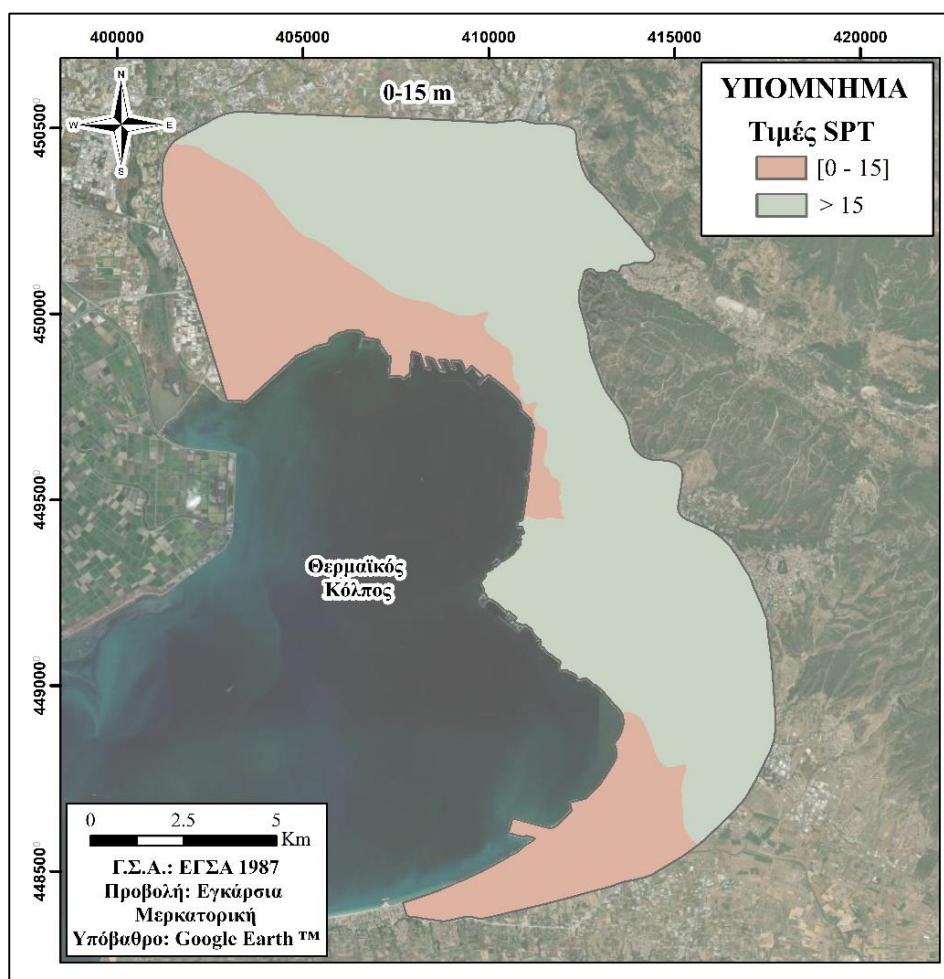
Τέλος, αναφορικά με τη διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε ως προς την ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς στα συνεκτικά εδάφη και τη διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, η προσέγγιση των Thewes και Burger (2004) είναι λιγότερο αισιόδοξη σε σχέση μ' αυτή που προτείνεται από την Geodata-Torino (1995) τόσο για την ανατολική, όσο και για τη δυτική περιοχή.

7.2.2 Θεμελιώσεις

Το επόμενο παράδειγμα που παρουσιάζεται ως προς τις εφαρμογές της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων είναι η χαρτογράφηση περιοχών όπου απαιτούνται βαθιές θεμελιώσεις κατά την κατασκευή σημαντικών τεχνικών έργων. Στο Σχήμα 7.10 απεικονίζονται δύο διαφορετικές ζώνες τιμών SPT για τους εξεταζόμενους σχηματισμούς που εμφανίζονται στα πρώτα 15 m. Σύμφωνα μ' αυτό, περιοχές με χαμηλές τιμές $SPT=[0-15]$ εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής έρευνας με μέγιστη απόσταση από την ακτογραμμή περί το 1 km. Μάλιστα, αυτές παρατηρούνται μέχρι το βάθος των 12 m στην περιοχή της πλατείας Αριστοτέλους και πλησίον του Μεγάρου Μουσικής. Το ίδιο εύρος τιμών εντοπίζεται σε μεγαλύτερες, ως προς την έκταση, περιοχές τόσο στο ανατολικό, όσο και στο δυτικό τμήμα της λεκάνης Θεσσαλονίκης. Αυτές οι τιμές παρατηρούνται κυρίως εντός των πρώτων 7 έως 9 m σε βάθος για τις περιοχές από το αεροδρομίο Θεσσαλονίκης μέχρι την Περαιά κι από το λιμάνι έως το Καλοχώρι και τη Νέα Μαγνησία. Σημειώνεται ότι οι συγκεκριμένες τιμές SPT

αντιστοιχούν αποκλειστικά στις τεχνητές επιχώσεις καθώς και σε συγκεκριμένες στρώσεις εντός των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας, οι οποίες αποτελούνται από μεγάλου πάχους (>5 m) πρόσφατες μαλακές ή/και χαλαρές αποθέσεις. Επομένως, μ' αυτόν τον τρόπο οριοθετούνται περιοχές που χαρακτηρίζονται από πτωχές γεωτεχνικές παραμέτρους για τις οποίες μπορεί να απαιτηθούν βαθιές θεμελιώσεις (π.χ. με κατασκευή φρεατοπασσάλων) για την κατασκευή σημαντικών θεμελιώσεων (π.χ. υψηλές κτιριακές εγκαταστάσεις, επιχώματα)

Όσον αφορά στην υπόλοιπη περιοχή, παρατηρούνται τιμές $SPT > 15$ κυρίως εντός των αποθέσεων Νεογενούς ηλικίας, υποδηλώνοντας καλύτερες γεωτεχνικές ιδιότητες. Γενικά, αυτά τα υλικά παρουσιάζουν αισθητά υψηλότερες τιμές στις διάφορες παραμέτρους αντοχής, συγκριτικά με τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας (βλ. Πίνακα 6.3) και δεν αναμένονται ασταθείς γεωτεχνικές συνθήκες κατά τη διαδικασία κατασκευής βαθιών θεμελιώσεων κι εκσκαφών εντός αυτών.

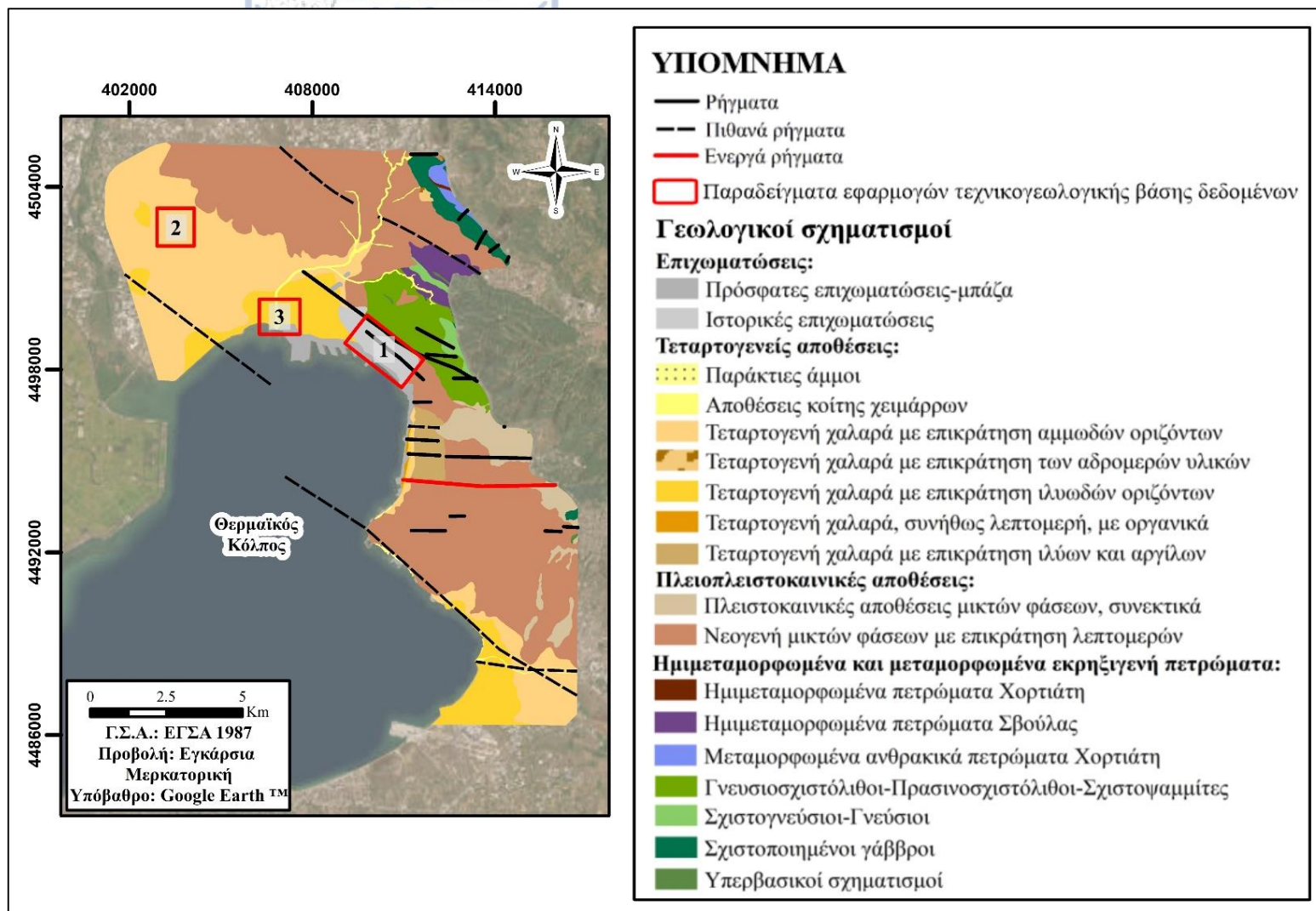


Σχήμα 7.10: Θεματικός χάρτης κατανομής τιμών SPT σε βάθος 0-15 m για τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας

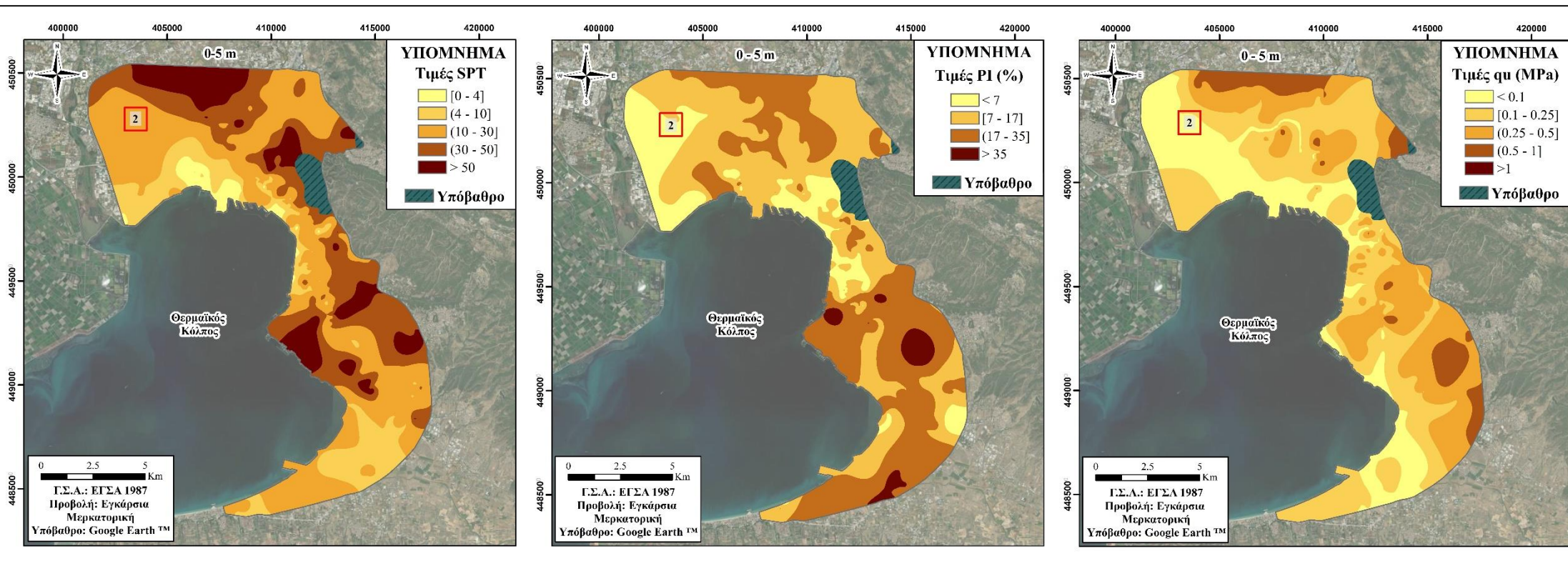
Στις επόμενες παραγράφους, το ενδιαφέρον εστιάζεται σε συγκεκριμένες περιοχές για τις οποίες πραγματοποιείται πιο λεπτομερής διερεύνηση των επιτόπου συνθηκών, αναδεικνύοντας τις διάφορες χρήσεις της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων μέσα από εφαρμογές για τον σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνικών έργων.

Η πρώτη περίπτωση που μελετάται είναι αυτής της «περιοχής 1» (Σχήμα 7.11) στο ιστορικό κέντρο της πόλης, όπου εντοπίζονται οι τεχνητές επιχώσεις και το αρχαιολογικό στρώμα σε βάθος που μπορεί να φτάσει έως και τα 13 m (βλ. Σχήμα 5.4). Πρόκειται για πρόσφατα υλικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως πλίνθοι, τμήματα τοιχοποιίας, κεραμικά, τούβλα, οστά κ.λπ. μέσα σε χαλικώδη, αμμώδη, αργιλοϊλυώδη έως χαλικώδη αργιλοαμμώδη υλικά σε μαλακή-χαλαρή κατάσταση, που εμφανίζουν ασταθείς τεχνικογεωλογικές συνθήκες. Τα συγκεκριμένα υλικά παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλές τιμές αντοχής που σε συνδυασμό με τις υψηλές έως πολύ υψηλές τιμές υδροπερατότητας (βλ. σχήμα 5.27), καθιστούν επισφαλή την έδραση σημαντικών θεμελιώσεων, ιδίως στην περίπτωση εκδήλωσης φαινομένων ρευστοποίησης. Ως εκ τούτου, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση αυτών των υλικών, με σκοπό την πρόταση ειδικών γεωτεχνικών λύσεων ενίσχυσης του εδάφους για τη θεμελίωση τέτοιων κατασκευών. Σημειώνεται επίσης το γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περιοχή η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, βρίσκεται σε μικρά βάθη από την επιφάνεια του εδάφους. Το γεγονός αυτό επιβάλλει επιπλέον διερεύνηση ως προς την ενδεχόμενη διαχείριση των εισροών υπογείου νερού κατά την κατασκευή αυτών των τεχνικών έργων.

Ακόμη ένα παράδειγμα που αξιολογείται ως προς τις συνθήκες θεμελίωσης είναι αυτό της «περιοχής 2» του Σχήματος 7.11, στην Ν. Ιωνία. Εκεί εντοπίζονται σε μικρά βάθη αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας οι οποίες αποτελούνται κατά βάση από μαλακές έως σταθερές αμμώδεις ιλύες και χαλαρές έως μέτρια πυκνές ιλυώδεις άμμους. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα και τους θεματικούς χάρτες κατανομή τιμών SPT, PI και q_u για τα πρώτα 5 m (Σχήμα 7.12), παρατηρούνται συνολικά χαμηλές τιμές ($N_{SPT} = 10 - 17$, $6 < PI < 12$ και $q_u = 0.05 - 0.16$ MPa), καθιστώντας τα εδαφικά υλικά ακατάλληλα για αβαθείς θεμελιώσεις ή/και ρηχές εκσκαφές χωρίς τη χρήση τεχνικών βελτίωσης εδάφους.



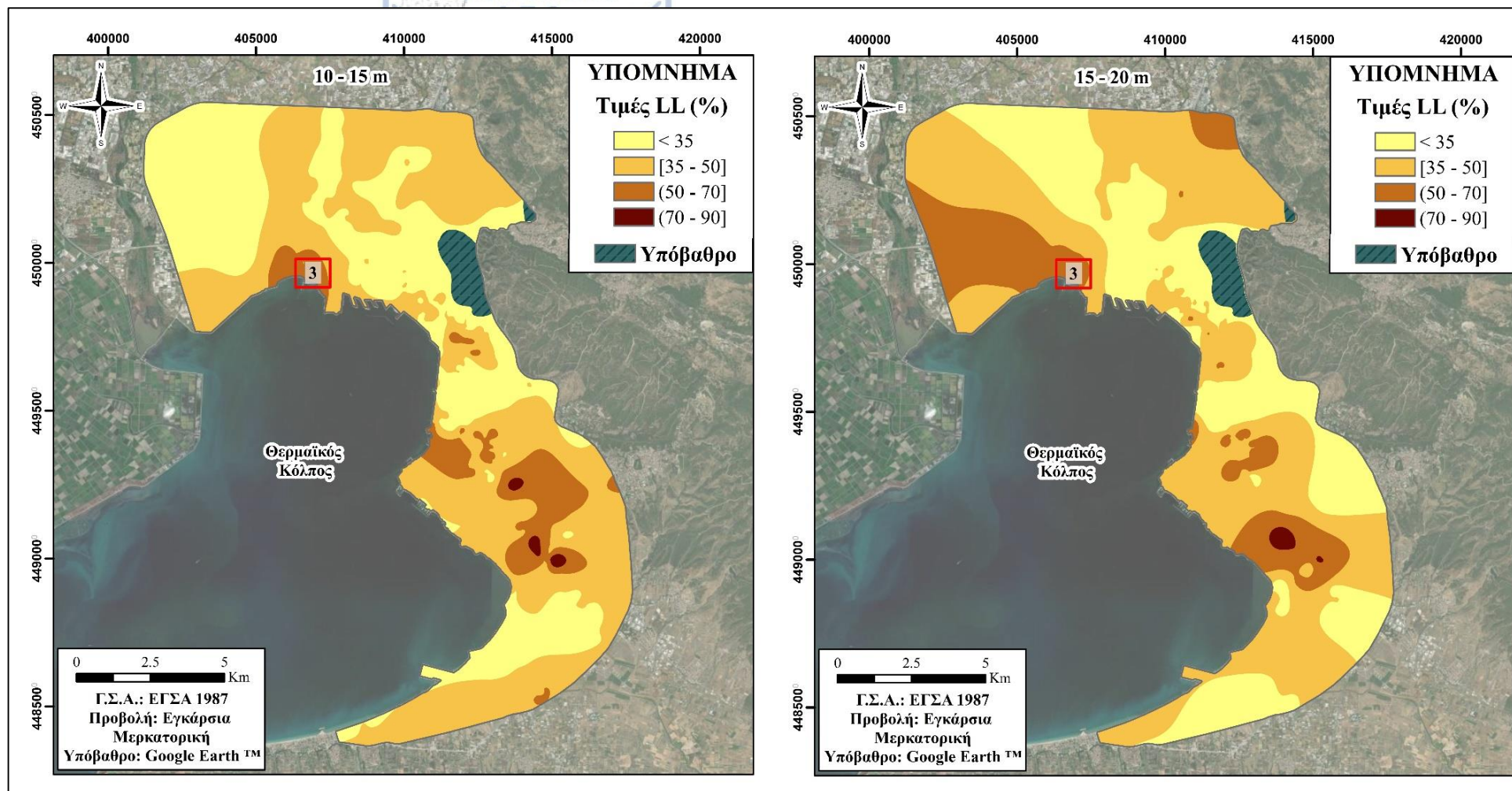
Σχήμα 7.11: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, όπου απεικονίζονται συγκεκριμένα παραδείγματα χρήσης της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων στην περιοχή έρευνας (πλαίσια 1, 2 και 3)



Σχήμα 7.12: Χάρτες κατανομής τιμών SPT, PI και q_u των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας για βάθη 0-5 m, όπου απεικονίζεται η «περιοχή 2» (βλ. Σχήμα 7.11)

Η τελευταία περιοχή που διερευνάται ως προς τις συνθήκες θεμελίωσης, βρίσκεται δυτικά του λιμανιού της Θεσσαλονίκης και απεικονίζεται στην «περιοχή 3» (Σχήμα 7.11). Σύμφωνα με διαθέσιμα αποτελέσματα ερευνών που έχουν διεξαχθεί στην περιοχή, αυτή αποτελείται από Τεταρτογενή ιζήματα λιμνοθαλάσσιας και παράκτιας (δελταϊκής) προέλευσης, σε ιδιαίτερα χαλαρή - μαλακή κατάσταση τουλάχιστον επιφανειακά, τα οποία σχηματίζουν ελώδεις εκτάσεις με υψόμετρο ελαφρώς μεγαλύτερο απ' αυτό της θάλασσας. Γενικά, η περιοχή παρουσιάζει χαμηλή έως μέτρια υδροπερατότητα, ενώ άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται συστηματικά σε μικρά βάθη και κυμαίνεται μεταξύ 1.0 και 2.0 m για την περίοδο Οκτωβρίου 2018 σύμφωνα με διαθέσιμα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή παρουσιάζει οριζόντια στρωμάτωση με την εξής αλληλουχία στρώσεων από την επιφάνεια του εδάφους:

- Κατά θέσεις παρατηρούνται τεχνητές επιχώσεις χωρίς ιδιαίτερη συμπίκνωση, αποτελούμενες από επιφανειακές χαλαρές έως μαλακές αμμοϊλίδες με φυτικά.
- Στρώμα ιλυώδους άμμου, χαλαρής έως τοπικά μέσης πυκνότητας Τεταρτογενούς ηλικίας, μέχρι βάθη της τάξης των 12-15 m.
- Ιδιαίτερα μαλακό - συμπιεστό αργιλικό στρώμα Τεταρτογενούς ηλικίας που συναντάται βαθύτερα των 12-15 m και μέχρι βάθη της τάξης των 30-35 m. Η ύπαρξη παλαιών ρεμάτων (βλ. Σχήμα 4.16) συνδέεται μ' αυτές τις πρόσφατες ποτάμιες αποθέσεις που παρουσιάζουν μεγάλες τιμές LL (Σχήμα 7.13), υποδηλώνοντας την υψηλή συμπιεστότητα αυτών των υλικών.
- Βαθύτερα, συναντώνται συνήθως αμμοαργιλώδη γεωυλικά Νεογενούς ηλικίας σε στιφρή έως πολύ στιφρή κατάσταση με το βάθος.



Σχήμα 7.13: Χάρτες κατανομής τιμών LL των αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας για βάθη 10-15 m (αριστερά) και 15-20 m (δεξιά), όπου απεικονίζεται η περιοχή «3» (βλ. Σχήμα 7.2)

Συνοπτικά, οι παραπάνω περιγραφές του εδαφικού σχηματισμού, υποδεικνύουν αυξημένες και χρονικά αργά εξελισσόμενες καθιζήσεις των έργων -αναλόγως και των φορτίων- που πρόκειται να θεμελιωθούν επιφανειακά, γεγονός που επιβάλλει τη λήψη μέτρων για τη βελτίωση του υπεδάφους. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της κατασκευής ενός επιμήκους επιχώματος (π.χ. οδοποιία), προτείνεται η θεμελίωση του τεχνικού να γίνει είτε με προφόρτιση και χαλικοπασσάλους, είτε επί εμπηγνυόμενων πασσάλων μεγάλης εκτοπίσεως (stone columns) με σκοπό την ενίσχυση του συμπιεστού αργιλικού στρώματος και τη βελτίωση της χαλαρής ιλυώδους άμμου. Μ' αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους, επιταχύνεται η στερεοποίησή του κι επομένως περιορίζεται η εμφάνιση αναμενόμενων καθιζήσεων.

Επίσης, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι η υψηλή στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα καθιστά προβληματικές τις εκσκαφές που διενεργούνται εντός των πρώτων 15 m, όπου συναντώνται κατά βάση τα χαλαρά αμμώδη εδάφη. Για την εξασφάλιση της ευστάθειας των πρανών ορυγμάτων και την ελαχιστοποίηση των μετακινήσεων σ' αυτές τις θέσεις, προτείνονται προσωρινά ή μόνιμα συστήματα αντιστηρίξεων μαζί με αποστράγγιση για τη μείωση των πιέσεων νερού των πόρων.

Τέλος, αναφορικά με τις βαθιές θεμελιώσεις κτιρίων στην ίδια περιοχή, αυτές προτείνεται να πραγματοποιηθούν με χρήση έγχυτων πασσάλων με σκοπό να περιορίσουν τις καθιζήσεις, μεταφέροντας τα φορτία σε μεγαλύτερα βάθη, όπου συναντώνται οι στιφρές έως πολύ στιφρές αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας με επαρκή φέρουσα ικανότητα. Σημαντικά πλεονεκτήματα των φρεατοπασσάλων, που ενισχύουν περαιτέρω την επιλογή τους στην προκειμένη περίπτωση, είναι το γεγονός ότι αυτοί μπορούν να κατασκευαστούν σε μεγάλα βάθη (έως και 60 m), χωρίς δυνατό θόρυβο και δονήσεις κι ότι έχουν πολύ μικρή επίδραση στις ήδη υπάρχουσες γειτονικές κατασκευές.

Ακολούθως, παρουσιάζονται συνοπτικά οι διάφορες ζώνες/περιοχές γεωλογικής επικινδυνότητας όπως προσδιορίστηκαν με βάση τη διερεύνηση των επιτόπου τεχνικογεωλογικών συνθηκών για τις οποίες κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω διενέργεια γεωτεχνικών ερευνών στα κατά περίπτωση τεχνικά έργα:

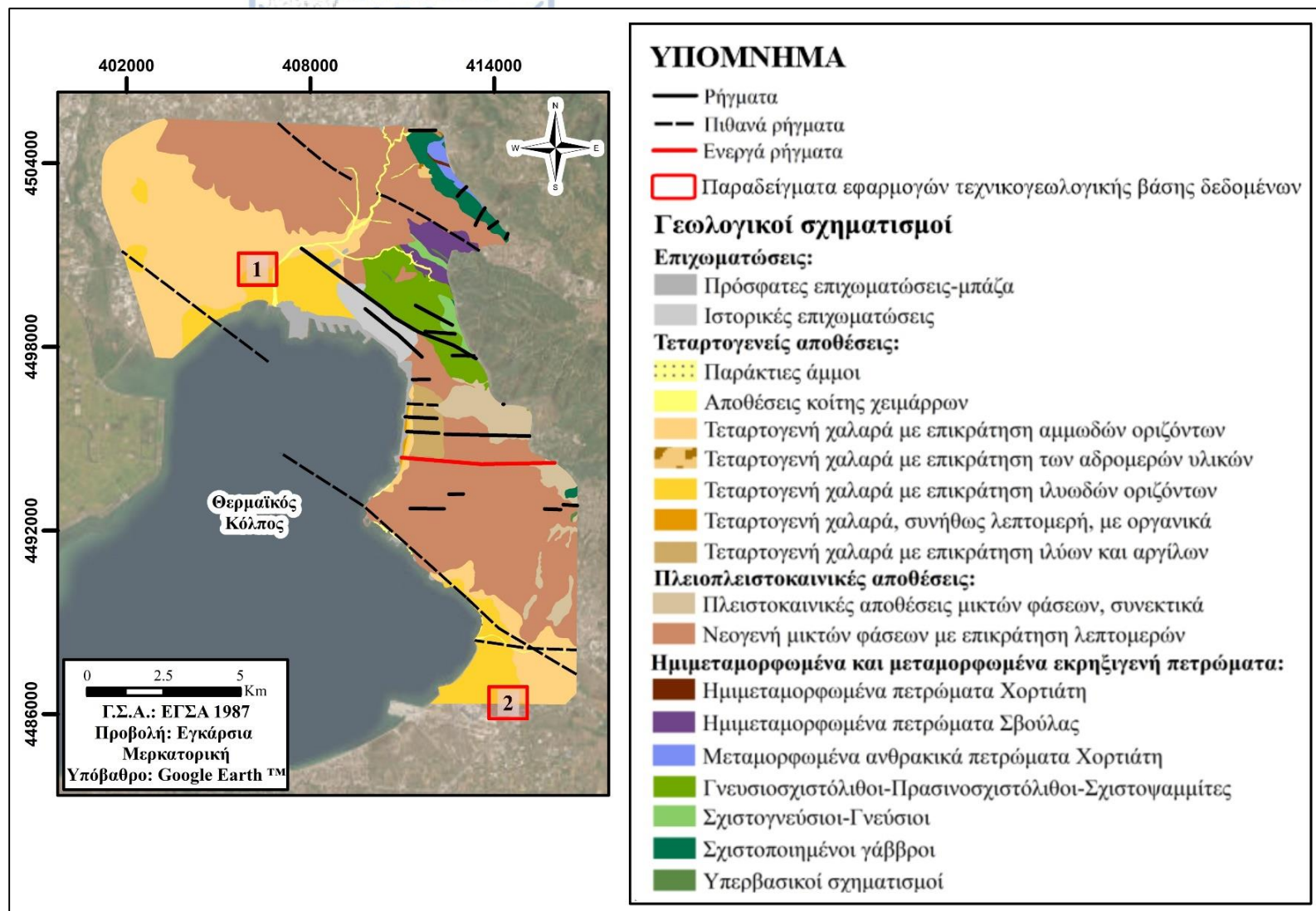
- i. Παρουσία μαλακών λεπτόκοκκων γεωυλικών σε μικρό βάθος (<5 m) με υποκείμενο γεωλογικό ορίζοντα χαμηλής ή μέτριας συμπίκνωσης.
- ii. Παρουσία μεγάλου πάχους (>5 m) πρόσφατων τεχνητών επιχώσεων ανθρωπογενούς προέλευσης και αρχαιολογικών επιχωματώσεων.
- iii. Παρουσία οριζόντων/στρώσεων υλικών χαμηλής συνεκτικότητας/πυκνότητας σε συνδυασμό με υψηλές έως πολύ υψηλές τιμές υδροπερατότητας.
- iv. Παρουσία ιδιαίτερα μαλακών και συμπιεστών αργιλικών στρωμάτων που συναντώνται σε σημαντικά βάθη (>10-15 m).

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που απασχολούν τον γεωτεχνικό αντισεισμικό σχεδιασμό αποτελεί ο κίνδυνος της ρευστοποίησης των εδαφικών σχηματισμών. Το φαινόμενο της ρευστοποίησης παρατηρείται σε μη συνεκτικά κορεσμένα χαλαρά εδάφη που υποβάλλονται σε δυναμική φόρτιση υπό αστράγγιστες συνθήκες. Καθώς πραγματοποιείται προοδευτική αύξηση της πίεσης των πόρων και οι ενεργές τάσεις μειώνονται ή/και μηδενίζονται, οι κόκκοι του εδάφους χάνουν την επαφή μεταξύ τους και έτσι το έδαφος συμπεριφέρεται προσωρινά ως ρευστό. Το φαινόμενο της ρευστοποίησης έχει παρατηρηθεί αρκετά συχνά μετά από σεισμούς μεγέθους ($M > 6.0$) προκαλώντας σημαντικές βλάβες σε διάφορες κατασκευές (π.χ. κτίρια, δρόμους, επιχώματα κ.ά.).

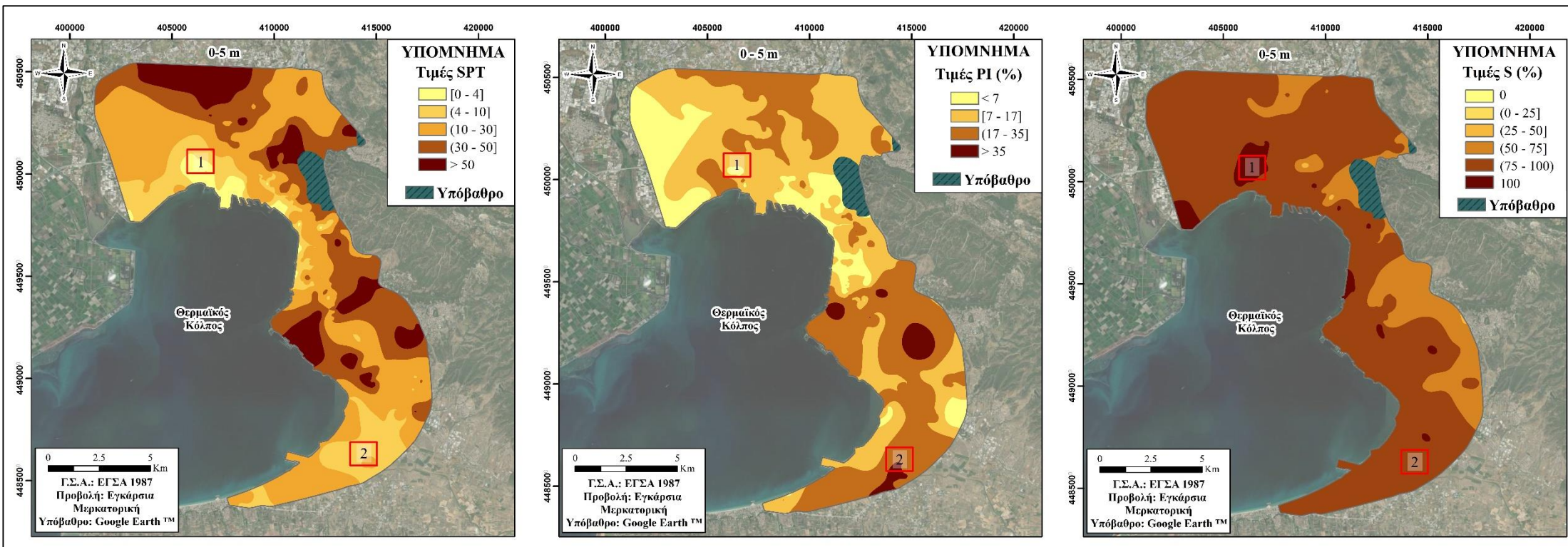
Το φαινόμενο της ρευστοποίησης συνδέεται άμεσα με τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδαφικού σχηματισμού στην υπό έρευνα θέση. Προκειμένου μία εδαφική στρώση να θεωρηθεί εν δυνάμει ρευστοποιήσιμη θα πρέπει σε πρώτο στάδιο να διερευνηθεί η επιδεκτικότητά της σε ρευστοποίηση, εξετάζοντας αν πληροί ορισμένα κριτήρια. Δεδομένου ότι το φαινόμενο της ρευστοποίησης ερευνάται συστηματικά τις τελευταίες δεκαετίες, τα κριτήρια αξιολόγησης ως προς την επιδεκτικότητα ενός εδαφικού σχηματισμού εξελίσσονται συνεχώς. Τα πρώτα κριτήρια εισήχθησαν από τον Wang (1979) και εν συνεχεία τροποποιήθηκαν από τους Seed και Idriss (1982). Ωστόσο, πιο πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι σε πολλές περιπτώσεις τα «κινέζικα κριτήρια», όπως είναι γνωστά στη διεθνή βιβλιογραφία τα αποτελέσματα της μελέτης του Wang (1979), είναι αναποτελεσματικά και προτάθηκαν εκ νέου τροποποιήσεις από τους Boulanger και Idriss (2006) και Bray και Sancio (2006). Πιο συγκεκριμένα, οι Boulanger και Idriss (2006) ταξινομούν τα εδάφη σε αυτά που συμπεριφέρονται ως αμμώδη (sand-like) κι εδάφη που συμπεριφέρονται ως αργιλώδη (clay-like) με βάση το PI, με μια μεταβατική ζώνη μεταξύ αυτών των δύο κατηγοριών. Αντίστοιχα, σύμφωνα με τους Bray και Sancio (2006), ο δείκτης πλαστικότητας, μαζί με την περιεχόμενη υγρασία και το όριο υδαρότητας, αποτελούν αξιόπιστο δείκτη επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση.

Στην παρούσα έρευνα, επιλέγεται η μεθοδολογία των Bray και Sancio (2006) καθώς οι συγκεκριμένοι συγγραφείς θεωρούν την τιμή $PI=12$ ως όριο επιδεκτικών και μη επιδεκτικών στη ρευστοποίηση εδαφών, έναντι του $PI=7$ που χρησιμοποιείται από τους Boulanger και Idriss (2006). Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι λόγω της εποχικής διακύμανσης που παρατηρείται σε κάποιες γεωτρήσεις, οι τιμές της φυσικής υγρασίας σε σχέση με το όριο υδαρότητας (w/LL) δεν αξιολογούνται ως προς τη διερεύνηση της επιδεκτικότητας των εδαφών. Ο λόγος είναι η διαθεσιμότητα των συγκεκριμένων φυσικών παραμέτρων κι επομένως λαμβάνονται υπόψη μόνο οι τιμές του PI.

Το πρώτο παράδειγμα εφαρμογής της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων που παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο, είναι η οριοθέτηση περιοχών ως προς την εκδήλωση ρευστοποίησης. Γι' αυτή τη διερεύνηση, επιλέγονται δύο περιοχές (Σχήμα 7.14) για τις οποίες λαμβάνεται υπόψη η σύσταση των εξεταζόμενων σχηματισμών, το κυρίαρχο μέγεθος των κόκκων, καθώς και η κατανομή των δεδομένων SPT, PI και S των πρώτων 5 m. Σύμφωνα με το σχήμα 7.15, επιδεκτικά σε ρευστοποίηση εδάφη παρατηρούνται σε χαλαρές ($N_{SPT} \leq 10$), κορεσμένες ($S=100\%$), Τεταρτογενείς αμμώδεις αποθέσεις (π.χ. περιοχή 1), με χαμηλή ή καθόλου πλαστικότητα ($PI \leq 12\%$) και μικρότερη από 20% περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά. Αντίστοιχα, σε περιοχές που εντοπίζονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της πόλης (π.χ. περιοχή 2), όπου επικρατούν επιφανειακά οι αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας με $4 < N_{SPT} \leq 10$, $17 < PI \leq 35\%$, $75 < S \leq 100\%$ και μεγαλύτερη από 20% περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα, δεν αναμένεται εκδήλωση του φαινομένου της ρευστοποίησης.



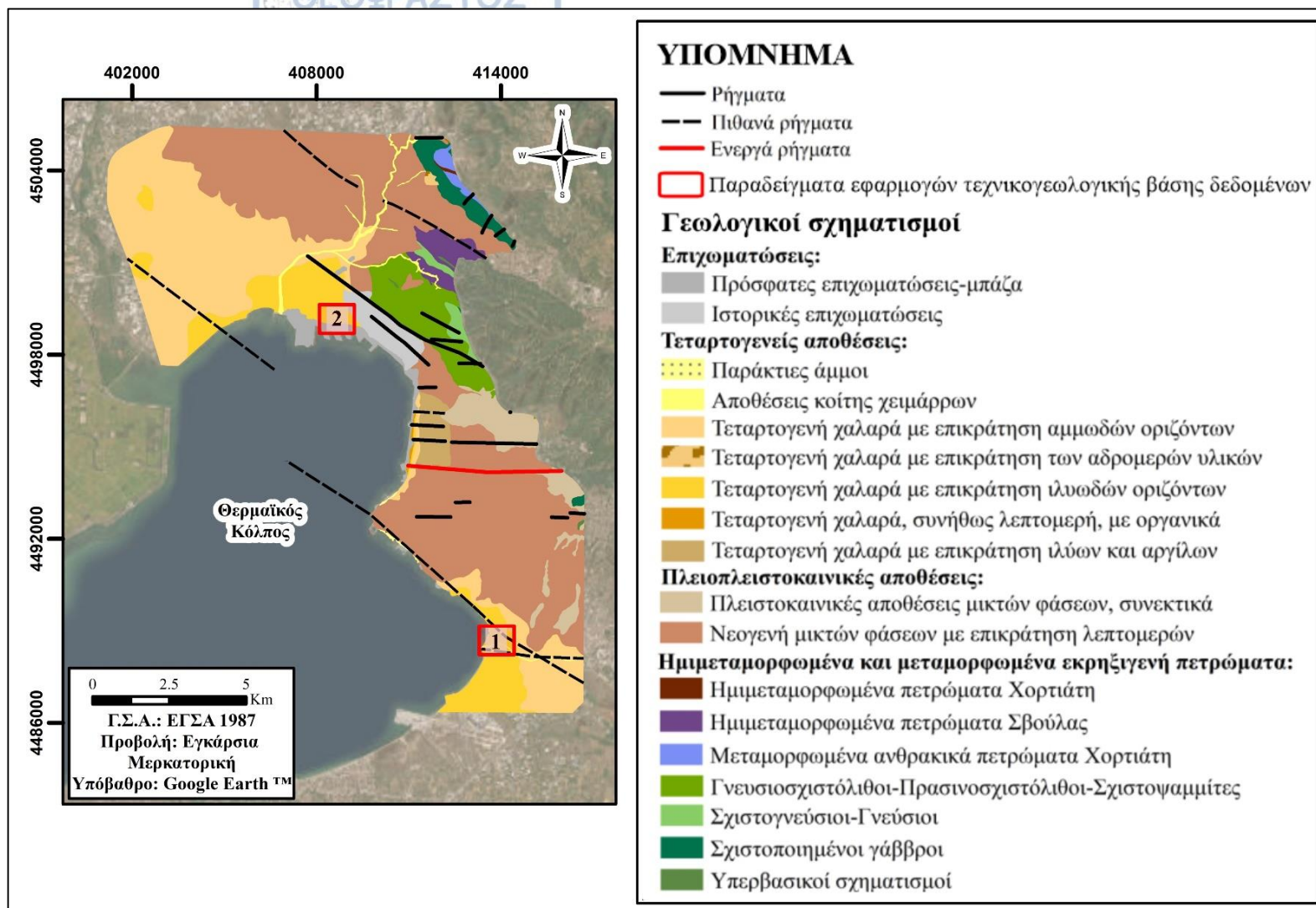
Σχήμα 7.14: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, όπου απεικονίζονται συγκεκριμένα παραδείγματα ως προς την εκδήλωση ρευστοποίησης στην περιοχή έρευνας (πλαίσια 1 και 2)



Σχήμα 7.15: Χάρτες κατανομής τιμών SPT, PI και S των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για βάθη 0-5 m, όπου απεικονίζονται οι περιοχές «1» και «2» (βλ. Σχήμα 7.13)

Για τη διερεύνηση του δυναμικού ρευστοποίησης, εκτός από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, χρησιμοποιούνται εμπειρικές σχέσεις που συσχετίζουν τις παραμέτρους διάφορων επιτόπου δοκιμών με τη συμπεριφορά των εξεταζόμενων εδαφικών σχηματισμών. Οι επιτόπου δοκιμές έχουν το πλεονέκτημα ότι εκτελούνται στο πεδίο κι επομένως δεν μεσολαβούν άλλες διαδικασίες που διαταράσσουν περαιτέρω τη δομή του εκάστοτε δοκιμίου. Υπάρχουν διάφορες μετρήσεις πεδίου που χρησιμοποιούνται ευρέως στην αξιολόγηση της αντοχής των εδαφικών σχηματισμών και στην εκτίμηση του δυναμικού της ρευστοποίησης. Μεταξύ αυτών είναι η δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (SPT), η δοκιμή διείσδυσης κώνου (CPT) και η μέτρηση της ταχύτητας διάδοσης ελαστικών κυμάτων (Vs).

Στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT και CPT με σκοπό τη διερεύνηση δύο περιοχών ως προς τη εκδήλωση ρευστοποίησης. Αυτές παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.16 κι αντιστοιχούν στην ευρύτερη περιοχή που εδράζεται το Απολλώνια Πολιτεία (περιοχή 1) και σε τμήμα του Οργανισμού Λιμένα Θεσσαλονίκης (περιοχή 2). Η επιλογή των συγκεκριμένων περιοχών προέκυψε κατά κύριο λόγο από τη διαθεσιμότητα των SPT και CPT δεδομένων, τα οποία αξιολογούνται συνδυαστικά για κάθε περίπτωση. Σημειώνεται ότι τα δεδομένα που αφορούν στη στρωματογραφία και το καθεστώς των υπόγειων υδάτων στις υπό έρευνα περιοχές, αντιστοιχούν σε μετρήσεις προτού κατασκευαστούν τα κτίρια για τα οποία πραγματοποιήθηκαν οι εκάστοτε τεχνικές μελέτες. Επομένως, οι επιτόπου συνθήκες αναμένεται να είναι ελαφρώς τροποποιημένες. Ακολούθως, πραγματοποιείται αναλυτική διερεύνηση των επιτόπου συνθηκών των εξεταζόμενων περιοχών.

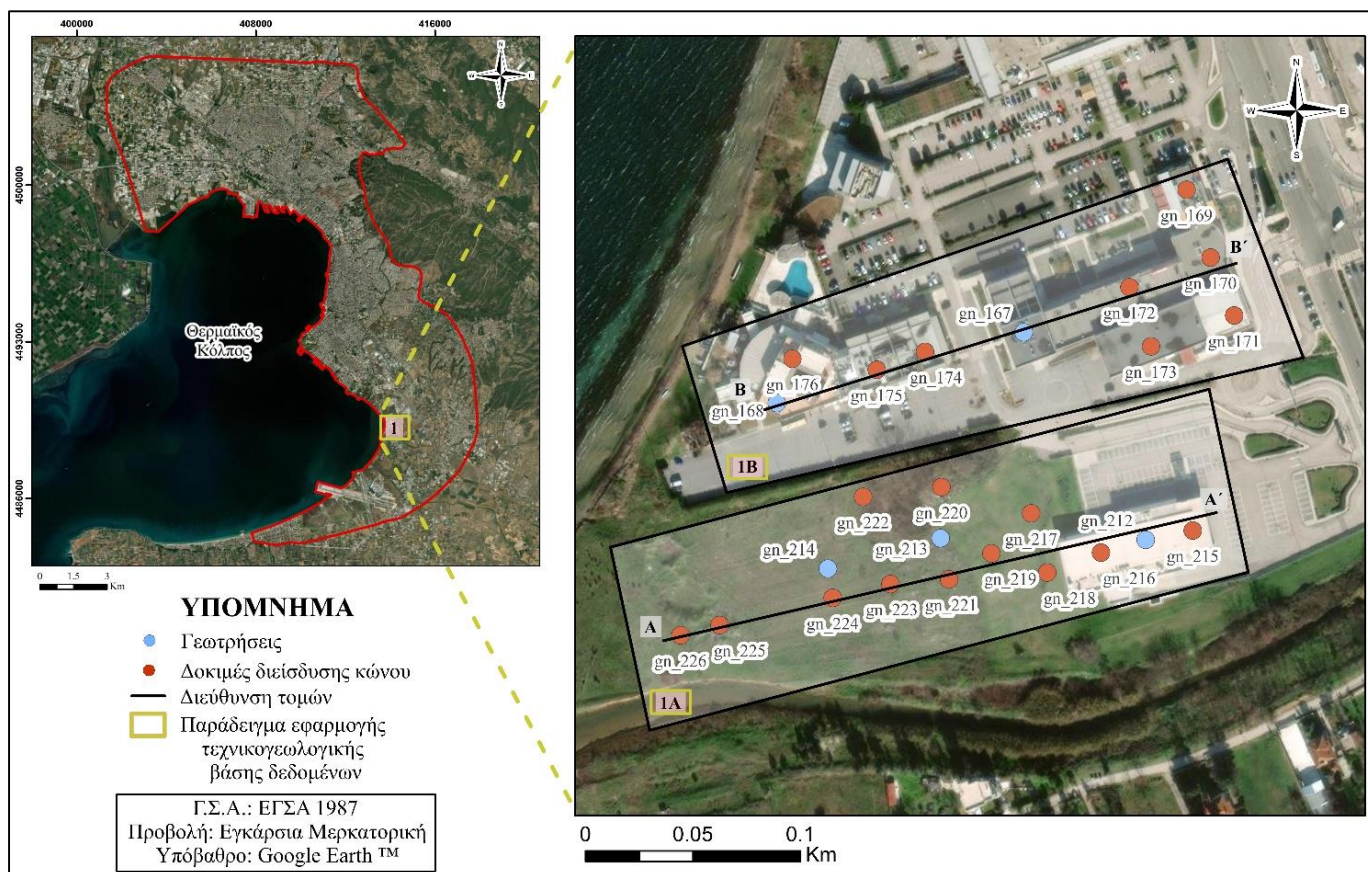


Σχήμα 7.16: Επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, όπου απεικονίζονται συγκεκριμένα παραδείγματα ως προς την εκδήλωση ρευστοποίησης για τις εξής περιοχές: Απολλώνια Πολιτεία (περιοχή 1) και Οργανισμός Λιμένα Θεσσαλονίκης (περιοχή 2)

Περιοχή 1 - Απολλώνια Πολιτεία

Σύμφωνα με το διαθέσιμο γεωλογικό και τεχνικογεωλογικό χάρτη (βλ. Σχήμα 7.16), η ευρύτερη περιοχή αποτελείται κυρίως από παράκτιες αποθέσεις. Τα υλικά αυτά περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο αμμώδεις αργίλους ή/και ιλύες, σε εναλλαγές με στρώματα άμμων, σε κατάσταση μέσης πυκνότητας και συνεκτικότητας. Με βάση τα αποτελέσματα των ερευνητικών εργασιών το υπέδαφος στη συγκεκριμένη θέση συνίσταται κυρίως από λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά μέσης συνεκτικότητας έως στιφρής κατάστασης, με ενστρώσεις αδρόκοκκων υλικών σε μέση κατάσταση. Επιφανειακά, υπάρχουν τεχνητές επιχώσεις χαμηλής πλαστικότητας από παλαιότερες ανθρωπογενείς επεμβάσεις.

Στην περιοχή 1 διακρίνονται δύο υποπεριοχές (Α και Β) μικρότερης έκτασης οι οποίες αξιολογούνται μεμονωμένα με σκοπό τη διερεύνηση των επιτόπου συνθηκών καθώς και της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση. Ο διαχωρισμός των υποπεριοχών προέκυψε με βάση την απόστασή τους από το ρέμα και απεικονίζεται στο Σχήμα 7.17



Σχήμα 7.17: Παράδειγμα «περιοχής 1» (βλ. Σχήμα 7.16), όπου διακρίνονται οι υποπεριοχές Α και Β

Περιοχή 1Α

Η έρευνα του υπεδάφους στη συγκεκριμένη περιοχή πραγματοποιήθηκε με τη διεξαγωγή δοκιμών πρότυπης διείσδυσης - SPT (gn_212 έως gn_214) και με την εκτέλεση δοκιμών πρότυπης διείσδυσης - CPT (gn_215 έως gn_226). Οι θέσεις διεξαγωγής των παραπάνω ερευνητικών εργασιών απεικονίζονται στο Σχήμα 7.17. Στον πίνακα 7.1 δίνονται πληροφορίες σχετικά με τα βάθη τους, τη στάθμη των υπόγειων υδάτων καθώς και την ακριβή χιλιομετρική θέση τους, όπως αυτή παρουσιάζεται στον άξονα χ των διάφορων τομών που παρουσιάζονται ακολούθως.

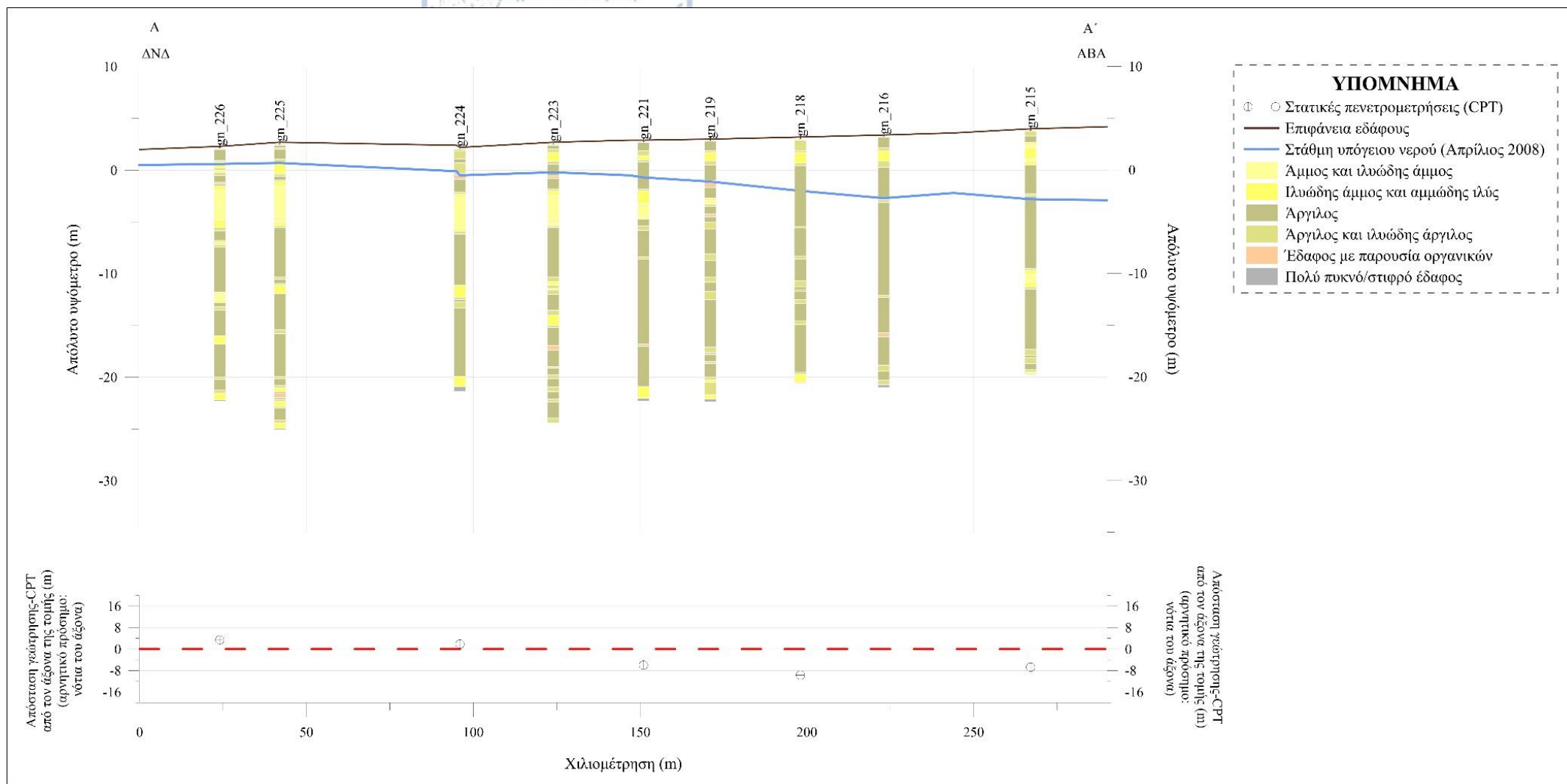
Πίνακας 7.1: Πληροφορίες σχετικά τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και πενетроμετρήσεις της περιοχής «1Α»

Δοκιμές SPT/CPT	Υψόμετρο κεφαλής-Z (m)	Βάθος έρευνας (m)	Στάθμη υ.υ.ο. (m)	Υψόμετρο υδάτινου ορίζοντα (m)	Χιλιομετρική θέση τομής ΑΑ'
gn_212	+3.6	15.05	5.8	-2.2	0+244
gn_213	+2.9	20.00	3.4	-0.5	0+147
gn_214	+2.4	20.00	2.5	-0.1	0+095
gn_215	+4.0	23.80	6.8	-2.8	0+267
gn_216	+3.4	24.40	6.1	-2.7	0+223
gn_217	+3.2	24.20	5.2	-2.0	-
gn_218	+3.2	23.80	5.2	-2.0	0+198
gn_219	+3.0	25.40	4.1	-1.1	0+171
gn_220	+3.0	26.8	3.1	-0.1	-
gn_221	+2.9	25.20	3.6	-0.7	0+151
gn_222	+2.6	28.4	2.7	-0.1	-
gn_223	+2.7	27.20	2.9	-0.2	0+124
gn_224	+2.2	23.60	2.7	-0.5	0+096
gn_225	+2.7	27.80	2.0	+0.7	0+042
gn_226	+2.3	24.60	1.7	+0.6	0+024

Συνολικά, για την περιοχή «1Α» κατασκευάστηκαν έξι τομές κατά μήκος της διεύθυνσης της γεωλογικής τομής ΑΑ'. Για τη δημιουργία των επιμέρους τομών της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις διαθέσιμες γεωτρήσεις κι εννέα από τις συνολικά δώδεκα στατικές πενетроμετρήσεις.

Σχετικά με τη στάθμη των υπόγειων υδάτων και σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα, τα βάθη κυμαίνονται από +1,7 m έως +6,8 m από την επιφάνεια του εδάφους. Τα υψόμετρα της στάθμης των υπόγειων υδάτων, συναντώνται μεταξύ +0.7 m και -2.7 m. Από τις διάφορες τομές που κατασκευάστηκαν για τη συγκεκριμένη περιοχή, φαίνεται ότι η στάθμη δεν είναι οριζόντια, αλλά έχει μια μικρή κλίση της τάξης του 1.7% με βύθιση από την παραλιακή ζώνη προς τα ανατολικά. Αυτό πιθανώς οφείλεται σε τυχόν αντλήσεις υπόγειου νερού από κοντινές υδρογεωτρήσεις, δεδομένου ότι η στάθμη ηρεμίας των υπόγειων υδάτων θα έπρεπε, υπό φυσιολογικές συνθήκες, να είναι λίγο υψηλότερα της στάθμης της θάλασσας και με κλίση προς την ακτογραμμή.

Για τη δημιουργία της τομής του σχήματος 7.18 χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα των στατικών πενетроμετρήσεων και συγκεκριμένα η σημειακή πληροφορία σχετικά με την κατάταξη του εδάφους ανά 0.2 m για τις δοκιμές CPT. Από την πληροφορία των διαχωριζομένων στρώσεων, προέκυψε η επικράτηση της αργίλου και της ιλυώδους αργίλου, ενώ κατά θέσεις εντοπίστηκαν ενστρώσεις ιλυώδους άμμου έως αμμώδους ιλύος σε μικρότερα (πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα) και μεγαλύτερα βάθη. Επίσης, από τη ΧΘ 0+000 έως τη ΧΘ 0+170 παρατηρείται ένας σημαντικός ορίζοντας αμμώδους υλικού σε βάθος από 3.7 έως 5.7 m μέχρι 6.2 έως 8.2 m. Κατά τόπους και σχεδόν σ' όλο το μήκος της τομής παρατηρούνται ορίζοντες οργανικού υλικού περιορισμένης έκτασης. Τέλος, στα μεγαλύτερα βάθη, εμφανίζονται εδαφικά υλικά πολύ πυκνής έως στιφρής σύστασης.

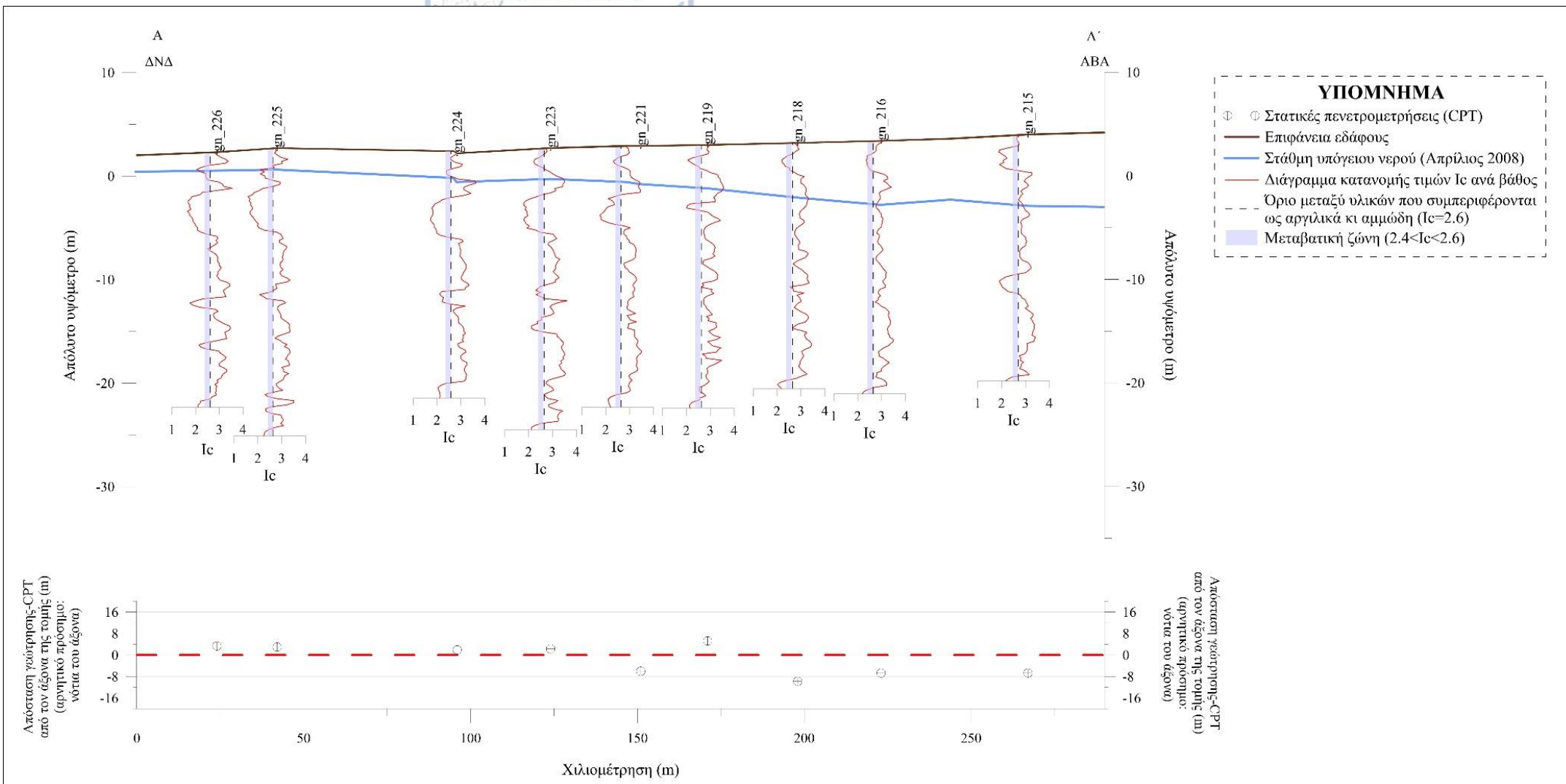


Σχήμα 7.18: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) όπου προβάλλονται τα αποτελέσματα των στατικών πενетроμετρήσεων σχετικά με την κατάταξη του εδάφους ανά 0.2 m

Σε αντίθεση με τις εργαστηριακές δοκιμές που αναλύθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, το κριτήριο επιδεκτικότητας ρευστοποίησης των Robertson και Wride (1998) βασίζεται στον δείκτη συμπεριφοράς εδάφους I_c (Soil Behavior Type Index-SBTn I_c), ο οποίος προσδιορίζεται από τα δεδομένα CPT. Οι συγκεκριμένοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι, τα εδάφη που έχουν $I_c > 2.6$ δεν είναι επιδεκτικά σε ρευστοποίηση. Ωστόσο, προτείνουν να πραγματοποιείται δειγματοληψία με σκοπό την περαιτέρω αξιολόγηση αυτών των εδαφών με τη χρήση πρόσθετων κριτηρίων (π.χ. κινεζικά κριτήρια). Αντίστοιχα, οι Youd et al. (2001) συνιστούν την περαιτέρω διερεύνηση των εδαφικών υλικών με τη χρήση πρόσθετων κριτηρίων στην περίπτωση που αυτά παρουσιάζουν τιμές $I_c > 2.4$.

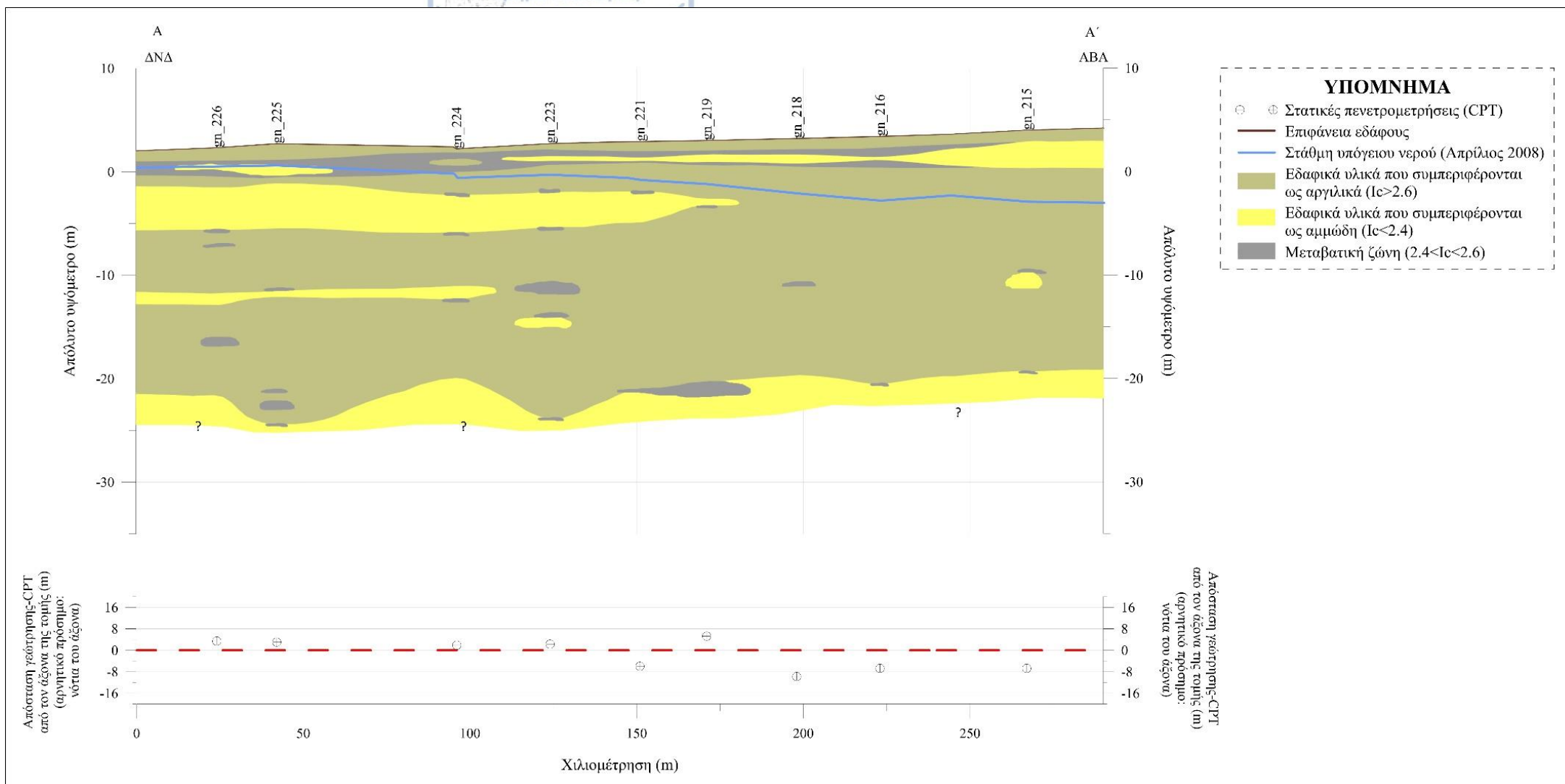
Στην παρούσα έρευνα, για τον προσδιορισμό των επιδεκτικών σε ρευστοποίηση εδαφικών στρώσεων, χρησιμοποιούνται οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη συμπεριφοράς εδάφους I_c . Γενικά, οι κανονικοποιημένες τιμές του I_c παρέχουν πιο αξιόπιστο προσδιορισμό του τύπου συμπεριφοράς εδάφους σε σχέση με τις μη κανονικοποιημένες καθώς δεν λαμβάνεται υπόψη η πλευρική πίεση που ασκείται στη γεωτρητική στήλη.

Στο Σχήμα 7.19 παρουσιάζονται υπό τη μορφή γραφικών παραστάσεων, οι διάφορες τιμές I_c ανά 0.2 m για κάθε περίπτωση CPT. Στην περίπτωση που $I_c > 2.6$, τότε το εδαφικό υλικό θεωρείται ότι συμπεριφέρεται ως αργιλικό, χωρίς δυνατότητα εκδήλωσης ρευστοποίησης. Εάν $I_c < 2.4$, τότε το εδαφικό υλικό συμπεριφέρεται ως αμμώδες, παρουσιάζοντας δυνατότητα εκδήλωσης ρευστοποίησης. Επιπλέον, εάν $2.4 < I_c < 2.6$, τότε πρόκειται για εδάφη που ανήκουν στη μεταβατική ζώνη και ως εκ τούτου θα πρέπει να εξετάζονται περαιτέρω εργαστηριακά ως προς τη δυνατότητα εκδήλωσης ρευστοποίησης (Youd et al., 2001). Για ευκολία στην ανάγνωση των επιμέρους διαγραμμάτων προβάλλεται τόσο η μεταβατική ζώνη ($2.4 < I_c < 2.6$), όσο και το όριο μεταξύ υλικών που συμπεριφέρονται ως αργιλικά κι αμμώδη ($I_c = 2.6$) με διακεκομμένη γραμμή.

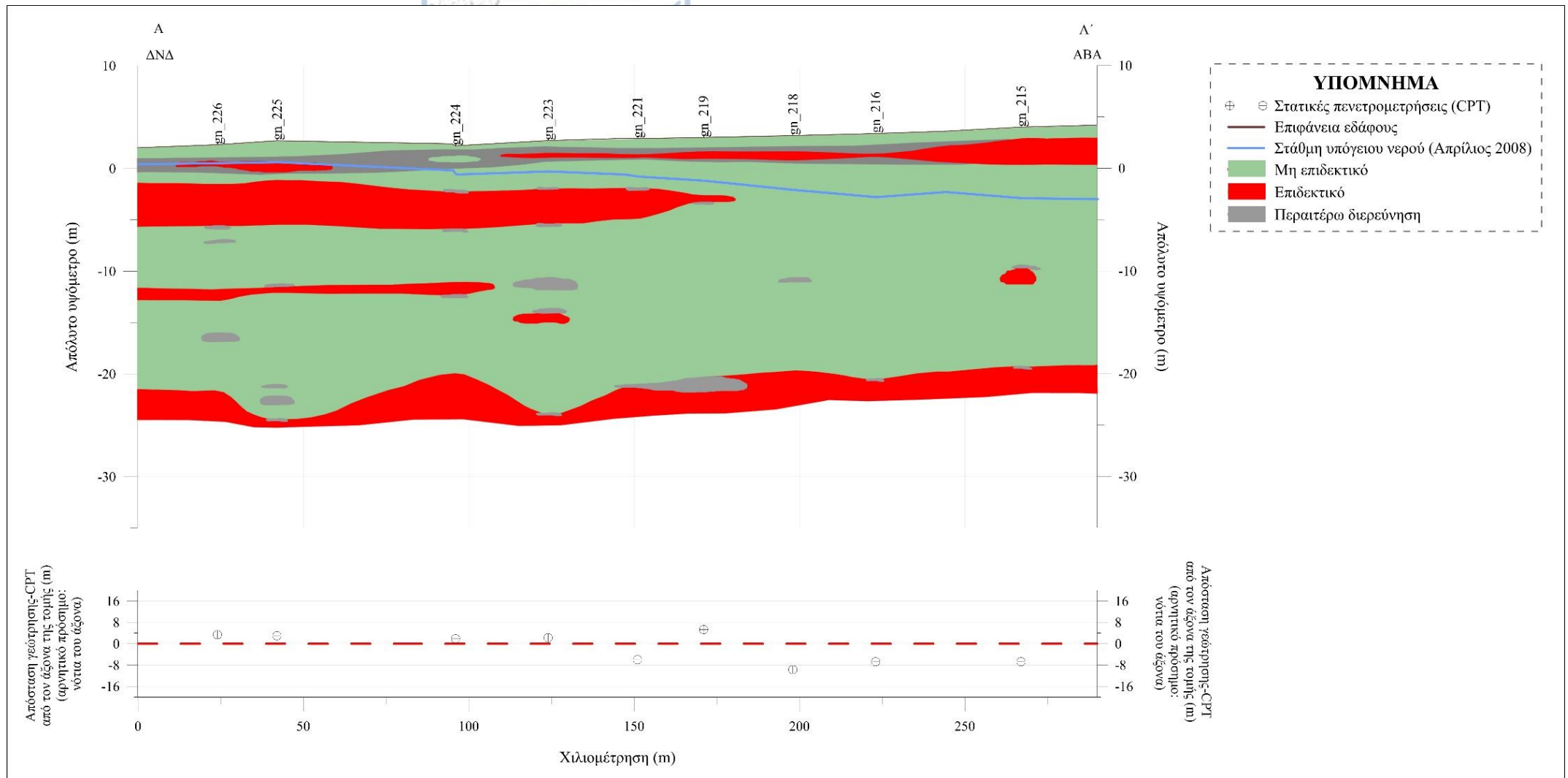


Σχήμα 7.19: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) όπου προβάλλονται οι διάφορες τιμές I_c ανά 0.2 m υπό τη μορφή γραφικών παραστάσεων

Από τη σύνθεση των σημειακών πληροφοριών που προβάλλονται στις τομές των σχημάτων 7.18 και 7.19, προκύπτει η τομή του σχήματος 7.20 στην οποία παρουσιάζεται η κατανομή του δείκτη συμπεριφοράς εδάφους στην εξεταζόμενη περιοχή. Σύμφωνα μ' αυτή, είναι εμφανής η επικράτηση τιμών $I_c > 2.6$, υποδεικνύοντας εδαφικά υλικά που συμπεριφέρονται ως αργιλικά. Εδαφικοί σχηματισμοί που συμπεριφέρονται ως αμμώδη υλικά με $I_c < 2.4$, παρατηρούνται σε μικρότερη έκταση με τη μορφή οριζόντων εντός του επικρατέστερου εδαφικού σχηματισμού αργιλικής σύστασης. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζεται ένας ορίζοντας πάνω από τη στάθμη του υπόγειου νερού εντός των τεχνητών επιχώσεων από τη ΧΘ 0+120 έως τη ΧΘ 0+290, καθώς και ένας ορίζοντας σημαντικού πάχους 1 έως 5m σε βάθη 5.0 έως 9.0 m από τη ΧΘ 0+000 έως τη ΧΘ 0+170. Υλικά που συμπεριφέρονται ως αμμώδη εντοπίζονται επίσης σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m. Όσον αφορά στη ζώνη μετάβασης, αυτή παρατηρείται κατά κύριο λόγο εντός των τεχνητών επιχώσεων καθώς και υπό τη μορφή φακών υποδεικνύοντας μικρότερες ή μεγαλύτερες περιοχές σε έκταση, με τιμές $2.4 < I_c < 2.6$. Οι συγκεκριμένες περιοχές χρήζουν περαιτέρω διερεύνηση ως προς την επιδεκτικότητά τους σε ρευστοποίηση (Σχήμα 7.21), ιδίως όταν βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης είναι η περίπτωση της gn_221 (ΧΘ 0+151) όπου σε βάθος 5 m παρατηρείται η συγκεκριμένη ζώνη μετάβασης. Στο ίδιο βάθος, στη γεώτρηση gn_213 (ΧΘ 0+147) παρατηρούνται τιμές $SPT=18$ και $PI=0$, υποδεικνύοντας ένα αμμώδες υλικό. Συνεπώς, η περαιτέρω εργαστηριακή διερεύνηση (π.χ. όρια Atterberg), συμβάλλει στην κατάταξη του συγκεκριμένου εδαφικού υλικού ως προς την επιδεκτικότητά του στη ρευστοποίηση.



Σχήμα 7.20: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται η κατανομή των εδαφικών υλικών σύμφωνα με τις τιμές I_c



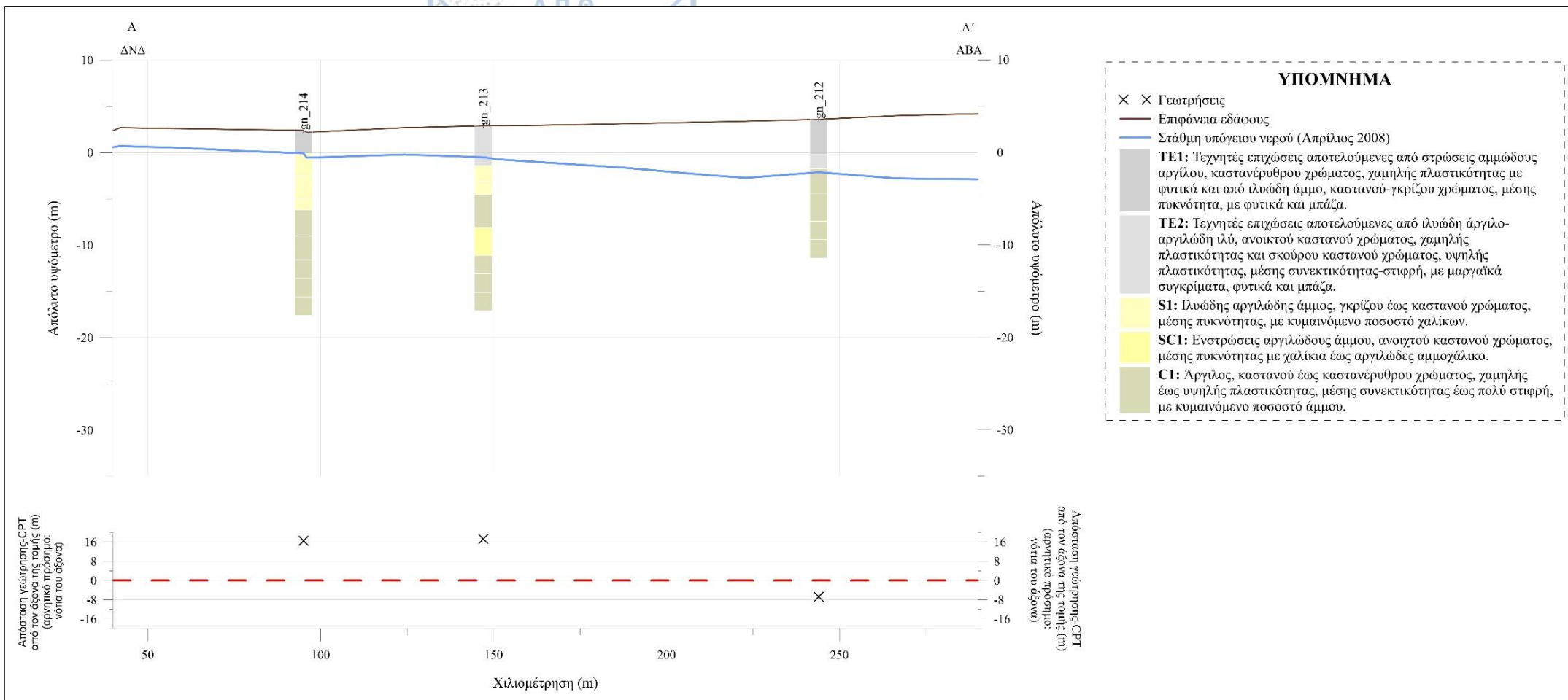
Σχήμα 7.21: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται η επιδεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε ρευστοποίηση

Για τις τομές που ακολουθούν χρησιμοποιήθηκαν σημειακά δεδομένα από τις τρεις διαθέσιμες γεωτρήσεις (gn_212, gn_213 και gn_214) της υπό έρευνας περιοχής. Οι ακριβείς χιλιομετρικές θέσεις αυτών παρουσιάζονται στα αντίστοιχα σχήματα. Συγκεκριμένα, στην τομή του σχήματος 7.22 προβάλλεται ανά βάθος, η πληροφορία που προκύπτει από τη γεωλογική περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών. Για το διαχωρισμό των στρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν κατά βάση οι διαθέσιμες τιμές από τις επιτόπου δοκιμές SPT. Έκδηλη είναι η επικράτηση των λεπτόκοκκων υλικών, ενώ παρατηρούνται σαφείς ορίζοντες και ενστρώσεις άμμου με κυμαινόμενο ποσοστό χαλικιών.

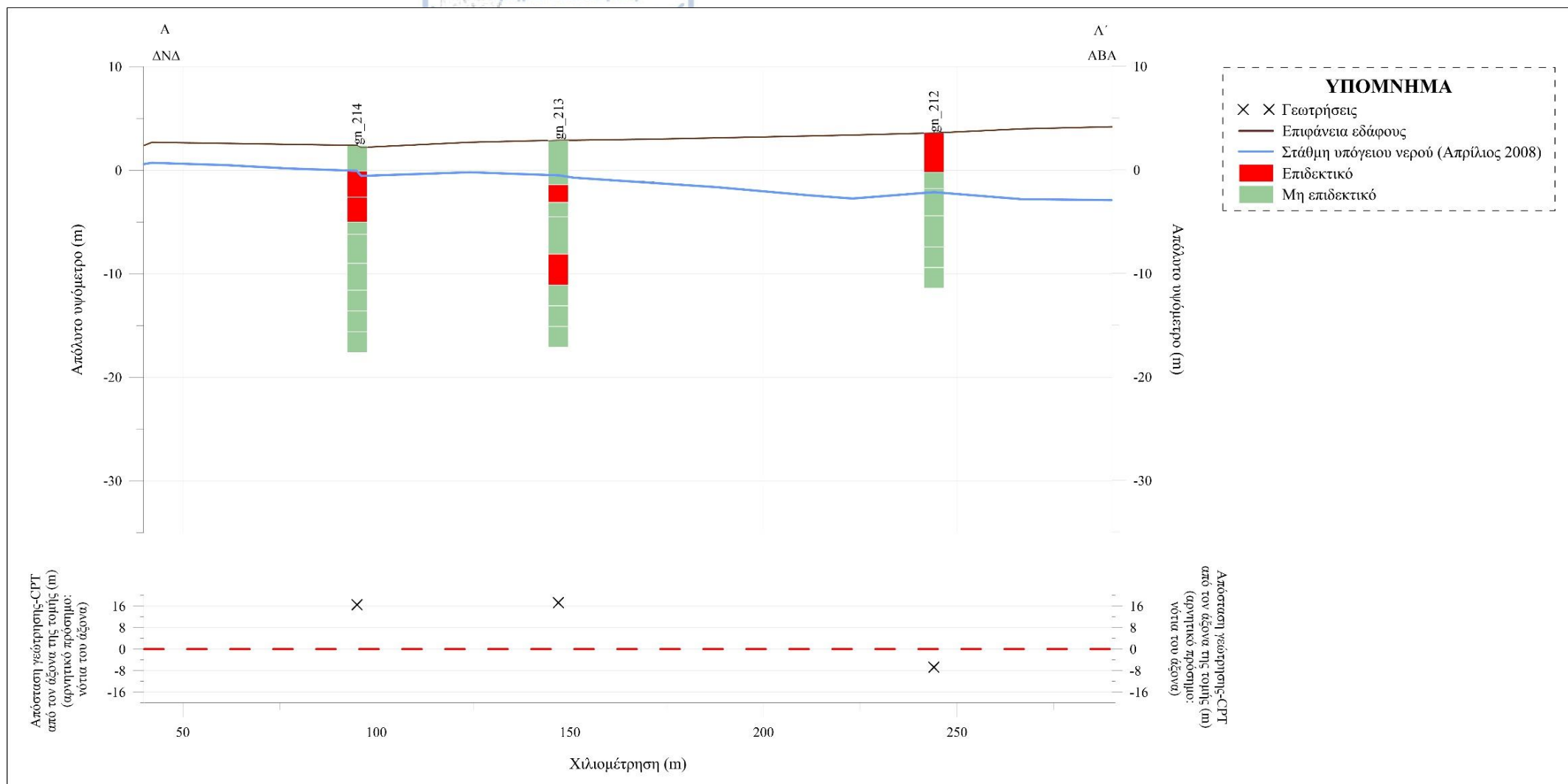
Επιπλέον, σύμφωνα με την τομή του σχήματος 7.23, διαπιστώνεται η ύπαρξη ενός εδαφικού σχηματισμού με σημαντικό πάχος (2 έως 3 m), το οποίο είναι επιδεκτικό σε ρευστοποίηση. Πρόκειται για εδαφικό σχηματισμό που βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού σε βάθος από 4.4 έως 4.7 m μέχρι 5.9 έως 7.4 m κι αποτελείται από ιλυώδη/αργιλώδη άμμο με τιμές $PI < 12$ και $SPT < 30$. Ακόμη, στη ΧΘ 0+095 (πλησίον των gn_214, gn_224) κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού και σε βάθος μικρότερο των 5 m παρατηρείται η ύπαρξη αμμώδους υλικού, το οποίο παρότι χαρακτηρίζεται ως μη πλαστικό (NP), είναι πολύ πυκνό ($N_{SPT}=32$) κι επομένως δεν είναι επιδεκτικό σε ρευστοποίηση.

Στην περίπτωση της γεώτρησης gn_213 (ΧΘ 0+147) εντοπίζεται ένας ορίζοντας αργιλώδους άμμου, πάχους 3 m, σε βάθος 11 έως 14 m ο οποίος βάσει των κριτηρίων επιδεκτικότητας (Bray και Sancio, 2006) και συγκεκριμένα του δείκτη πλαστικότητας ($PI=10$) θα μπορούσε οριακά να θεωρηθεί επιδεκτικός σε ρευστοποίηση. Ωστόσο, η διαθέσιμη τιμή από επιτόπου δόκιμη πρότυπης διεύθυνσης που διενεργήθηκε στο συγκεκριμένο βάθος ($N_{SPT}=21$), υποδεικνύει έναν σχηματισμό ο οποίος κατά πάσα πιθανότητα δεν θα ρευστοποιηθεί.

Τέλος, όσον αφορά στη γεώτρηση gn_212, στα πρώτα 3.8 m εντοπίζεται εδαφικός σχηματισμός που αποτελείται από ιλυώδη άμμο και πληροί τις προϋποθέσεις ως προς τα κριτήρια επιδεκτικότητας (Bray και Sancio, 2006), ώστε να θεωρηθεί επιδεκτικός σε ρευστοποίηση ($N_{SPT}=13$ και $PI=1$). Ωστόσο, κατά τη γεωτεχνική έρευνα, η στάθμη του υπόγειου νερού μετρήθηκε σε μεγαλύτερο βάθος (5.8 m) κι επομένως υπό αυτή τη συνθήκη δεν μπορεί να ταξινομηθεί ως επιδεκτικό σε ρευστοποίηση.



Σχήμα 7.22: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) στην οποία προβάλλεται ανά βάθος, η πληροφορία που προκύπτει από τη γεωλογική περιγραφή των εδαφικών σχηματισμών στα μητρώα των γεωτρήσεων



Σχήμα 7.23: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) στην οποία προβάλλεται ανά βάθος, η επιδεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε ρευστοποίηση

Συνθέτοντας τις διαθέσιμες πληροφορίες από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και τις στατικές πενετρομετρήσεις, διαπιστώθηκε ότι το υπέδαφος στη περιοχή εκτέλεσης των παραπάνω ερευνητικών εργασιών συνίσταται κυρίως από λεπτόκοκκα αργιλικά υλικά μέσης συνεκτικότητας έως με το βάθος στιφρής κατάστασης, με παρεμβολές ενστρώσεων αργιλώδους-χαλικώδους άμμου μέσης πυκνότητας. Επιφανειακά παρατηρείται στρώμα τεχνητών επιχώσεων. Οι τεχνητές επιχώσεις έχουν εναποτεθεί σε δύο φάσεις (TE1 και TE2). Σε πρώτη φάση, ο χώρος επιχώθηκε με αργιλοαμμώδη υλικά μέχρι υψόμετρα της τάξης των -0.6 έως +1.9 m. Στη συνέχεια, η επίχωση ανέρχεται μέχρι τα υψόμετρα 2.2 έως +4.0 m, όπου συναντάται η επιφάνεια του εδάφους.

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Σχήμα 7.24 όπου παρουσιάζεται αναλυτικά η στρωματογραφία του υπεδάφους για την εν λόγω περιοχή, συναντήθηκαν τα εξής στρώματα:

TE1: Επιφανειακά και μέχρι βάθος 2.4 έως 3.8 m παρατηρούνται τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από στρώσεις αμμώδους αργίλου, καστανέρυθρου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας με φυτικά και από ιλυώδη άμμο, καστανού-γκρίζου χρώματος, μέσης πυκνότητας, με φυτικά και μπάζα.

TE2: Από βάθος 2.4 έως 3.8 m μέχρι βάθος 3.2 έως 6.4 m παρατηρούνται τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από ιλυώδη άργιλο έως αργιλώδη ιλύ, ανοικτού καστανού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας και σκούρου καστανού χρώματος, υψηλής πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας-στιφρή, με μαργαϊκά συγκρίματα, φυτικά και μπάζα.

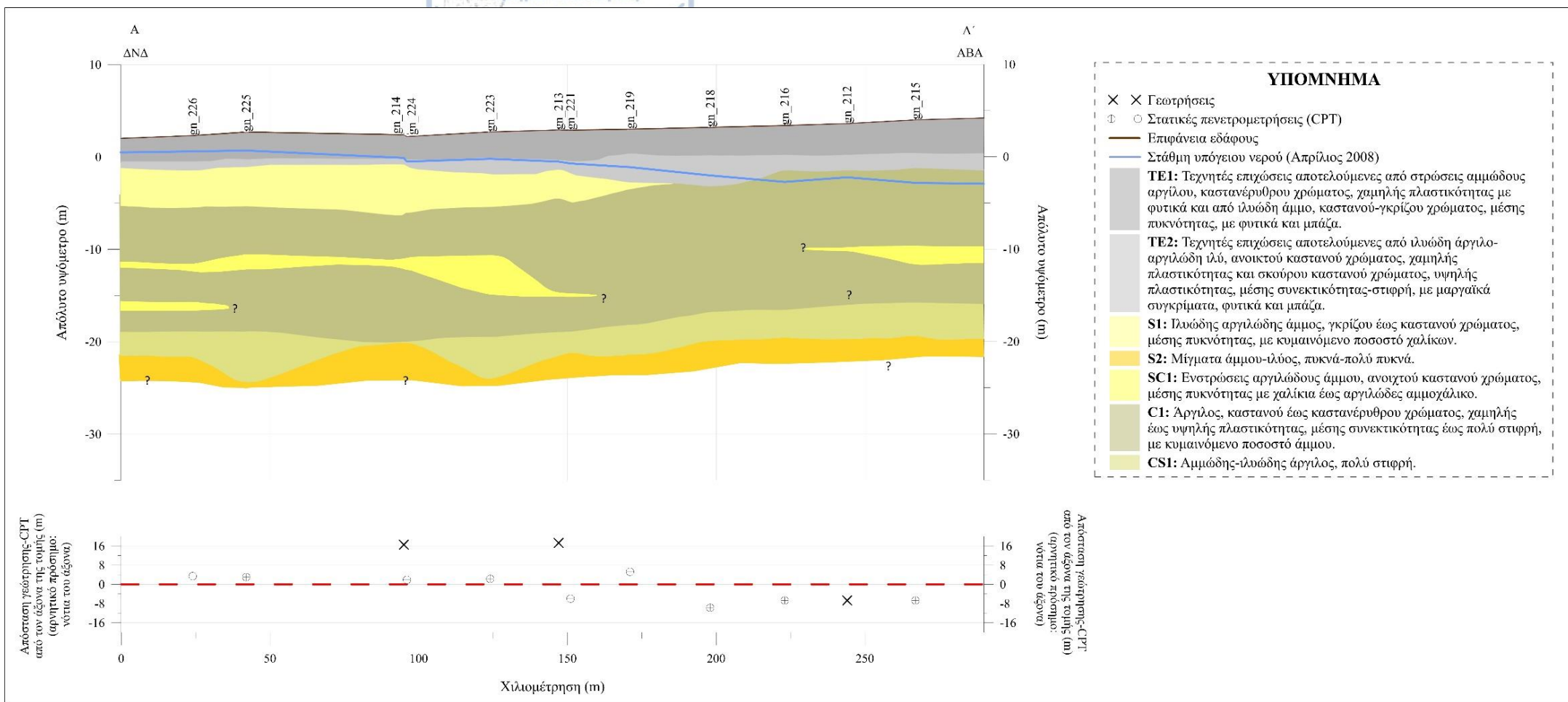
S1: Από βάθος 3.2 έως 6.4 m και μέχρι βάθος 6.4 έως 8.2 m εντοπίζεται ιλυώδης αργιλώδης άμμος, γκρίζου έως καστανού χρώματος, μέσης πυκνότητας, με κυμαινόμενο ποσοστό χαλίκων. Η στρώση αυτή αποσφηνώνεται με κατεύθυνση από τα δυτικά στα ανατολικά καθώς δεν εμφανίζεται στις gn_212, gn_215, gn_216 και gn_218.

C1: Από βάθος 4,8 έως 8.2 m και μέχρι βάθος 18.8 έως 23.0 m βρέθηκε άργιλος, καστανού έως καστανέρυθρου χρώματος, χαμηλής έως υψηλής πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας έως πολύ στιφρή, με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου. Κατά θέσεις εντοπίστηκαν ενστρώσεις αργιλώδους άμμου, ανοικτού καστανού χρώματος, μέσης πυκνότητας με χαλίκια έως αργιλώδες αμμοχάλικο (στρώμα SC1).

CS1: Από βάθος 18.8 έως 23.0 m μέχρι βάθος 23.0 έως 27.6 m βρέθηκε πολύ στιφρή αμμώδης-ιλυώδης άργιλος.

S2: Από βάθος 23.0 έως 27.6 m μέχρι το μέγιστο βάθος της γεωτεχνικής έρευνας 23.8 έως 28.4 m εντοπίστηκαν πυκνά έως πολύ πυκνά μίγματα άμμου-ιλύος.

Σημειώνεται, ότι ο συμβολισμός του εκάστοτε περιγραφόμενου στρώματος δίνεται στην περιγραφή και κατάταξη των εδαφών στα μητρώα των γεωτρήσεων.



Σχήμα 7.24: Τομή περιοχής 1Α (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται αναλυτικά η στρωματογραφία σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα των γεωτρήσεων και των στατικών πενετρομετρήσεων

Περιοχή 1B

Η έρευνα του υπεδάφους στη συγκεκριμένη περιοχή πραγματοποιήθηκε με τη διεξαγωγή δοκιμών πρότυπης διείσδυσης - SPT (gn_167 και gn_168) και με την εκτέλεση δοκιμών πρότυπης διείσδυσης - CPT (gn_169 έως gn_176). Οι θέσεις διεξαγωγής των παραπάνω ερευνητικών εργασιών απεικονίζονται στο Σχήμα 7.17. Στον πίνακα 7.2 δίνονται πληροφορίες σχετικά με τα βάθη τους, τη στάθμη των υπόγειων υδάτων καθώς και την ακριβή χιλιομετρική θέση τους, όπως αυτή παρουσιάζεται στον άξονα χ των διάφορων τομών.

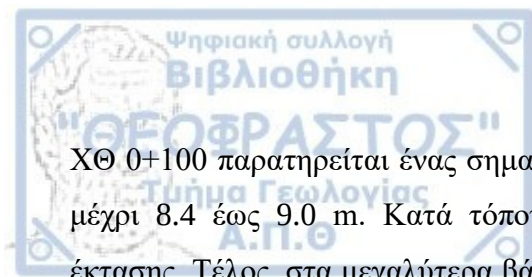
Πίνακας 7.2: Πληροφορίες σχετικά με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και πενетроμετρήσεις της περιοχής «1B»

Δοκιμές SPT/CPT	Υψόμετρο κεφαλής-Z (m)	Βάθος έρευνας (m)	Στάθμη υ.υ.ο. (m)	Υψόμετρο υδάτινου ορίζοντα (m)	Χιλιομετρική θέση τομής BB'
gn_167	+5.6	29.5	6.5	-0.9	0+135
gn_168	+4.5	30.6	3.8	+0.7	0+015
gn_169	+5.8	30.6	>6.9	-	-
gn_170	+5.8	20.8	6.6	-0.8	0+229
gn_171	+5.2	24.8	-	-	-
gn_172	+6.1	29.4	7.2	-1.1	0+189
gn_173	+4.8	29.6	6.0	-1.2	-
gn_174	+5.3	26.0	5.3	0.0	0+088
gn_175	+4.7	31.0	5.0	-0.3	0+064
gn_176	+4.4	26.8	4.2	+0.2	0+029

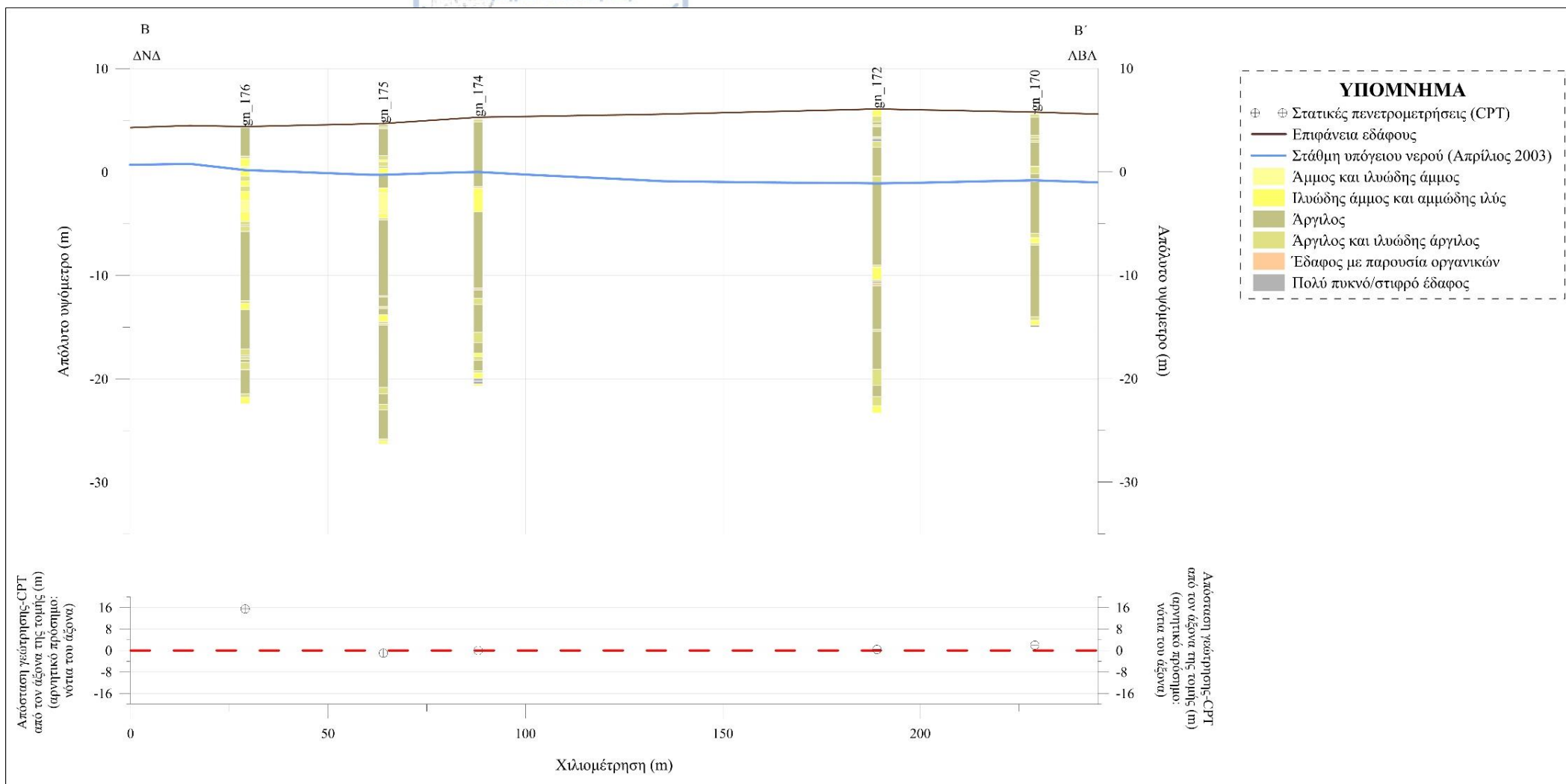
Συνολικά, για την περιοχή «1B» κατασκευάστηκαν έξι τομές κατά μήκος της διεύθυνσης της γεωλογικής-στρωματογραφικής τομής BB'. Για τη δημιουργία των επιμέρους τομών χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις διαθέσιμες γεωτρήσεις και εννέα από τις συνολικά δώδεκα στατικές πενетроμετρήσεις.

Σχετικά με τη στάθμη των υπόγειων υδάτων και σύμφωνα με τον πίνακα 7.2 αυτή κυμαίνεται από 3,8 έως 7,2 m από την επιφάνεια του εδάφους. Τα υψόμετρα της στάθμης των υπόγειων υδάτων, συναντώνται μεταξύ +0.8m και -1.0 m, ενώ από τις διάφορες τομές που κατασκευάστηκαν για τη συγκεκριμένη περιοχή, φαίνεται ότι η στάθμη είναι σχεδόν οριζόντια.

Για τη δημιουργία της τομής του σχήματος 7.25 χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα των στατικών πενетроμετρήσεων και συγκεκριμένα η σημειακή πληροφορία σχετικά με την κατάταξη του εδάφους ανά 0.2 m για τις συνολικά πέντε δοκιμές CPT. Από τα αποτελέσματα των διαχωριζόμενων στρώσεων, βάσει στατικού πενетроμέτρου, προέκυψε η επικράτηση της αργίλου, ενώ κατά θέσεις εντοπίστηκαν ενστρώσεις ιλυώδους άμμου έως αμμώδους ιλύος σε μικρότερα (οριακά πάνω από τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα) και μεγαλύτερα βάθη. Επίσης, από τη ΧΘ 0+000 έως τη

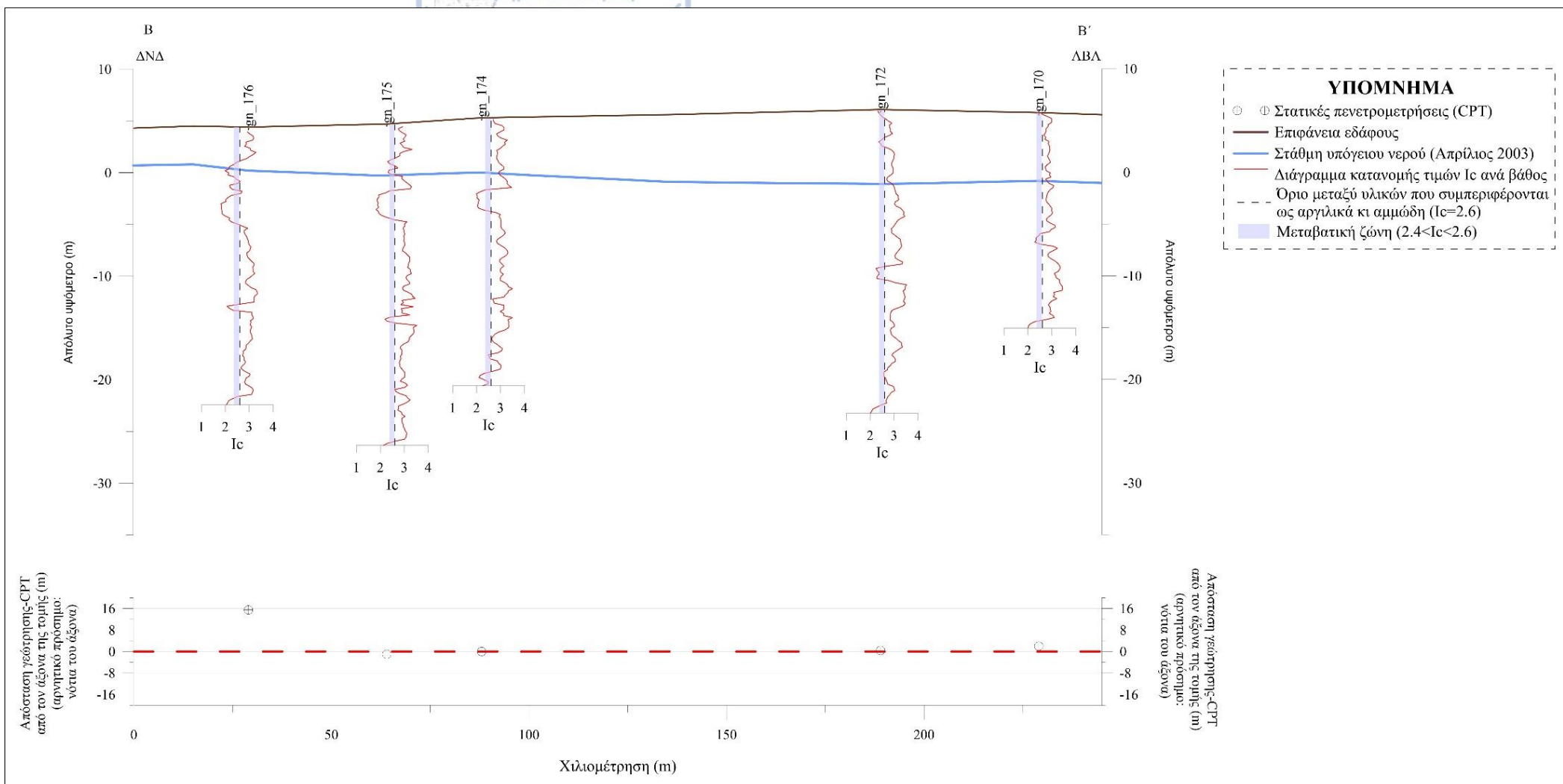


ΧΘ 0+100 παρατηρείται ένας σημαντικός ορίζοντας αμμώδους υλικού σε βάθος από 3.0 έως 6.5 m μέχρι 8.4 έως 9.0 m. Κατά τόπους παρατηρούνται ορίζοντες οργανικού υλικού περιορισμένης έκτασης. Τέλος, στα μεγαλύτερα βάθη, όπως είναι αναμενόμενο, εμφανίζεται εδαφικός σχηματισμός πολύ πυκνής έως στιφρής σύστασης.



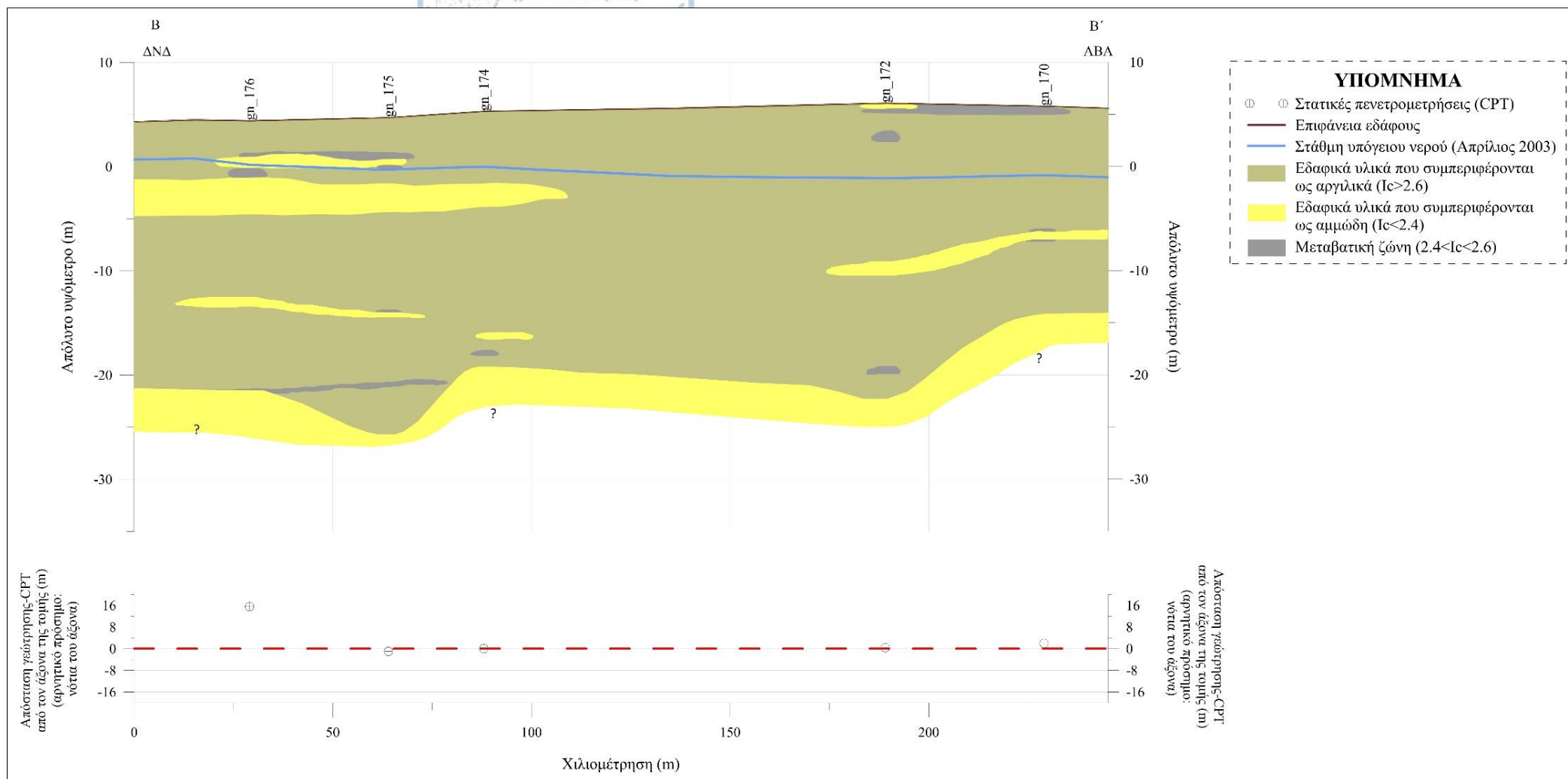
Σχήμα 7.25: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.16) όπου προβάλλονται τα αποτελέσματα των στατικών πενетроμετρήσεων σχετικά με την κατάταξη του εδάφους ανά 0.2 m

Για τον προσδιορισμό των επιδεκτικών σε ρευστοποίηση εδαφικών στρώσεων, χρησιμοποιούνται οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη συμπεριφοράς εδάφους I_c όπως και στην περίπτωση της περιοχής «1Α». Στο Σχήμα 7.26 παρουσιάζονται υπό τη μορφή γραφικών παραστάσεων, οι διάφορες τιμές I_c ανά 0.2 m για κάθε περίπτωση CPT. Στην περίπτωση που $I_c > 2.6$, τότε το εδαφικό υλικό θεωρείται ότι συμπεριφέρεται ως αργιλικό, χωρίς δυνατότητα εκδήλωσης ρευστοποίησης. Εάν $I_c < 2.4$, τότε το εδαφικό υλικό συμπεριφέρεται ως αμμώδες, παρουσιάζοντας δυνατότητα εκδήλωσης ρευστοποίησης. Επιπλέον, εάν $2.4 < I_c < 2.6$, τότε πρόκειται για εδάφη που ανήκουν στη μεταβατική ζώνη και ως εκ τούτου θα πρέπει να εξετάζονται περαιτέρω εργαστηριακά ως προς τη δυνατότητα εκδήλωσης ρευστοποίησης (Youd et al. (2001). Για ευκολία στην ανάγνωση των επιμέρους διαγραμμάτων προβάλλεται τόσο η μεταβατική ζώνη ($2.4 < I_c < 2.6$), όσο και το όριο μεταξύ υλικών που συμπεριφέρονται ως αργιλικά κι αμμώδη ($I_c = 2.6$) με διακεκομμένη γραμμή.

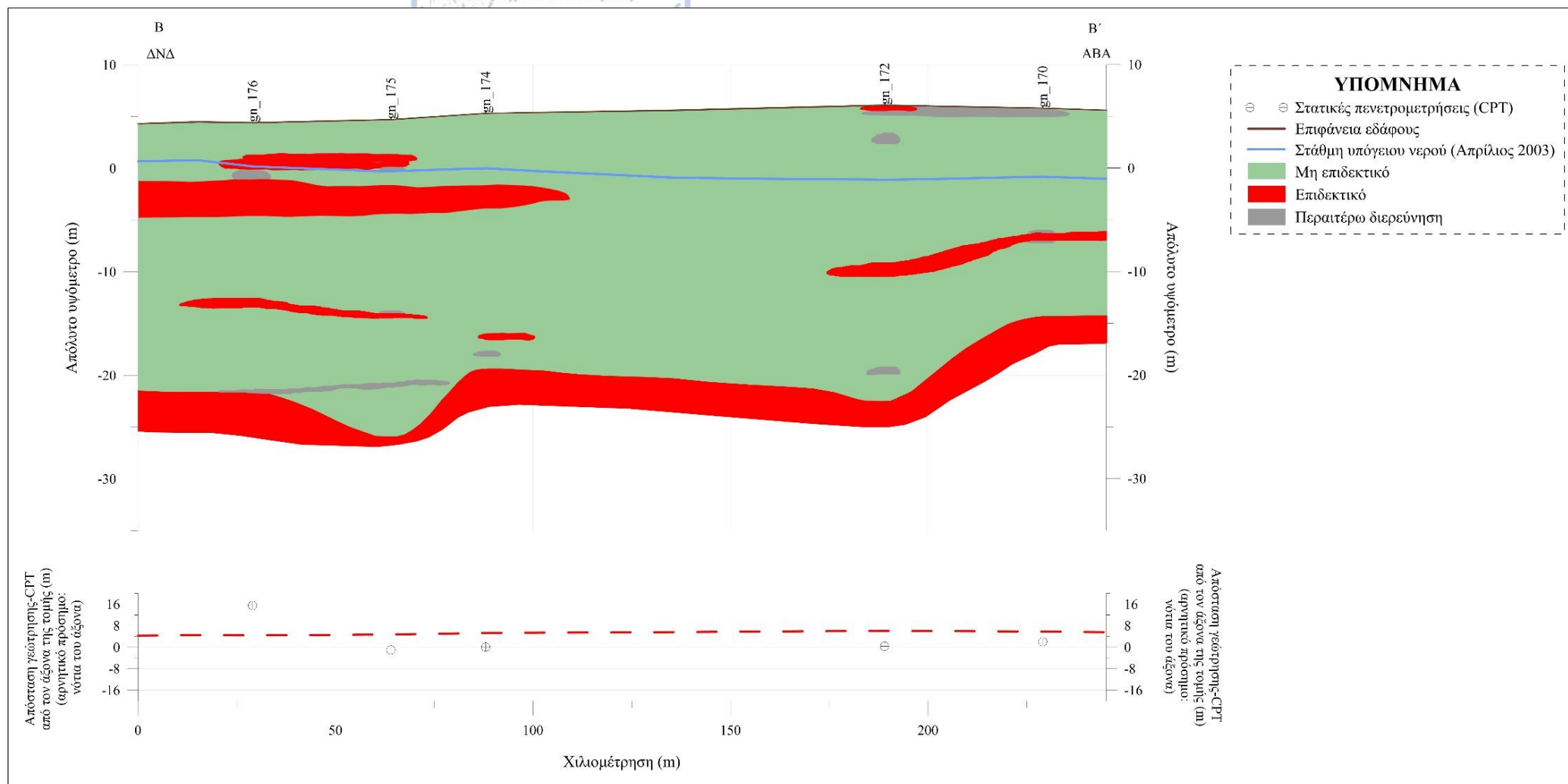


Σχήμα 7.26: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) όπου προβάλλονται οι διάφορες τιμές I_c ανά 0.2 m υπό τη μορφή γραφικών παραστάσεων

Από τη σύνθεση των σημειακών πληροφοριών που προβάλλονται στις τομές των σχημάτων 7.25 και 7.26, προκύπτει η τομή του σχήματος 7.27 στην οποία παρουσιάζεται η κατανομή του δείκτη συμπεριφοράς εδάφους στην εξεταζόμενη περιοχή. Σύμφωνα μ' αυτή, είναι εμφανής η επικράτηση τιμών $I_c > 2.6$, υποδεικνύοντας εδαφικά υλικά που συμπεριφέρονται ως αργιλικά. Εδαφικοί σχηματισμοί που συμπεριφέρονται ως αμμώδη υλικά με $I_c < 2.4$, παρατηρούνται σε μικρότερη έκταση με τη μορφή οριζόντων εντός του επικρατέστερου εδαφικού σχηματισμού αργιλικής σύστασης. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζεται ένας ορίζοντας που βρίσκεται οριακά πάνω από τη στάθμη του υπόγειου νερού, εντός των τεχνητών επιχώσεων από τη ΧΘ 0+020 έως τη ΧΘ 0+080, καθώς και ένας ορίζοντας πάχους 1 έως 4.5 m σε βάθη 6.0 έως 9.5 m από τη ΧΘ 0+000 έως τη ΧΘ 0+120. Υλικά που συμπεριφέρονται ως αμμώδη εντοπίζονται επίσης σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m. Όσον αφορά τη ζώνη μετάβασης, αυτή εμφανίζεται κατά κύριο λόγο σε μικρά βάθη, εντός των τεχνητών επιχώσεων υπό τη μορφή φακών, υποδεικνύοντας μικρότερες ή μεγαλύτερες περιοχές σε έκταση, με τιμές $2.4 < I_c < 2.6$. Οι συγκεκριμένες περιοχές χρήζουν περαιτέρω διερεύνηση ως προς την επιδεκτικότητά τους σε ρευστοποίηση (Σχήμα 7.28), ιδίως όταν βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.



Σχήμα 7.27: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται η κατανομή των εδαφικών υλικών σύμφωνα με τις τιμές I_c

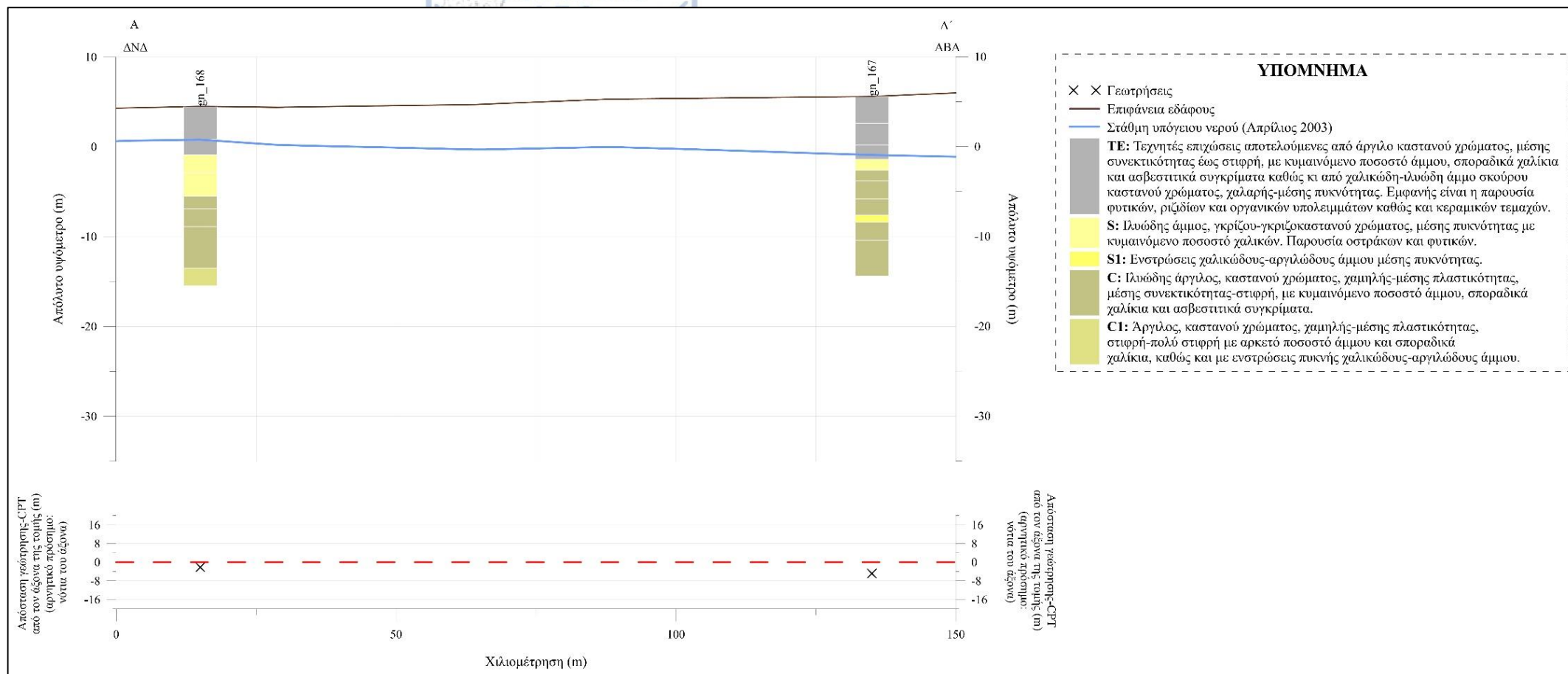


Σχήμα 7.28: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται η επιδεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε ρευστοποίηση

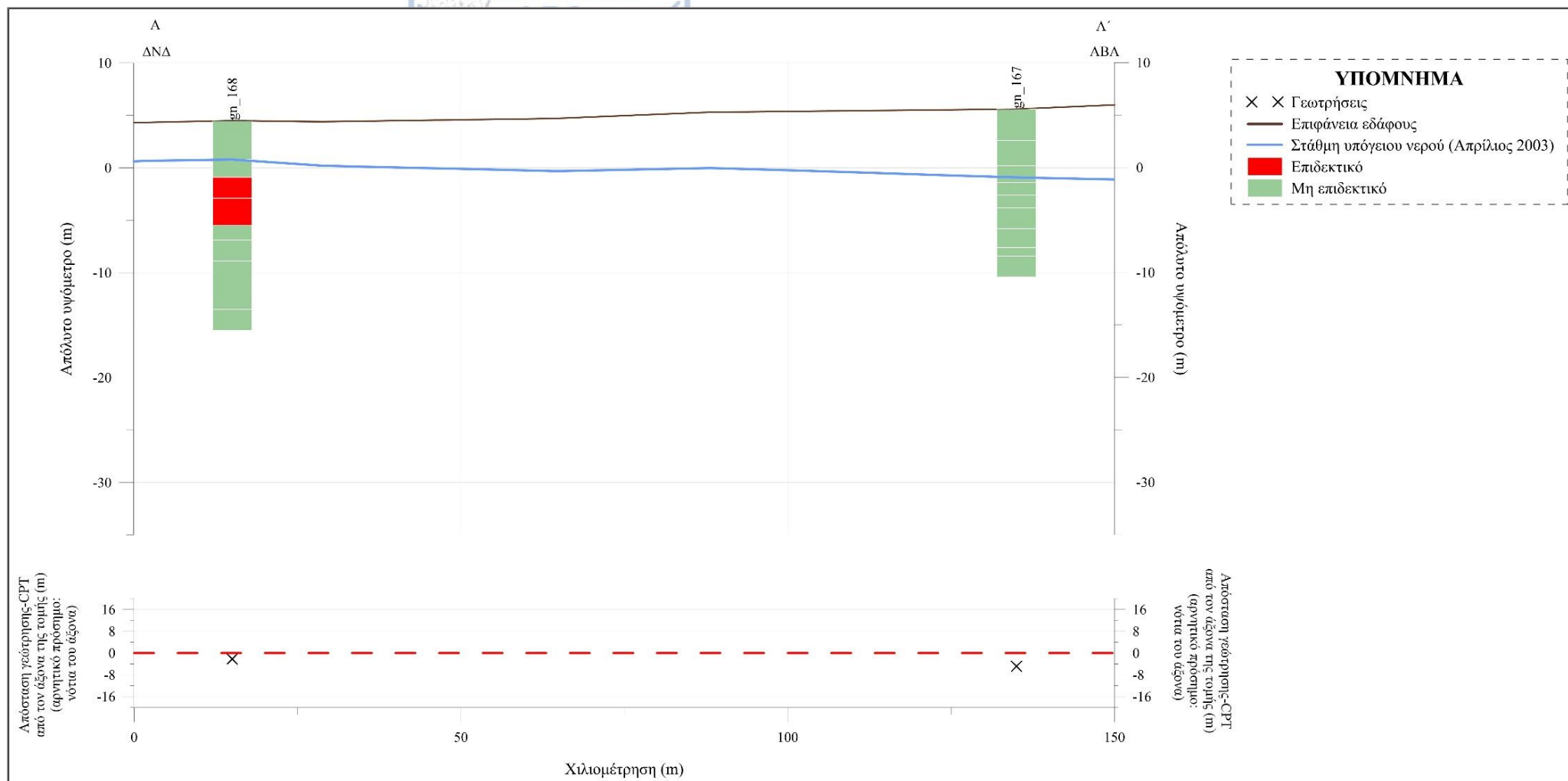
Για τις τομές που ακολουθούν χρησιμοποιήθηκαν σημειακά δεδομένα από τις δυο διαθέσιμες γεωτρήσεις (gn_167, gn_168), της υπό έρευνας περιοχής, οι ακριβείς χιλιομετρικές θέσεις των οποίων παρουσιάζονται στα αντίστοιχα σχήματα. Συγκεκριμένα, στην τομή του σχήματος 7.29 προβάλλεται ανά βάθη, η πληροφορία που προκύπτει από τη γεωλογική περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών. Για το διαχωρισμό των στρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι διαθέσιμες τιμές από τις επιτόπου δοκιμές SPT. Εμφανής είναι η επικράτηση των λεπτόκοκκων υλικών, ενώ παρατηρείται ένας σαφής ορίζοντας ιλυώδους άμμου και μικρότερης έκτασης εμφάνιση χαλικώδους-αργιλώδους άμμου.

Επιπλέον, για τη δημιουργία της τομής του σχήματος 7.30, που αναφέρεται στην επιδεκτικότητα σε σχέση με τη ρευστοποίηση, λήφθηκαν υπόψη τα αποτελέσματα των επιτόπου δοκιμών SPT καθώς και οι τιμές του δείκτη πλαστικότητας (PI). Από τη σύνθεση αυτών των πληροφοριών, καθώς και τις μετρήσεις για τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, διαπιστώνεται η ύπαρξη ενός εδαφικού σχηματισμού με σημαντικό πάχος (4 έως 5 m), το οποίο είναι επιδεκτικό σε ρευστοποίηση. Πρόκειται για εδαφικό σχηματισμό που βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού σε βάθος από 5.5 έως 10.0 m κι αποτελείται από ιλυώδη άμμο μέσης πυκνότητας με τιμές $PI < 12$ και $SPT < 30$.

Στην περίπτωση της γεώτρησης gn_167 (XΘ 0+135) εντοπίζεται ένας ορίζοντας σε βάθος 14 έως 19 m ο οποίος βάσει των κριτηρίων επιδεκτικότητας (Bray και Sancio, 2006) και συγκεκριμένα της τιμής του δείκτη πλαστικότητας ($PI=3$) και δοκιμής πρότυπης διεύθυνσης ($SPT=16$) θα μπορούσε να θεωρηθεί ως επιδεκτικός σε ρευστοποίηση. Παρόλα αυτά, οι συγκεκριμένες τιμές σε συνδυασμό με το βάθος αυτού του στρώματος αλλά και με το γεγονός ότι πρόκειται για έναν λεπτόκοκκο σχηματισμό (ιλυώδης αργίλος με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου), οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα εδαφικό στρώμα, το οποίο τυπικά είναι μεν επιδεκτικό σε ρευστοποίηση, αλλά χρήζει περαιτέρω διερεύνησης ως προς τη δυνατότητα να εκδηλωθεί ρευστοποίηση στην επιφάνεια.



Σχήμα 7.29: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) στην οποία προβάλλεται ανά βάθος, η πληροφορία που προκύπτει από τη γεωλογική περιγραφή των εδαφικών σχηματισμών στα μητρώα των γεωτρήσεων



Σχήμα 7.30: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) στην οποία προβάλλεται ανά βάθος, η επιδεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε ρευστοποίηση

Συνθέτοντας τις διαθέσιμες πληροφορίες από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και τις στατικές πενетроμετρήσεις, διαπιστώθηκε ότι το υπέδαφος στη περιοχή εκτέλεσης των παραπάνω ερευνητικών εργασιών συνίσταται κυρίως από στρώσεις μέσης συνεκτικότητας έως στιφρής αργίλου, καθώς και στρώσεις αργιλοϊλυώδους άμμου μέσης πυκνότητας, επικαλυπτόμενο με επιφανειακό στρώμα τεχνητών επιχώσεων το οποίο εκτείνεται σε βάθη της τάξης των 5.5 έως 7.0 m.

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Σχήμα 7.31 όπου παρουσιάζεται αναλυτικά η στρωματογραφία του υπεδάφους για την εν λόγω περιοχή, συναντήθηκαν τα εξής στρώματα:

TE: Επιφανειακά και μέχρι βάθος 5.5 έως 7.0 m παρατηρούνται τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από άργιλο, καστανού χρώματος, μέσης συνεκτικότητας, έως στιφρή, με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου, σποραδικά χαλίκια κι ασβεστιτικά συγκρίματα, καθώς κι από χαλικώδη-ιλυώδη άμμο σκούρου καστανού χρώματος, χαλαρή-μέσης πυκνότητας. Εμφανής είναι η παρουσία φυτικών, ριζιδίων και οργανικών υπολειμμάτων καθώς και κεραμικών τεμαχών.

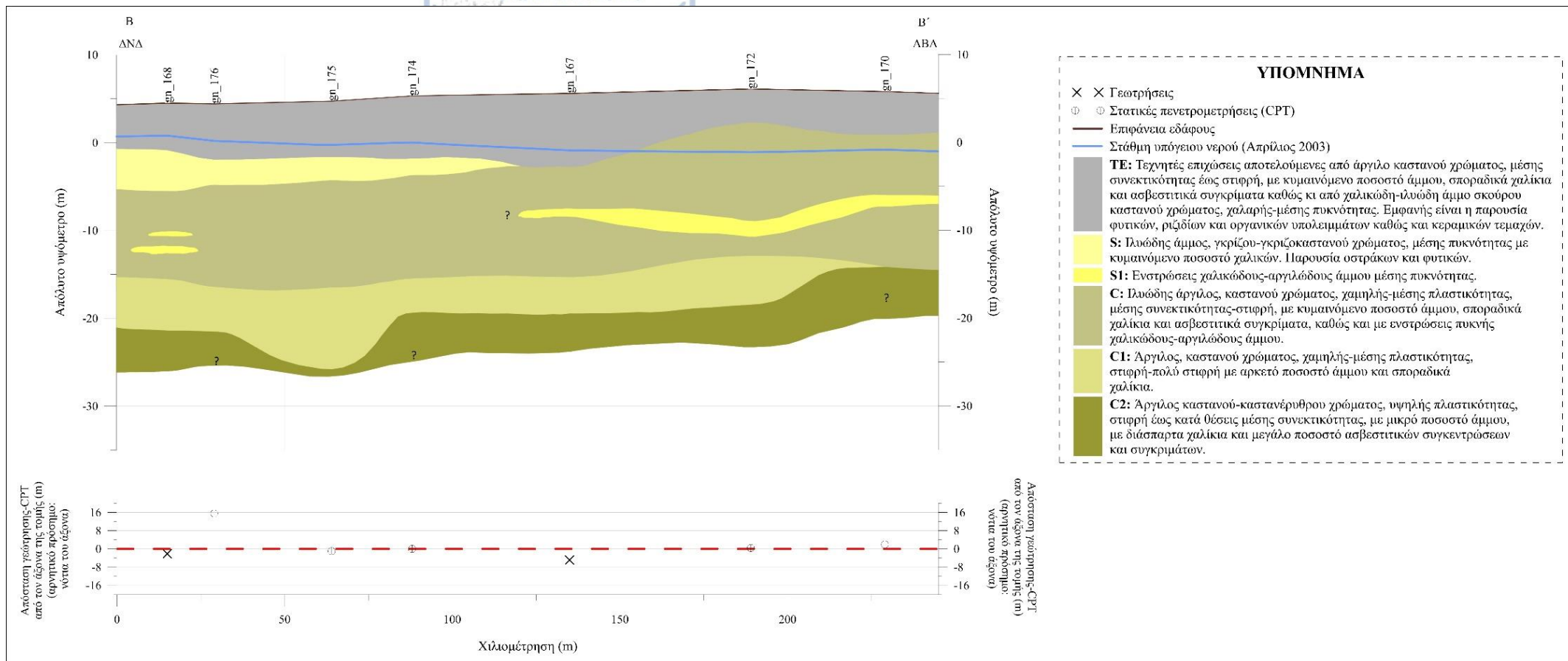
S: Από βάθος 5.5 έως 7.0 m μέχρι βάθος 9.0 έως 10.0 m εντοπίζεται ιλυώδης άμμος, γκριζο-γκριζοκαστανού χρώματος, μέσης πυκνότητας με κυμαινόμενο ποσοστό χαλικών. Παρουσία οστράκων και φυτικών.

C: Από βάθος 9.0 έως 10.0 m και μέχρι βάθος 18.0 έως 21.2 m εντοπίζεται ιλυώδης άργιλος, καστανού χρώματος, χαμηλής-μέσης πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας έως στιφρή, με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου, σποραδικά χαλίκια και ασβεστιτικά συγκρίματα. Κατά θέσεις εντοπίστηκαν ενστρώσεις χαλικώδους-αργιλώδους άμμου μέσης πυκνότητας (στρώμα S1).

C1: Από βάθος 18.0 έως 21.2 m μέχρι βάθος 24.8 έως 30.6 m συναντήθηκε άργιλος, καστανού χρώματος, χαμηλής-μέσης πλαστικότητας, στιφρή-πολύ στιφρή με αρκετό ποσοστό άμμου και σποραδικά χαλίκια.

C2: Από βάθος 24.8 έως 30.6 m μέχρι το μέγιστο βάθος της γεωτεχνικής έρευνας 20.8 έως 31.0 m εντοπίστηκε άργιλος καστανού-καστανέρυθρου χρώματος, υψηλής πλαστικότητας, στιφρή έως κατά θέσεις μέσης συνεκτικότητας, με μικρό ποσοστό άμμου, με διάσπαρτα χαλίκια και μεγάλο ποσοστό ασβεστιτικών συγκεντρώσεων και συγκριμάτων.

Σημειώνεται, ότι ο συμβολισμός του εκάστοτε περιγραφόμενου στρώματος δίνεται στην περιγραφή και κατάταξη των εδαφών στα μητρώα των γεωτρήσεων.



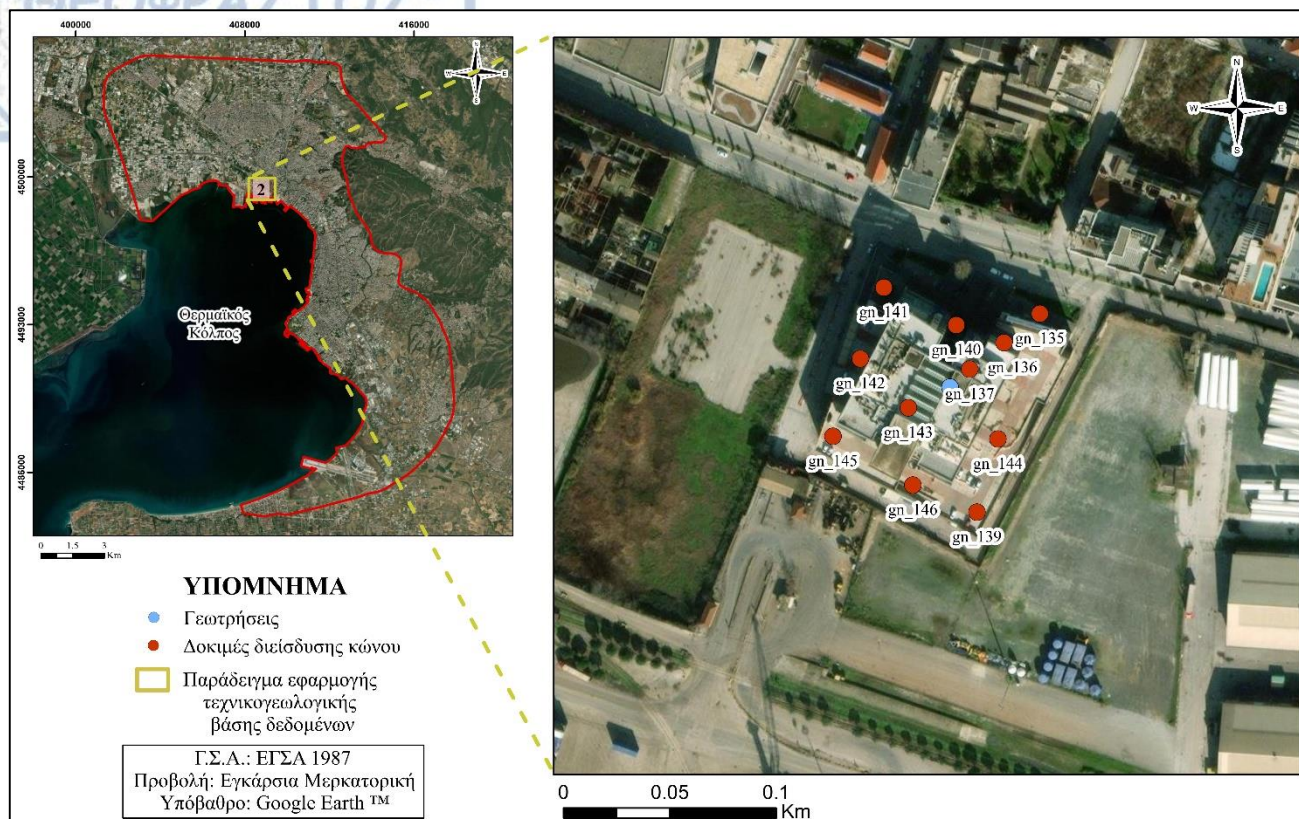
Σχήμα 7.31: Τομή περιοχής 1B (βλ. Σχήμα 7.17) όπου παρουσιάζεται αναλυτικά η στρωματογραφία σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα των γεωτρήσεων και των στατικών πενетроμετρήσεων

Συμπερασματικά, έπειτα από την ανάλυση των δύο υποπεριοχών προκύπτει ότι στην περιοχή που βρίσκεται πιο κοντά στο ρέμα (περιοχή Α) παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση αδρόκοκκων υλικών (S1, S2, SC1), σε σχέση με τη ζώνη που βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από το ρέμα (περιοχή Β) όπου διαπιστώνεται η σαφής επικράτηση των λεπτόκοκκων υλικών (C, C1, C2). Αυτό υποδηλώνει μια στρωματογραφική διαφοροποίηση η οποία οφείλεται στο περιβάλλον απόθεσης των υλικών, διαχωρίζοντας δύο ευδιάκριτες ζώνες πλησίον του ρέματος, σε μεγαλύτερη και μικρότερη απόσταση απ' αυτό αντίστοιχα.

Περιοχή 2: Οργανισμός Λιμένα Θεσσαλονίκης

Σύμφωνα με τον γεωλογικό και τεχνικογεωλογικό χάρτη, (Σχήμα 7.16), η ευρύτερη περιοχή αποτελείται κυρίως από σχηματισμούς Τεταρτογενούς ηλικίας (Ολόκαινο). Πρόκειται για προϊόντα αδιαίρετων αποθέσεων πάχους αρκετών μέτρων, που περιλαμβάνουν χαλαρές παράκτιες αποθέσεις (ιλύες, άμμους κ.λπ.), προσχώσεις πεδιάδων, ερυθρές αργίλους με ασβεστιτικά συγκρίματα κ.λπ. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για προσχωσιγενή εδάφη που αποτελούνται κυρίως από εναλλαγές ιλυοαμμωδών και ιλυοαργιλωδών στρωμάτων μέχρι βάθος αρκετών μέτρων. Επιφανειακά βρίσκονται σε χαλαρή κατάσταση. Στη βάση τους επικρατούν κροκαλοπαγή.

Για τη διερεύνηση του υπεδάφους στη συγκεκριμένη περιοχή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από έντεκα στατικές πενетроμετρήσεις (gn_135-gn_137, gn_139-gn_146) καθώς και μίας ερευνητικής δειγματοληπτικής γεώτρησης (gn_134). Οι θέσεις διεξαγωγής των παραπάνω ερευνητικών εργασιών απεικονίζονται στο Σχήμα 7.32. Στον πίνακα 7.3 δίνονται πληροφορίες σχετικά με τα βάθη τους και τη στάθμη των υπόγειων υδάτων όπου υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις.



Σχήμα 7.32: Παράδειγμα εφαρμογής τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων «περιοχής 2» (βλ. Σχήμα 7.16)

Πίνακας 7.3: Πληροφορίες σχετικά τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και πενетроμετρήσεις της περιοχής «2»

Ονομασία γεώτρησης/CPT	Υψόμετρο κεφαλής-Z (m)	Βάθος έρευνας (m)	Στάθμη υ.υ.ο. (m)	Υψόμετρο υδάτινου ορίζοντα (m)
gn_134	+2.2	35.45	0.7	+1.5
gn_135	+2.2	14.4	-	-
gn_136	+2.0	30.6	-	-
gn_137	+1.9	13.0	-	-
gn_139	+2.1	27.6	-	-
gn_140	+1.8	23.2	-	-
gn_141	+1.7	23.2	-	-
gn_142	+1.9	23.0	-	-
gn_143	+1.9	24.2	-	-
gn_144	+1.9	31.6	-	-
gn_145	+2.1	28.2	-	-
gn_146	+2.2	13.2	-	-

Από τη σύνθεση των διαθέσιμων πληροφοριών (δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και στατικές πενетроμετρήσεις), διαπιστώθηκε ότι το υπέδαφος στην περιοχή εκτέλεσης των παραπάνω ερευνητικών εργασιών και μέχρι το βάθος των 8.5 έως 10.5 m συνίσταται κυρίως από πολύ μαλακά-συμπιεστά ιλυοαργιλώδη υλικά, ενώ βαθύτερα και μέχρι το βάθος των 16.0 έως 18.0 m παρατηρείται

στρώση πυκνής αργιλώδους άμμου. Σε μεγαλύτερα βάθη συναντώνται εναλλαγές αμμοαργιλωδών υλικών σε κατάσταση μέσης συνεκτικότητας έως στιφρής, καθώς και αργιλοαμμώδη υλικά μέσης πυκνότητας. Επίσης, κατά την περίοδο διεξαγωγής των ερευνών (Ιανουάριος 2000) η στάθμη των υπόγειων υδάτων βρέθηκε σε μικρό βάθος, στα 0.7 m από την επιφάνεια του εδάφους.

Πιο συγκεκριμένα, συναντήθηκαν τα εξής στρώματα:

TE: Επιφανειακά και μέχρι βάθος 1.0 έως 3.0 m από την επιφάνεια παρατηρούνται τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από αμμώδη άργιλο, μέσης συνεκτικότητας και από αργιλώδη άμμο, χαλαρή έως μέσης πυκνότητας.

S: Από βάθος 1.0 έως 3.0 m και μέχρι βάθος 3.6 έως 4.0 m εντοπίζεται αργιλώδης άμμος, φαιού χρώματος, πολύ χαλαρή με μικρό ποσοστό χαλίκων.

C: Από βάθος 3.6 έως 4.0 m και μέχρι βάθος 8.6 έως 10.0 m βρέθηκε άργιλος έως ιλυώδης άργιλος, υψηλής πλαστικότητας, πολύ μαλακή έως μαλακή, με ελάχιστο ποσοστό χαλίκων.

S1: Από βάθος 8.6 έως 10.0 m μέχρι βάθος 16.0 έως 17.4 m βρέθηκε στρώση αργιλοϊλυώδους άμμου, καστανού χρώματος, κατά βάση μέσης πυκνότητας με αρκετό ποσοστό χαλίκων και με αρκετές ενστρώσεις στιφρής αμμώδους αργίλου, καστανού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας.

C1: Βαθύτερα των 16.0 έως 17.4 m και μέχρι βάθος 17.8 έως 20.4 m, το έδαφος αποτελείται από στιφρή αμμώδη άργιλο, καστανού χρώματος, με ελάχιστο ποσοστό χαλίκων.

S2: Από βάθος 17.8 έως 20.4 m μέχρι βάθος 22.6 έως 23.0 m βρίσκεται αργιλώδης άμμος, καστανού χρώματος, χαλαρή με αρκετό ποσοστό χαλίκων, ενώ βαθύτερα και μέχρι βάθος 24.2 έως 26.4 m εμφανίζεται ο ίδιος σχηματισμός σε κατάσταση μέσης πυκνότητας.

C2: Από τα 24.2 έως 26.4 m και μέχρι βάθος 31.0 έως 33.0 m το έδαφος αποτελείται από άργιλο έως αμμώδη άργιλο, καστανού χρώματος, μέσης συνεκτικότητας, με αρκετό ποσοστό χαλίκων.

SC: Τέλος, βαθύτερα των 31.0 έως 33.0 m μέχρι το μέγιστο βάθος της γεωτεχνικής έρευνας, που είναι τα 35.5 m, συναντάται αργιλώδης άμμος, καστανού χρώματος, πολύ πυκνή με αρκετό ποσοστό λεπτών χαλίκων.

Σημειώνεται, ότι ο συμβολισμός του εκάστοτε περιγραφόμενου στρώματος δίνεται στην περιγραφή και κατάταξη των εδαφών στα μητρώα των γεωτρήσεων.

Ανεξάρτητα από τη διερεύνηση των εδαφικών σχηματισμών ως προς τη δυνατότητα εκδήλωσης ρευστοποίησης, πραγματοποιείται περαιτέρω έρευνα για την εκτίμηση του δυναμικού ρευστοποίησης με βάση επιτόπου δοκιμές. Για την εκτίμηση του δυναμικού ρευστοποίησης είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας F. Αυτός ορίζεται ως εξής:

$$F = CRR / CSR \quad (7.1)$$

όπου :

CRR: ο λόγος της κυκλικής αντοχής του εδάφους σε ρευστοποίηση (cyclic resistance ratio) και

CSR: ο λόγος της κυκλικής τάσης που ασκείται από τη σεισμική φόρτιση (cyclic stress ratio)

Επί της ουσίας πρόκειται για το πηλίκο της αντίστασης σε ρευστοποίηση του εδαφικού σχηματισμού προς την αναμενόμενη σεισμική φόρτιση. Για τιμές του $F > 1$ το εδαφικό στρώμα χαρακτηρίζεται ως μη ρευστοποιήσιμο ενώ για $F < 1$ αυτό θεωρείται ρευστοποιήσιμο. Επομένως, με τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας επιτυγχάνεται η πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός εδαφικού στρώματος σε ένα συγκεκριμένο βάθος. Ωστόσο, η εμφάνιση φαινομένων ρευστοποίησης και η πιθανή αστοχία κατασκευών δεν εξαρτάται μόνο από ένα μεμονωμένο στρώμα, αλλά από τη συνολική συμπεριφορά της εδαφικής στήλης.

Σύμφωνα με τον Papathanassiou (2008) ο δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης (Liquefaction Potential Index - LPI) προσπαθεί να λάβει υπόψιν του τη συνολική συμπεριφορά της εδαφικής στήλης και την εκδήλωση των συνεπειών της ρευστοποίησης στην επιφάνεια του εδάφους. Ένα από τα πλεονεκτήματα του LPI είναι ότι είναι σε θέση να ενσωματώνει σε μια τιμή μεταξύ 0 και 100, τους συντελεστές ασφαλείας έναντι ρευστοποίησης που παρατηρούνται στα ανώτερα 20 m της εδαφικής στήλης. Επί της ουσίας, η τιμή 0 αντιστοιχεί σε απουσία εδαφικών στρώσεων με κίνδυνο ρευστοποίησης στα ανώτατα 20 m του εδάφους, ενώ $LPI=100$ σημαίνει ότι όλα τα στρώματα στα πρώτα 20 m από την επιφάνεια του εδάφους διατρέχουν κίνδυνο ρευστοποίησης.

Ο δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης αναπτύχθηκε αρχικά από τους Iwasaki et al. (1978) και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$LPI = \int_0^z F w(z) dz \quad (7.2)$$

όπου :

$F = 1 - FS$, για $FS \leq 1$

$F = 0$, για $FS > 1$

FS : ο συντελεστής ασφαλείας του εδαφικού σχηματισμού σε βάθος z και

$w(z)$: η γραμμική συνάρτηση βάρους στο εξεταζόμενο βάθος z (σε m) κάτω από την επιφάνεια, που παίρνει τιμές :

$w(z) = 10 - 5z$, για $z \leq 20$ m

$w(z) = 0$, για $z > 20$ m

Επομένως, ο δείκτης LPI εξαρτάται από το πάχος των ρευστοποιήσιμων εδαφικών στρώσεων ($FS < 1$) για βάθη μικρότερα των 20 m ($z < 20$) (Committee on State of the Art and Practice in Earthquake Induced Soil Liquefaction Assessment, 2016).

Η συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με το δυναμικό ρευστοποίησης αποτελεί αντικείμενο διερεύνησης πολλών ερευνητών οι οποίοι πρότειναν διάφορες βαθμονομήσεις κατόπιν

μελέτης δεδομένων προερχόμενων από δοκιμές SPT και CPT. Στις επόμενες παραγράφους πραγματοποιείται μια περιεκτική επισκόπηση των διάφορων κατατάξεων που προτάθηκαν διαχρονικά.

Έπειτα από μελέτη δεδομένων SPT σε περιοχές της Ιαπωνίας που εμφάνισαν φαινόμενα ρευστοποίησης, προτάθηκε από τους Iwasaki et al (1978), η βαθμονόμηση που παρουσιάζεται στον πίνακα 7.4. Σύμφωνα μ' αυτήν, για τιμές $LPI > 15$ το δυναμικό ρευστοποίησης της συγκεκριμένης εδαφικής στήλης είναι πολύ υψηλό ενώ για $LPI = 0$ είναι πολύ χαμηλό.

Πίνακας 7.4: Συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με το δυναμικό ρευστοποίησης σύμφωνα με τη βαθμονόμηση των Iwasaki et al. (1978)

Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης	Δυναμικό Ρευστοποίησης
$LPI = 0$	Πολύ χαμηλό
$0 < LPI \leq 5$	Χαμηλό
$5 < LPI \leq 15$	Υψηλό
$LPI > 15$	Πολύ υψηλό

Κατά τη διάρκεια πιο πρόσφατων σεισμών διαπιστώθηκαν αστοχίες σχετικά με την αξιολόγηση των φαινομένων ρευστοποίησης με τη χρήση της συγκεκριμένης κατάταξης του δείκτη LPI. Αρκετοί είναι οι ερευνητές που βαθμονόμησαν τον δείκτη LPI σύμφωνα με νεότερες παρατηρήσεις προερχόμενες από αστοχίες ρευστοποίησης, προτείνοντας διαφορετικές τιμές του κατώτατου ορίου του συντελεστή ασφαλείας έναντι ρευστοποίησης.

Για παράδειγμα, ο Sonmez (2003) θεώρησε την τιμή $FS = 1.2$ ως κατώτατο όριο μεταξύ ρευστοποιήσιμων και μη ρευστοποιήσιμων εδαφών και τροποποίησε τις εξισώσεις υπολογισμού του F , διατηρώντας την εξίσωση υπολογισμού του LPI σύμφωνα με τους Iwasaki et al. (1978). Οι τροποποιήσεις που προτάθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω:

$$F = 1 - FS, \text{ για } FS < 0.95$$

$$F = 2 \times 10^6 \times e^{-18.42 FS}, \text{ για } 0.95 < FS < 1.2$$

$$F = 0, \text{ για } FS > 1.2$$

Αντίστοιχα διαμορφώθηκε και η κατάταξη των εδαφών, που παρουσιάζεται στον πίνακα 7.5.

Πίνακας 7.5: Συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με το δυναμικό ρευστοποίησης σύμφωνα με τη βαθμονόμηση του Sonmez (2003)

Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης	Δυναμικό Ρευστοποίησης
$LPI = 0$	Μη ρευστοποιήσιμο
$0 < LPI \leq 2$	Χαμηλό
$2 < LPI \leq 5$	Μέτριο
$5 < LPI \leq 15$	Υψηλό
$LPI > 15$	Πολύ υψηλό

Οι Lee et al. (2004) στην εργασία τους πρότειναν την ταξινόμηση του πίνακα 7.6 η οποία αναπτύχθηκε από τη διερεύνηση δεδομένων CPT. Ακόμη, οι ίδιοι συγγραφείς συμπέραναν ότι διαφορετικές μέθοδοι που βασίζονται σε δεδομένα CPT για τον υπολογισμό του FS οδηγούν σε διαφορετικές τιμές LPI, καθώς και διαφορετικά εύρη τιμών για την ταξινόμηση των ρευστοποιήσιμων και μη ρευστοποιήσιμων εδαφών. Πιο συγκεκριμένα, κατέληξαν ότι κατά τη διάρκεια του σεισμού που συνέβη το 1999 στο Chi-Chi στην Ταϊβάν, τα όρια ήταν $LPI < 8$ και $LPI > 16$ χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Olsen (1997), $LPI < 13$ και $LPI > 21$ χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των Robertson και Wride (1998) και $LPI < 5$ και $LPI > 15$ χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Juang et al. (2003) αντίστοιχα.

Πίνακας 7.6: Συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με το δυναμικό ρευστοποίησης σύμφωνα με τη βαθμονόμηση του Lee et al. (2004)

Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης	Δυναμικό Ρευστοποίησης
$LPI < 20$	Χαμηλό
$20 \leq LPI < 30$	Μέτριο
$LPI \geq 30$	Υψηλό

Επιπλέον, ο Papathanassiou (2008), μελετώντας δεδομένα από επί τόπου δοκιμές SPT των περιοχών Ταϊβάν, Ελλάδας και Τουρκίας πρότεινε ακόμη μια κατάταξη που παρουσιάζεται στον πίνακα 7.7. Για τον υπολογισμό του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση υπολογισμού του LPI των Iwasaki et al. (1982), ενώ για τον δείκτη ασφαλείας έναντι ρευστοποίησης η μέθοδος των Youd et al. (2001) με κατώτατο όριο για τον συντελεστή ασφαλείας, τη μονάδα ($FS = 1.0$). Η επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση των εδαφικών στρωμάτων αξιολογήθηκε με βάση τα τροποποιημένα κριτήρια που προτάθηκαν από τους Seed et al. (2003).

Πίνακας 7.7: Συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με τη δριμύτητα ρευστοποίησης σύμφωνα με τη βαθμονόμηση του Papathanassiou (2008)

Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης	Δριμύτητα Ρευστοποίησης
$LPI \leq 19$	Μη ρευστοποιήσιμο
$19 < LPI \leq 32$	Μέτριο
$LPI \geq 32$	Υψηλό

Αντίστοιχα, οι Kang et al. (2014), μελετώντας μία βάση δεδομένων για τον σεισμό του 2014 στο Chūetsu της Ιαπωνίας, πρότειναν τις εξής κατηγορίες δυναμικού ρευστοποίησης που παρουσιάζονται στον πίνακα 7.8 (Rashidian και Gillins, 2018).

Πίνακας 7.8: Συσχέτιση του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με το δυναμικό ρευστοποίησης σύμφωνα με τη βαθμονόμηση των Kang et al. (2014)

Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης	Δυναμικό Ρευστοποίησης
$0 < LPI \leq 14$	Χαμηλό
$14 < LPI \leq 21$	Μέτριο
$LPI > 21$	Πολύ υψηλό

Ακόμη, οι Orense et al. (2014) και οι Maurer et al. (2014) συμπέραναν ότι ο δείκτης LPI δεν είναι κατάλληλος για την πρόβλεψη της πλευρικής εξάπλωσης των εδαφών, τονίζοντας την ανάγκη τροποποίησης του πλαισίου LPI (Rashidian και Gillins, 2018).

Πιο συγκεκριμένα, μετά την ακολουθία των σεισμών στο Christchurch της Νέας Ζηλανδίας (2010-2011) οι Maurer et al. (2014) αξιολόγησαν την απόδοση του LPI, καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως η πραγματοποιούμενη ρευστοποίηση ήταν διαφορετική από την προβλεπόμενη σύμφωνα με τον δείκτη LPI.

Οι αποκλίσεις στα διάφορα εύρη τιμών του LPI προκύπτουν αφενός από τις διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες τοποθεσίες ανά τον κόσμο καθώς επίσης και στις διαφορετικές μεθόδους αξιολόγησης της επιδεκτικότητας στη ρευστοποίηση και του υπολογισμού της αντίστασης του εδάφους έναντι της ρευστοποίησης (Kang et al. 2014). Συνεπώς, η συσχέτιση των τιμών του δείκτη LPI με το δυναμικό ρευστοποίησης, καθώς και η μέθοδος που επιλέγεται για την αξιολόγηση του συντελεστή ασφαλείας, μπορεί να ποικίλουν αρκετά ως προς τα αποτελέσματα.

Στην παρούσα έρευνα, για την εκτίμηση του κινδύνου ρευστοποίησης χρησιμοποιείται το λογισμικό CLiq® (Geologismiki Ltd). Πρόκειται για ένα εύκολο στη χρήση γραφικό περιβάλλον ειδικά προσαρμοσμένο για δεδομένα δοκιμής διεύθυνσης κώνου (CPT και CPTU). Παρέχει αποτελέσματα και διαγράμματα σε κάθε βήμα υπολογισμού, ξεκινώντας από την ερμηνεία των βασικών δεδομένων CPT έως τα τελικά διαγράμματα όπου παρουσιάζονται ο συντελεστής ασφάλειας (FS), ο δείκτης πιθανότητας εκδήλωσης ρευστοποίησης (LPI) και οι μετατοπίσεις (καθίζηση και πλευρική εξάπλωση).

Το CLiq εφαρμόζει τη μέθοδο NCEER (Youd et al., 2001) μαζί με τις κανονικοποιημένες διαδικασίες για μετασεισμικές μετατοπίσεις από τους Zhang et al. (2002, 2004), ενώ περιλαμβάνει επίσης την πιο πρόσφατη διαδικασία αξιολόγησης που αναπτύχθηκε από τον Robertson (2009). Κατά το στάδιο της παραμετρικής ανάλυσης, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να μεταβάλλει τόσο το μέγεθος του σεισμού όσο και την σεισμική επιτάχυνση (PGA) του εδάφους για να αξιολογήσει την ευαισθησία αυτών σε σχέση με τον εκτιμώμενο δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα και εισάγονται στο συγκεκριμένο λογισμικό προς επεξεργασία αφορούν στις εξής παραμέτρους:

- i. Αντίσταση αιχμής - q_c (Cone resistance)
- ii. Τοπική πλευρική τριβή - f_s (Sleeve friction)
- iii. Σεισμική επιτάχυνση του εδάφους - P.G.A. (Max. Acceleration)
- iv. Σεισμικό μέγεθος - M (Earthquake magnitude)
- v. Στάθμη υπόγειου νερού (G.W.T. insitu)
- vi. Στάθμη υπόγειου νερού κατά τη σεισμική δόνηση (G.W.T. earthquake)

Ο έλεγχος έναντι ρευστοποίησης πραγματοποιείται με βάση σεισμικά σενάρια που αναπτύχθηκαν για την ευρύτερη περιοχή. Ειδικότερα, υιοθετήθηκαν δύο σεισμικά σενάρια, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της διατριβής (Lin και Smerzini, 2022). Αυτά αναφέρονται στην περίπτωση ενεργοποίησης του ρήγματος Γερακαρού (Βόλβη) και Λαγκαδά με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0 και στην ενεργοποίηση του ρήγματος Ανθεμούντα (Σουρωτή κι Αγγελοχώρι) με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9 αντίστοιχα. Στους πίνακες 7.9 και 7.10 παρουσιάζονται τα δύο σεισμικά σενάρια καθώς και οι τιμές της σεισμικής επιτάχυνσης του εδάφους, όπως προέκυψαν κατά την ενεργοποίηση των ρηγμάτων σε κάθε περίπτωση.

Για τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα τόσο πριν, όσο και κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης, υιοθετούνται τρία σενάρια για βάθος 1.5, 2.5 και 3.5 m αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές θεωρούνται αντιπροσωπευτικές καθώς εμπίπτουν στα όρια των διαθέσιμων μετρήσεων στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, όπως προσδιορίστηκαν κατά τη διάρκεια των εκάστοτε ερευνών. Επίσης, θεωρούνται συντηρητικές καθώς και για τις τέσσερις εξεταζόμενες περιοχές, οι αποστάσεις των CPT από την ακτογραμμή δεν ξεπερνούν τα 320 m. Συνεπώς σ' αυτές τις περιοχές αναμένονται γενικά οι στάθμες του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα να είναι ψηλά. Στην παρούσα διατριβή κρίνεται σκόπιμη η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας το ένα από τα τρία σενάρια ως προς τη στάθμη του υπόγειου νερού. Συγκεκριμένα, επιλέγεται η τιμή για βάθος 1.5 m για τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα πριν και κατά τη σεισμική δόνηση.

Πίνακας 7.9: 1^ο σεισμικό σενάριο, ενεργοποίηση ρήγματος Ανθεμούντα (Σουρωτή κι Αγγελοχώρι) με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9

Εξεταζόμενες παράμετροι	Περιοχή 1	Περιοχή 2
Σεισμική επιτάχυνση του εδάφους (g)	0.59	0.4
Σεισμικό μέγεθος	6.9	6.9
Στάθμη υπόγειου νερού (m)	1.5	1.5
Στάθμη υπόγειου νερού κατά τη σεισμική δόνηση (m)	1.5	1.5

Πίνακας 7.10: 2^ο σεισμικό σενάριο, ενεργοποίηση ρήγματος Γερακαρού (Βόλβη) και Λαγκαδάς με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0

Εξεταζόμενες παράμετροι	Περιοχή 1	Περιοχή 2
Σεισμική επιτάχυνση του εδάφους (g)	0.43	0.5
Σεισμικό μέγεθος	7.0	7.0
Στάθμη υπόγειου νερού (m)	1.5	1.5
Στάθμη υπόγειου νερού κατά τη σεισμική δόνηση (m)	1.5	1.5

Ακολούθως, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων κι αναφέρονται στον δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης LPI (Liquefaction Potential Index) για κάθε εδαφική στήλη, στις καθιζήσεις (Vertical displacements) και στις πλευρικές εξαπλώσεις (Lateral displacements) που παρατηρούνται στις εξεταζόμενες περιοχές. Για τον υπολογισμό των τιμών LPI, καθιζήσεων και πλευρικών εξαπλώσεων σε κάθε εδαφική στήλη χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι των Robertson, NCEER (Youd et al. 2001), Robertson (2009), Idriss και Boulanger (2008) καθώς και Boulanger και Idriss (2014). Οι τιμές παρουσιάζονται υπό μορφή ραβδογραμμάτων με διακριτοποίηση ως προς τα χρώματα ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο. Στην παρούσα, πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των διάφορων διαθέσιμων μεθόδων κι επομένως δεν επιχειρείται η επιλογή μιας βέλτιστης μεθοδολογίας έναντι κάποιας άλλης. Στη συνέχεια αναλύονται τα διάφορα διαγράμματα για κάθε μία περιοχή ξεχωριστά. Για την ευκρινέστερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων η περιοχή 1 αναλύεται περαιτέρω στις υποπεριοχές «Α» και «Β» (βλ. Σχήμα 7.17)

i. Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης (LPI)

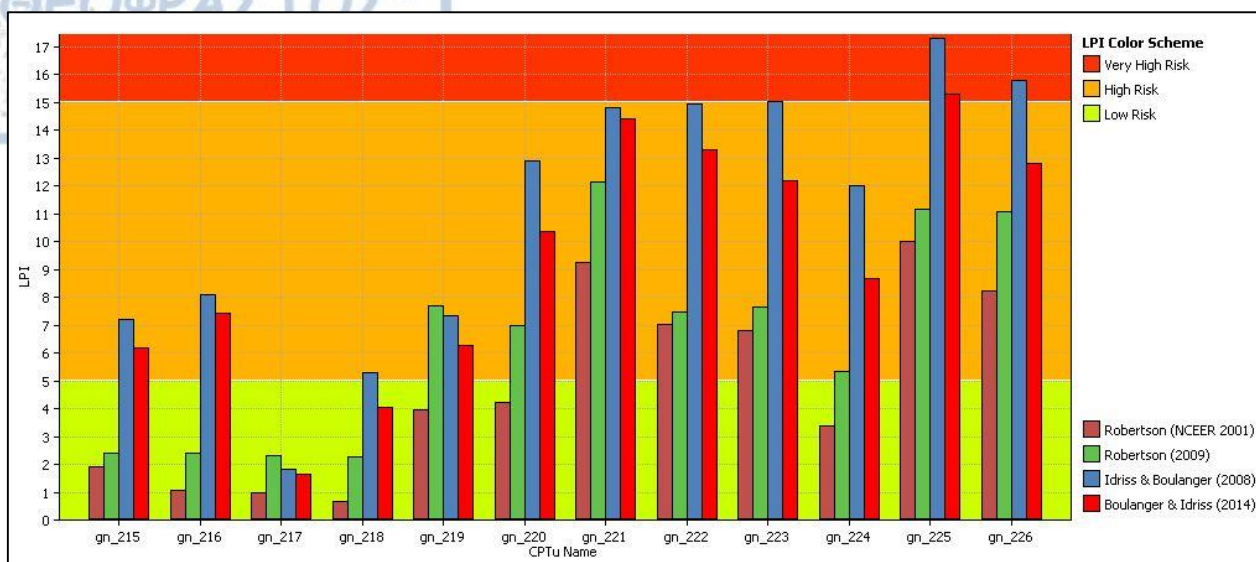
Η ανάλυση σχετικά με τις διαθέσιμες ταξινομήσεις του LPI σε σχέση με την εκτίμηση του δυναμικού ρευστοποίησης πραγματοποιείται σε προηγούμενες παραγράφους. Παρότι δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη ταξινόμηση με βάση το δείκτη LPI που να εφαρμόζεται καθολικά απ' όλους τους ερευνητές (Juang et al., 2008), στο λογισμικό CLiq χρησιμοποιείται εξ ορισμού η ακόλουθη ταξινόμηση σύμφωνα με τη οποία, ο δείκτης LPI χαρακτηρίζει το δυναμικό ρευστοποίησης ως:

- Χαμηλό για $0\% < LPI \leq 5\%$
- Υψηλό για $5\% < LPI \leq 15\%$ και
- Πολύ υψηλό για $LPI > 15\%$.

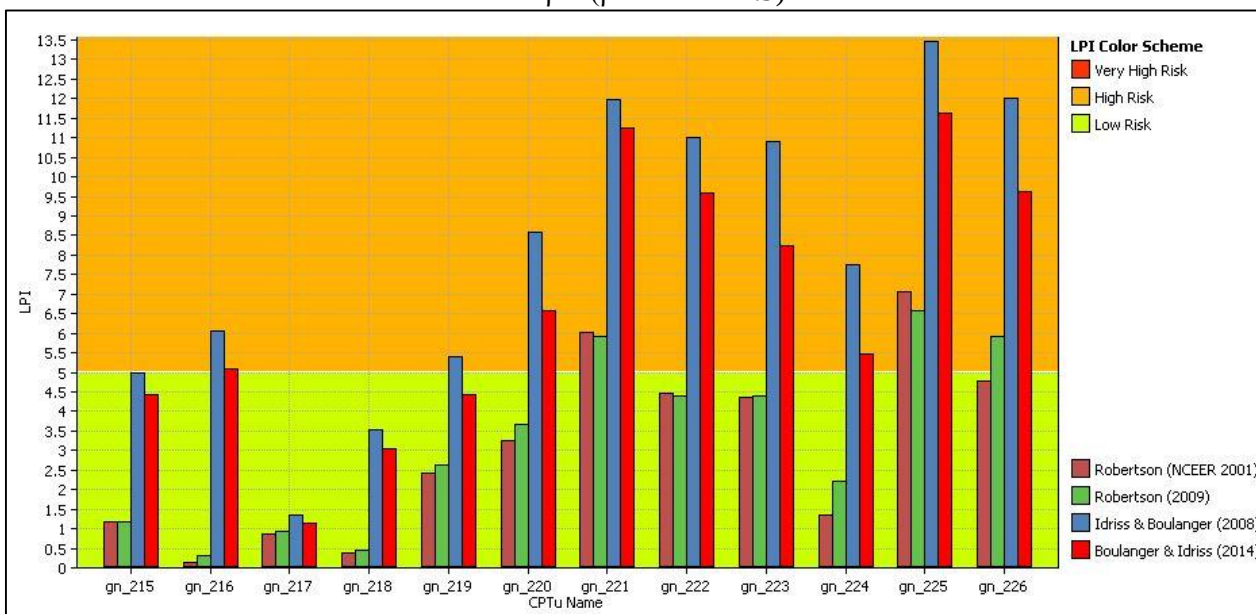
Περιοχή 1Α - Απολλώνια Πολιτεία

Στο Σχήμα 7.33, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης LPI, για την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9. Σύμφωνα μ' αυτό, η μεθοδολογία του Robertson (NCEER, 2001) εμφανίζει για όλο το πλήθος των CPT τις μικρότερες τιμές LPI. Ακολουθεί η μεθοδολογία του Robertson (2009) σύμφωνα με την οποία τέσσερις από τις δώδεκα συνολικά εδαφικές στήλες παρουσιάζουν χαμηλές τιμές $LPI=2$. Στις υπόλοιπες, ο δείκτης κυμαίνεται από 5.3 έως 12.1 υποδεικνύοντας υψηλό δυναμικό ρευστοποίησης. Ακολουθεί η μεθοδολογία των Boulanger και Idriss (2014) σύμφωνα με την οποία προβάλλονται κατά κύριο λόγο τιμές $5\% < LPI \leq 15\%$. Μόλις δύο από τις εδαφικές στήλες χαρακτηρίζονται από τιμές $LPI < 5$, ενώ μία εμφανίζει τιμή, οριακά μεγαλύτερη του 15 υποδεικνύοντας πολύ υψηλό δυναμικό ρευστοποίησης. Τέλος, με βάση τους Idriss και Boulanger (2008), η πλειοψηφία των ραβδογραμμάτων βρίσκεται στη ζώνη υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου.

Η κατανομή των τιμών LPI στην ίδια περιοχή για την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Γερακαρού με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0 παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.34 Σύμφωνα μ' αυτό, η μεθοδολογία του Robertson (NCEER, 2001) και Robertson (2009) εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές LPI για όλο το πλήθος των CPT. Συγκεκριμένα, το δυναμικό ρευστοποίησης εμφανίζεται χαμηλός σ' όλες τις εδαφικές στήλες, πέραν των gn_221, gn_225 και gn_226 που εμφανίζουν τιμές $LPI > 5$. Ακολουθεί η μεθοδολογία των Boulanger και Idriss (20014) σύμφωνα με την οποία προβάλλονται κατά κύριο λόγο τιμές $5\% < LPI \leq 15\%$ εκτός των gn_215, gn_217, gn_218 και gn_219 που παρουσιάζουν χαμηλό δυναμικό ρευστοποίησης. Με βάση τους Idriss και Boulanger (2008), η πλειοψηφία των ραβδογραμμάτων βρίσκεται στη ζώνη υψηλού δυναμικού ρευστοποίησης, ενώ μόλις τρεις από τις εδαφικές στήλες χαρακτηρίζονται από τιμές $LPI < 5$, υποδεικνύοντας χαμηλό δυναμικό ρευστοποίησης.



Σχήμα 7.33: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1Α σύμφωνα με το 1^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9)



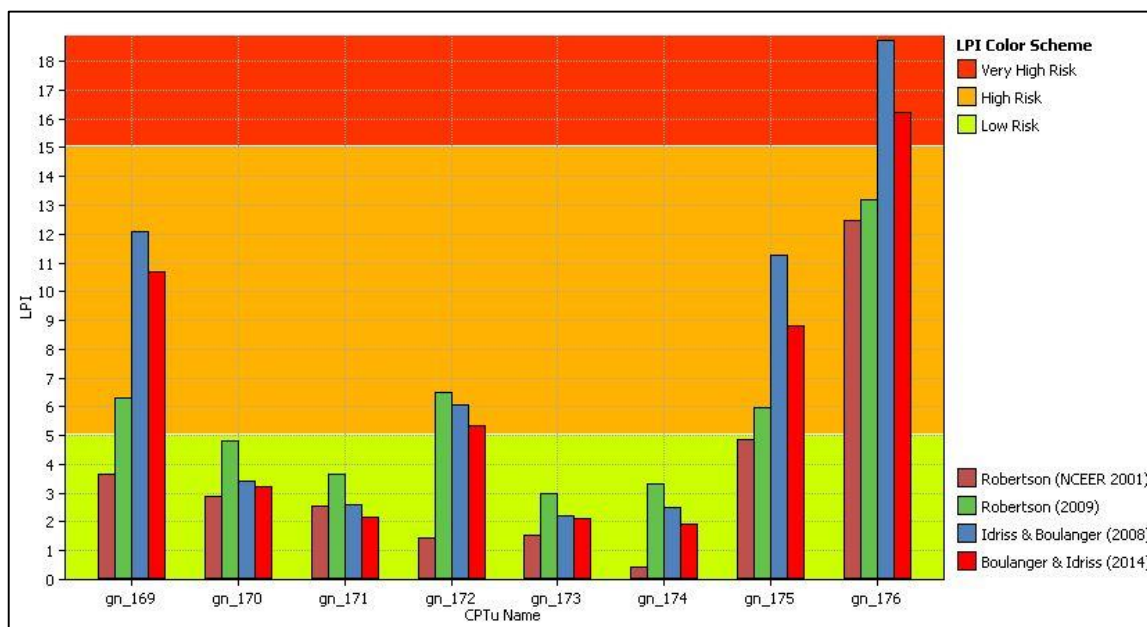
Σχήμα 7.34: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1Α σύμφωνα με το 2^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10)

Περιοχή 1Β - Απολλώνια Πολιτεία

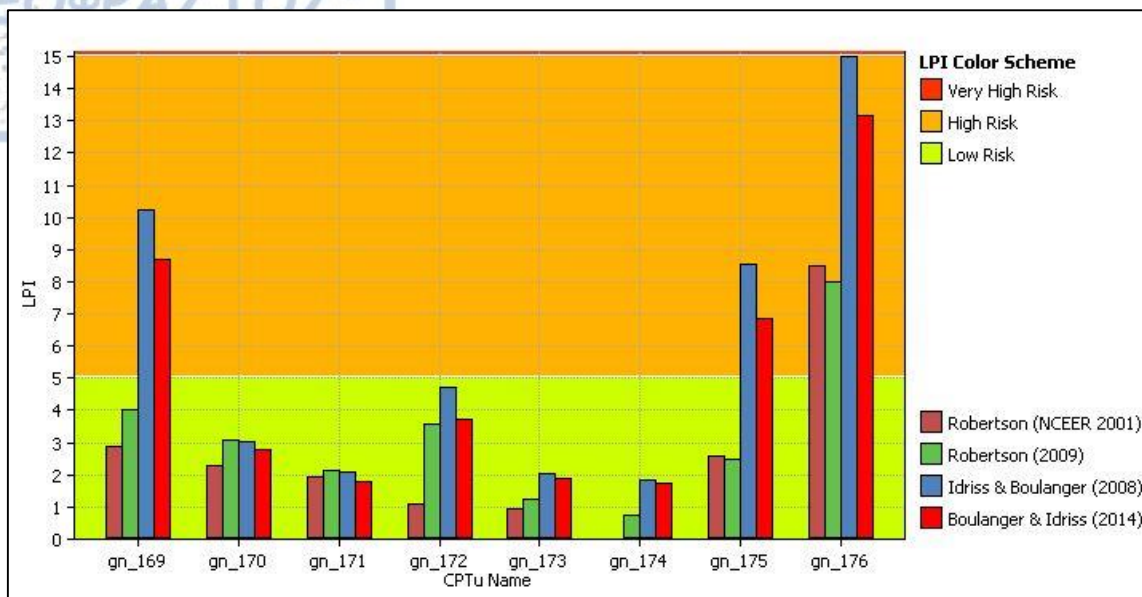
Στο Σχήμα 7.35, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη LPI, για την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9. Σύμφωνα μ' αυτό, η μεθοδολογία του Robertson (NCEER, 2001) παρουσιάζει και σ' αυτή την περίπτωση τις μικρότερες τιμές LPI, ενώ μόλις μία εκ των εδαφικών στηλών εμφανίζει τιμή $LPI > 5\%$. Αναφορικά με τη μεθοδολογία του Robertson (2009) παρατηρούνται εξ ολοκλήρου τιμές $LPI \leq 15\%$. Παρόμοια εικόνα ως προς τις τιμές του LPI εμφανίζει και η μεθοδολογία των Boulanger και Idriss (2014) όπου παρατηρείται μόλις μία τιμή που υπερβαίνει το 15 κι εμπίπτει στην περιοχή πολύ υψηλού δυναμικού

ρευστοποίησης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Idriss και Boulanger (2008), μόλις τρεις από τις συνολικά οκτώ εδαφικές στήλες παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές συγκριτικά με τις άλλες μεθοδολογίες με $LPI=11.2\%$, $LPI=12.1\%$ και $LPI=18.8\%$ αντίστοιχα. Οι υπόλοιπες τιμές παρουσιάζουν οριακά υψηλό δυναμικό ρευστοποίησης.

Στην περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους $M 7.0$ (Σχήμα 7.36), παρατηρείται παρόμοια εικόνα μ' αυτή του σχήματος 7.32, με τη διαφορά ότι η gn_176 παρουσιάζει τιμές $5\% < LPI \leq 15\%$ υποδεικνύοντας υψηλό δυναμικό ρευστοποίησης. Για τα υπόλοιπα CPT οι Robertson (NCEER, 2001) και Robertson (2009) παρουσιάζουν χαμηλές τιμές ($LPI < 4\%$). Τέλος, με βάση τους Boulanger και Idriss (2014) και Idriss και Boulanger (2008), οι gn_169 και gn_175 εμφανίζουν τιμές $LPI > 5\%$, χωρίς ωστόσο να εμπίπτουν στην περιοχή πολύ υψηλού δυναμικού ρευστοποίησης.



Σχήμα 7.35: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 1^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9)

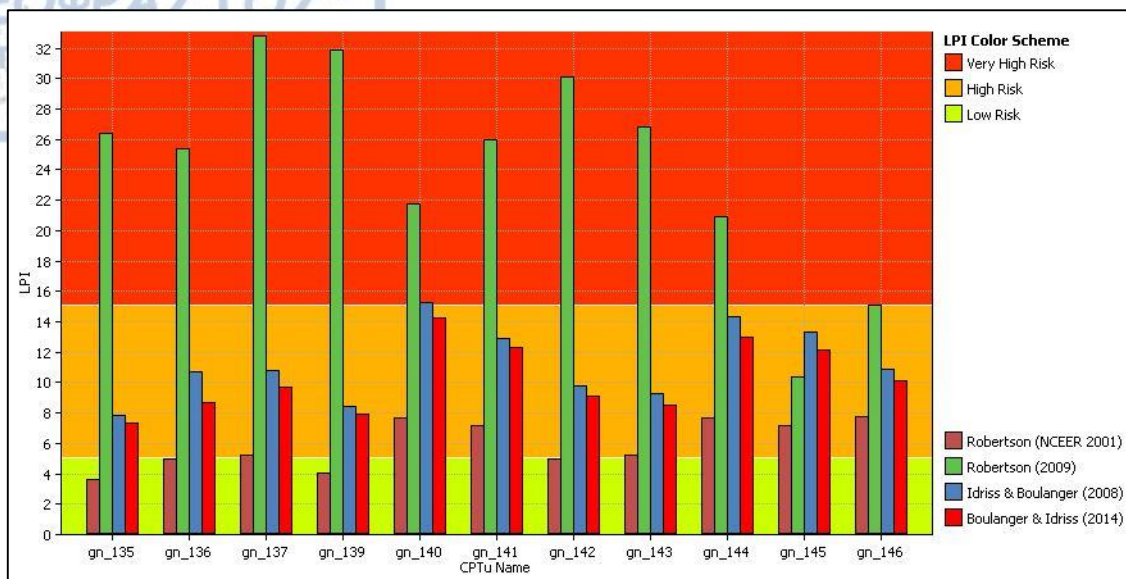


Σχήμα 7.36: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 2^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10)

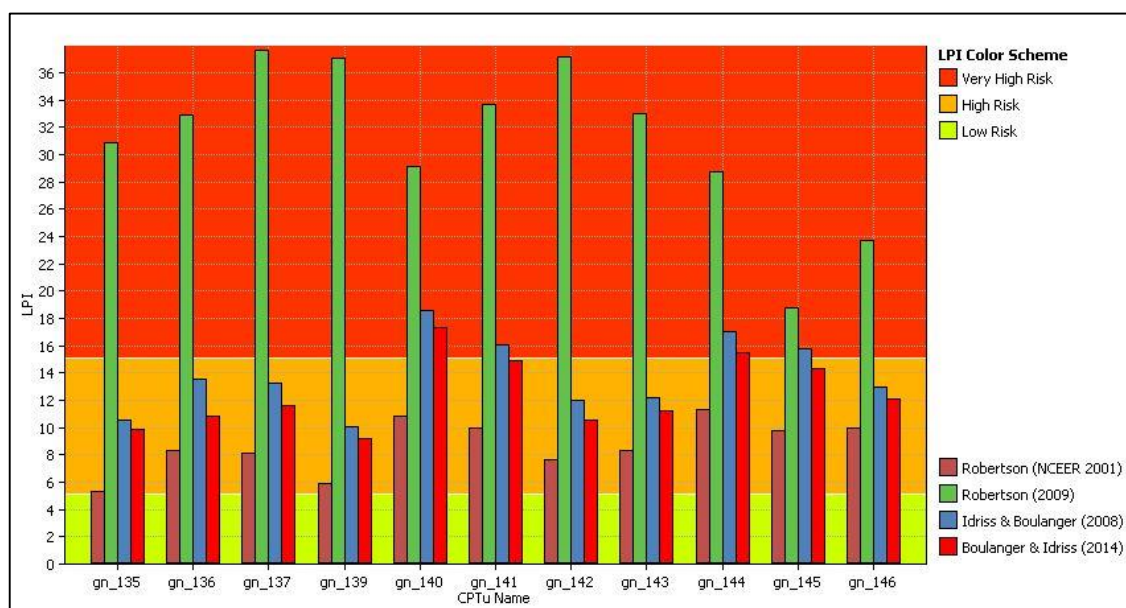
Περιοχή 2: Οργανισμός Λιμένα Θεσσαλονίκης

Στο Σχήμα 7.37, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη LPI, για την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9 για το λιμάνι Θεσσαλονίκης. Σύμφωνα με τα ραβδογράμματα, η μεθοδολογία του Robertson (NCEER, 2001) παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές LPI υποδεικνύοντας χαμηλό έως υψηλό δυναμικό ρευστοποίησης. Μεγαλύτερες τιμές LPI παρατηρούνται σύμφωνα με τους Boulanger και Idriss (2014), ενώ έπεται με μικρή διαφορά ως προς τη διακύμανση των ραβδογραμμάτων η μεθοδολογία των Idriss και Boulanger (2008). Και στις δύο περιπτώσεις, οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ $7.5\% \leq LPI \leq 15\%$. Ως προς τη μεθοδολογία του Robertson (2009), στην πλειονότητά τους οι εδαφικές στήλες παρουσιάζουν τιμές $LPI > 20\%$, χαρακτηρίζοντας το δυναμικό ρευστοποίησης ως πολύ υψηλό.

Αναφορικά με την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0 (Σχήμα 7.38), αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το σύνολο των LPI για όλες τις εδαφικές στήλες - σύμφωνα και με τις τέσσερις μεθοδολογίες - παρουσιάζει τιμές $LPI > 5\%$. Ειδικότερα, οι τιμές που προέκυψαν βάσει μεθοδολογίας του Robertson (2009) θεωρούνται ιδιαίτερα υψηλές καθώς ξεκινούν από την τιμή 18.5% (gn_145), προσεγγίζοντας έως και την τιμή 37% (gn_137). Χαμηλότερες τιμές, παρατηρούνται σύμφωνα με τις υπόλοιπες μεθοδολογίες. Μάλιστα, ακόμη και στην περίπτωση της μεθοδολογίας του Robertson (NCEER, 2001) οι τιμές σ' όλα τα CPT είναι μεγαλύτερες του 5 με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν υψηλό δυναμικό ρευστοποίησης.



Σχήμα 7.37: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 1^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9)



Σχήμα 7.38: Κατανομή τιμών LPI ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 2^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10)

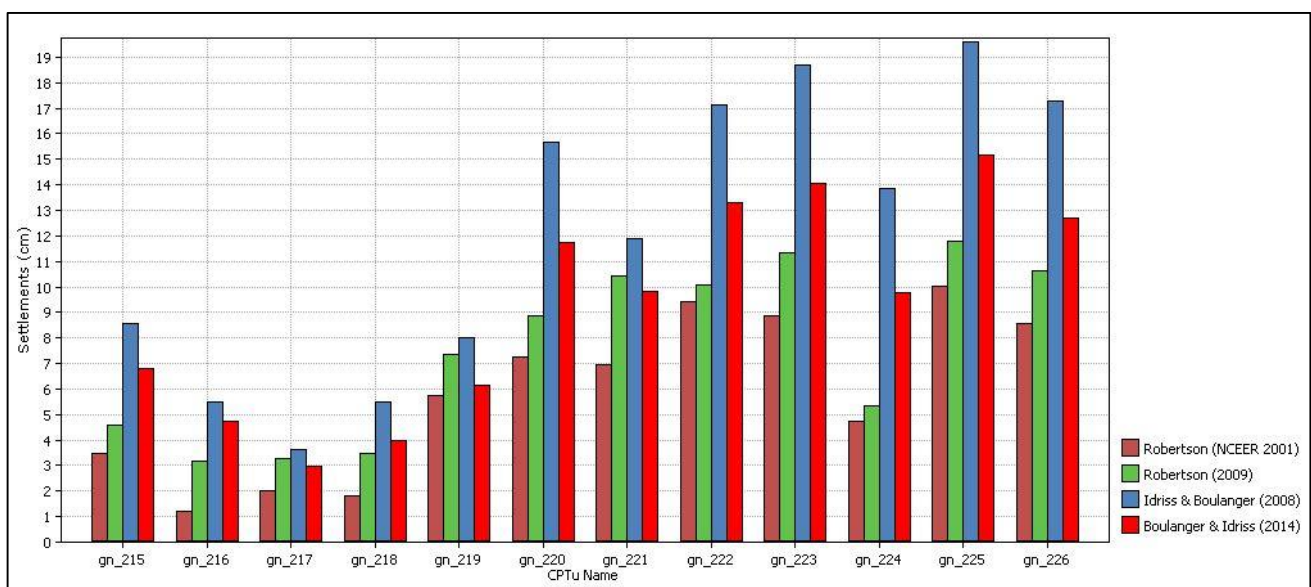
ii. Καθιζήσεις (Vertical displacements)

Περιοχή 1Α - Απολλώνια Πολιτεία

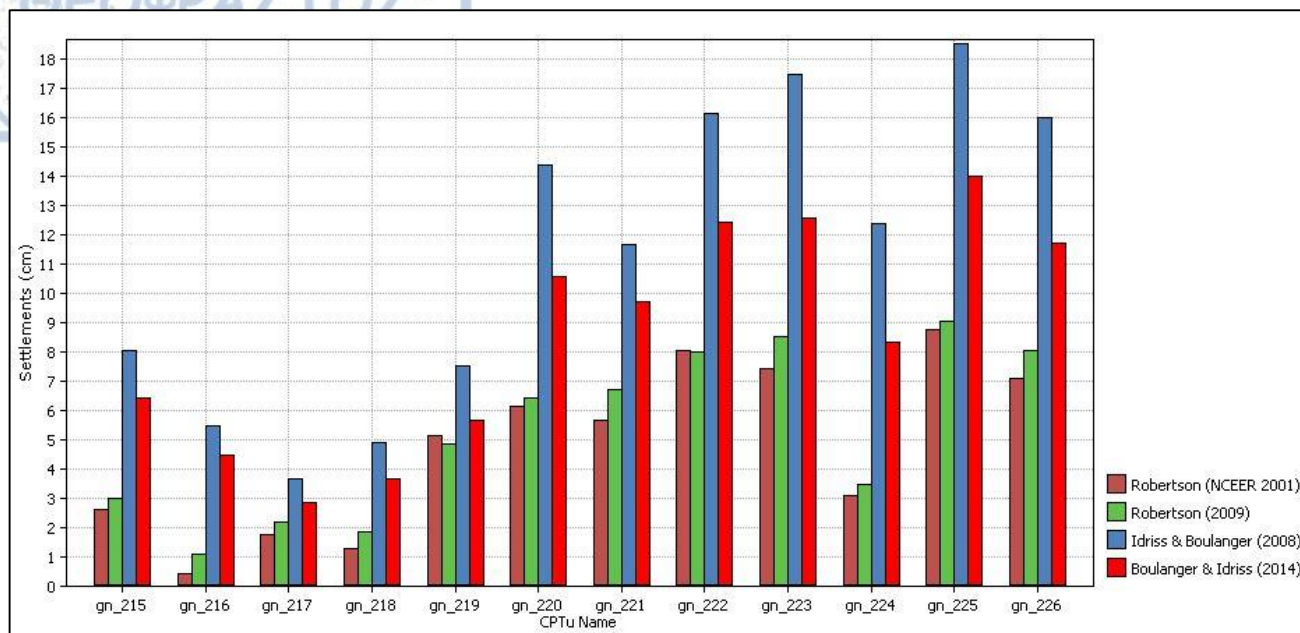
Στο Σχήμα 7.39, παρουσιάζεται η καθίζηση (cm) που υπολογίζεται σε κάθε CPT, για την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9.

Σύμφωνα μ' αυτό, η μεθοδολογία του Robertson (NCEER, 2001) εμφανίζει τις μικρότερες τιμές, καθώς όλα τα CPT, παρουσιάζουν τιμές μικρότερες των 10cm. Από τη μεθοδολογία του Robertson (2009) παρατηρούνται λίγο υψηλότερες τιμές με τη μέγιστη καθίζηση να είναι της τάξης των 11.8 cm (gn_225). Ακολουθεί η μέθοδος των Boulanger και Idriss (2014) σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται καθιζήσεις οι οποίες κυμαίνονται από 3 έως 7 cm για τις θέσεις των gn_215 - gn_219 κι από 10 έως 15 cm για τα υπόλοιπα CPT. Με βάση τους Idriss και Boulanger (2008), η πλειοψηφία των ραβδογραμμάτων παρουσιάζει σημαντικές καθιζήσεις από 12 cm (gn_221) μέχρι και πάνω από 19 cm (gn_225), ενώ οι χαμηλότερες τιμές είναι της τάξης των 3.5-8.5 cm.

Αντίστοιχη εικόνα παρατηρείται και στην περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Γερακαρού με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0 (Σχήμα 7.40). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι καθιζήσεις που παρατηρούνται σύμφωνα με τους Robertson (NCEER, 2001) και Robertson (2009) παρουσιάζουν πολύ μικρές, έως αμελητέες, διαφορές για το σύνολο των CPT, με μέγιστες τιμές που δεν ξεπερνούν τα 9 cm. Ακολουθεί η μέθοδος των Boulanger και Idriss (2014) σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται καθιζήσεις οι οποίες κυμαίνονται από 2.9 έως 6.4 cm για τις θέσεις των gn_215 - gn_219 κι από 8.4 έως 14 cm για τα υπόλοιπα CPT. Με βάση τους Idriss και Boulanger (2008), η πλειοψηφία των ραβδογραμμάτων παρουσιάζει σημαντικές καθιζήσεις από 11.6 cm (gn_221) μέχρι και πάνω από 18 cm (gn_225), ενώ οι χαμηλότερες τιμές είναι της τάξης των 3.8-8 cm.



Σχήμα 7.39: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1Α σύμφωνα με το 1^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9)



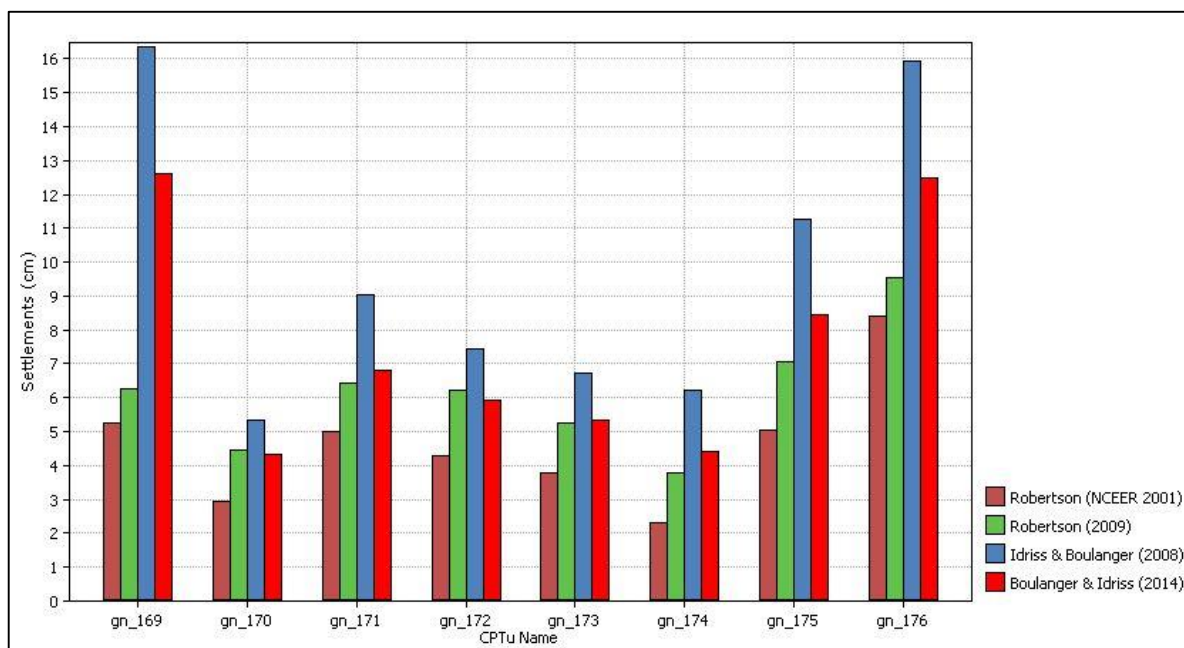
Σχήμα 7.40: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1Α σύμφωνα με το 2^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10)

Περιοχή 1Β - Απολλώνια Πολιτεία

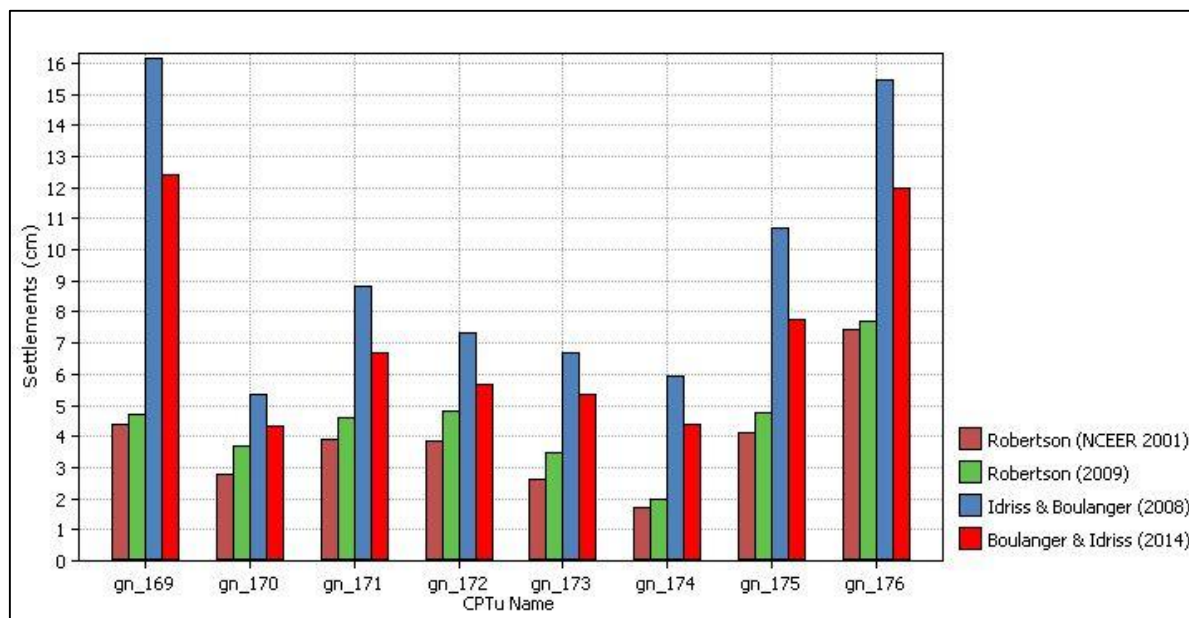
Στο Σχήμα 7.41, παρουσιάζονται οι καθιζήσεις που υπολογίζονται σε κάθε CPT, για την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9. Σύμφωνα μ' αυτό, η μεθοδολογία των Robertson (NCEER, 2001) παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές που κυμαίνονται από 3 έως 8.4 cm. Στην περίπτωση των gn_170 – gn_175 παρατηρείται σχετικά μικρή διακύμανση ως προς τις τιμές των καθιζήσεων που υπολογίζονται με τις μεθόδους του Robertson (2009) και των Boulanger και Idriss (2014). Ωστόσο στις gn_169 και gn_176 η διαφορά που παρατηρείται είναι της τάξης των 6 και 3 cm αντίστοιχα. Τέλος, μεγαλύτερες καθιζήσεις αναμένονται σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Idriss και Boulanger (2008), οι οποίες κυμαίνονται από 5.4 έως 11.3 cm στην πλειοψηφία των εδαφικών στηλών, μπορούν όμως να φθάσουν ή και να ξεπεράσουν τα 16 cm (gn_169 και gn_176).

Παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και στο Σχήμα 7.42 στην περίπτωση ενεργοποίησης του ρήγματος Γερακαρού με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται με βάση τη μεθοδολογία των Robertson (NCEER, 2001) και κυμαίνονται από 1.8 έως 7.4 cm. Ακολουθεί η μέθοδος του Robertson (2009) με μικρές διαφορές ως προς τους Robertson (NCEER, 2001). Οι Boulanger και Idriss (2014) εμφανίζουν υψηλότερες τιμές που μπορούν να φτάσουν μέχρι και τα 12.4 cm. Τέλος, μεγαλύτερες καθιζήσεις αναμένονται σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Idriss και

Boulanger (2008), οι οποίες κυμαίνονται από 5.4 έως 10.7 cm στην πλειοψηφία των εδαφικών στηλών, μπορούν όμως να ξεπεράσουν τα 15 και 16 cm στις περιπτώσεις των gn_176 και gn_169 αντίστοιχα.



Σχήμα 7.41: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 1^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9)

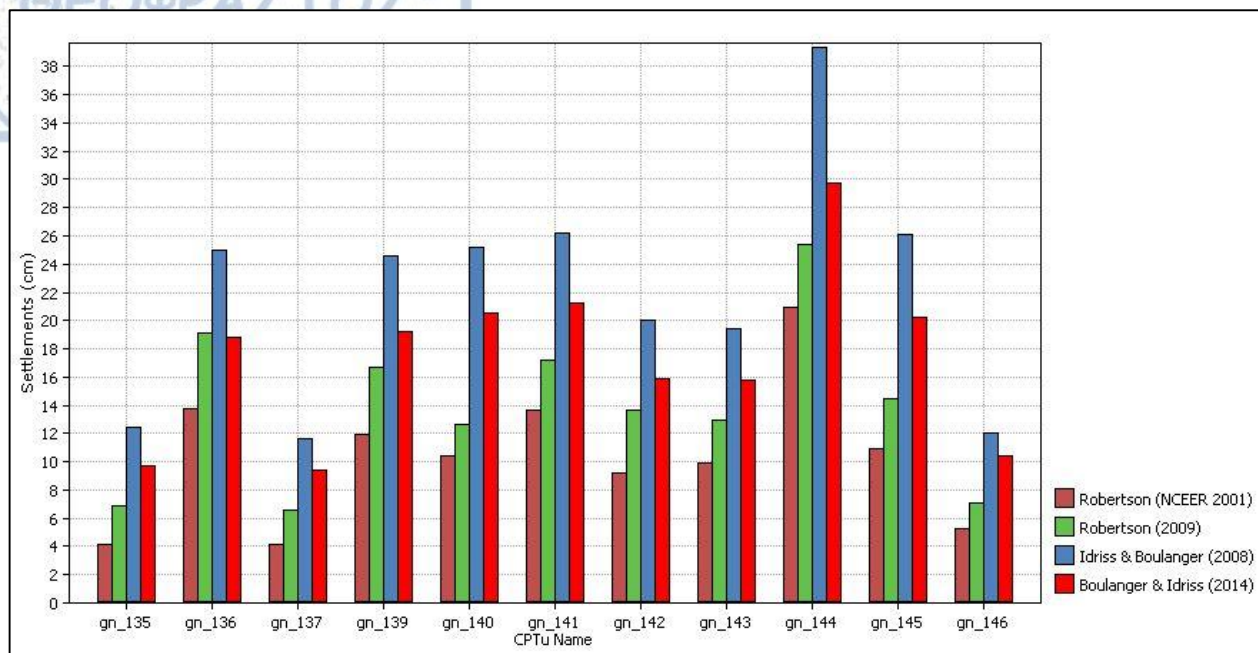


Σχήμα 7.42: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 2^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10)

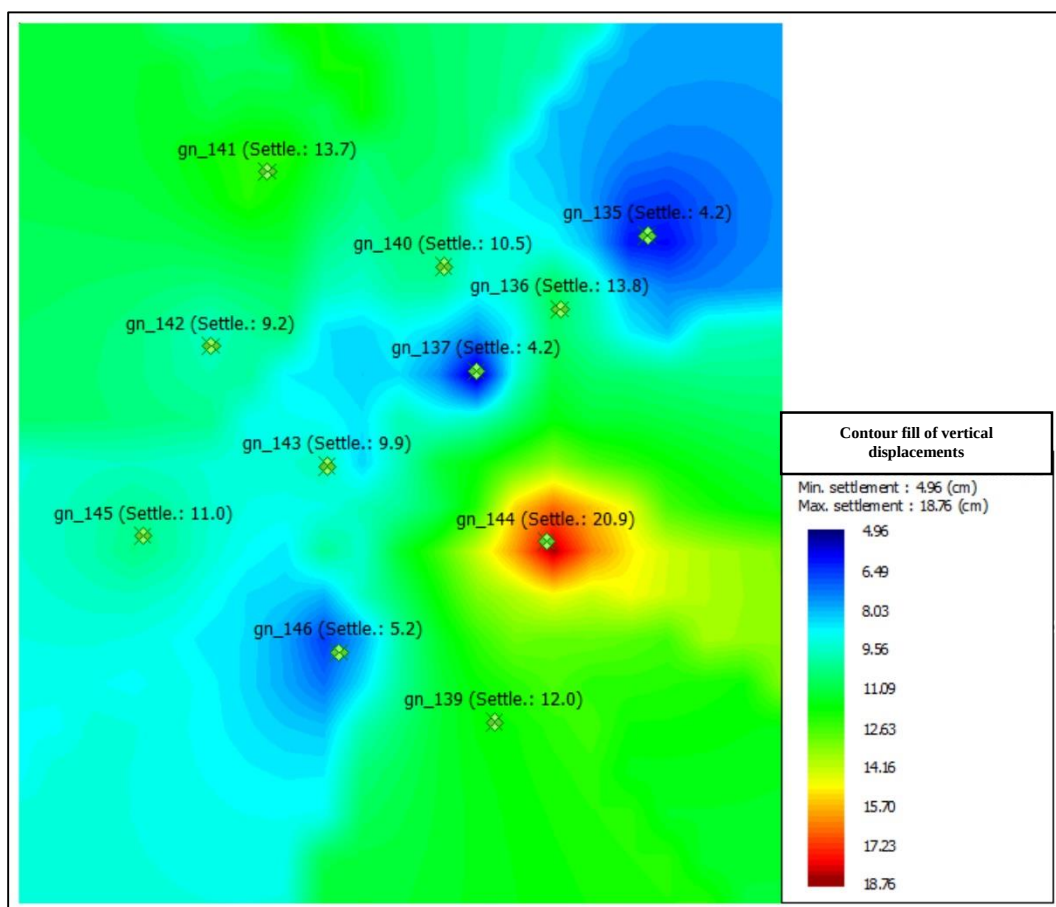
Περιοχή 2: Οργανισμός Λιμένα Θεσσαλονίκης

Στο Σχήμα 7.43, παρουσιάζεται η καθίζηση (cm) που υπολογίζεται σε κάθε CPT, για την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9. Σύμφωνα μ' αυτό, η μεθοδολογία του Robertson (NCEER, 2001) εμφανίζει τις μικρότερες τιμές, οι οποίες ωστόσο μπορούν να φτάσουν μέχρι και τα 20.9 cm στην περίπτωση της gn_144, όπως παρουσιάζεται χαρακτηριστικά στον χάρτη διακύμανσης των καθιζήσεων (Σχήμα 7.44). Από τη μεθοδολογία του Robertson (2009) παρατηρούνται ακόμη μεγαλύτερες τιμές με τη μέγιστη καθίζηση να είναι της τάξης των 25.5 cm. Ακολουθεί η μέθοδος των Boulanger και Idriss (2014) σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται κατακόρυφες μετατοπίσεις οι οποίες κυμαίνονται από 9.5 έως 30 cm. Με βάση τους Idriss και Boulanger (2008), παρατηρούνται ιδιαίτερα σημαντικές καθιζήσεις που ξεκινούν από 11.8 cm (gn_137) και φθάνουν μέχρι και πάνω από 39 cm (gn_144).

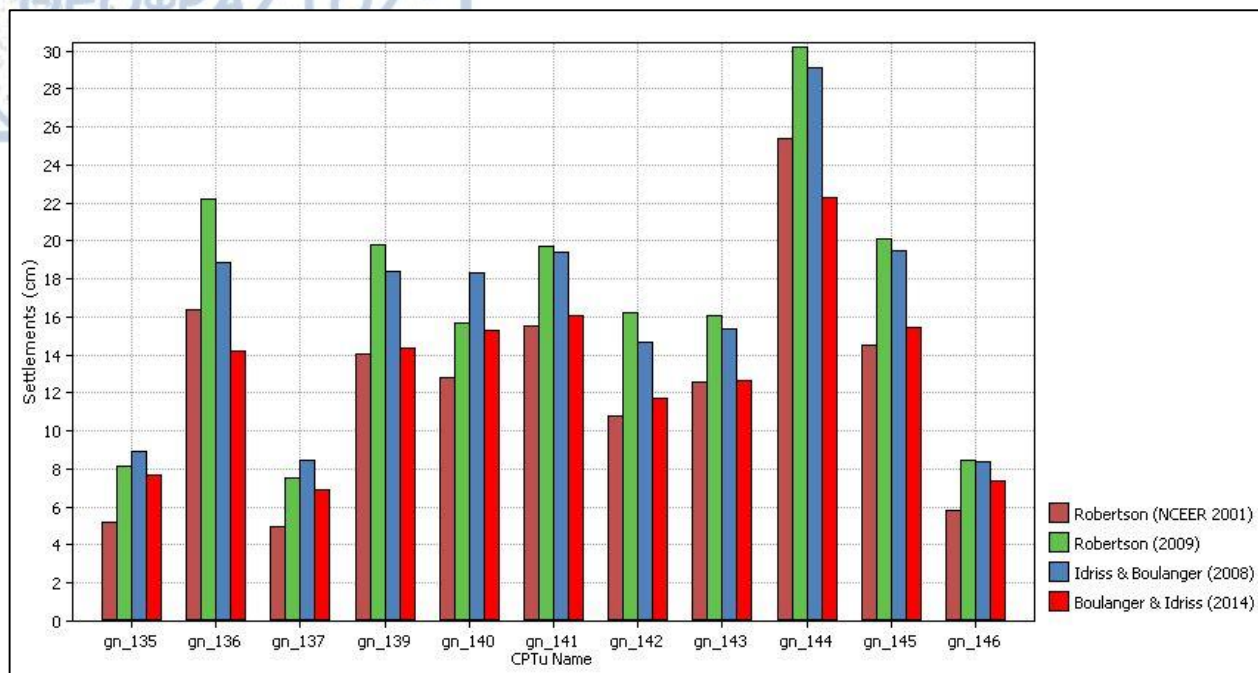
Η περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Γερακαρού με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0 (Σχήμα 7.45) παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς εκτός από τις υψηλές έως πολύ υψηλές τιμές που παρατηρούνται στο σύνολο των εδαφικών στηλών, παρατηρείται μια διαφοροποίηση σε σχέση με τη διακύμανση των ραβδογραμμάτων ανά μεθοδολογία. Πιο συγκεκριμένα, οι μεθοδολογίες των Robertson (NCEER, 2001) και Boulanger και Idriss (2014) παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές που κυμαίνονται από 5 έως 7.5 cm στην περίπτωση των gn_135, gn_137 και gn_146 κι από 11 έως 16.5 cm για τις gn_136, gn_145 και gn_139 έως gn_143. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι καθιζήσεις που παρατηρούνται στην gn_144 είναι της τάξης των 22 cm (Boulanger και Idriss, 2014)) και 25.4 cm σύμφωνα με τους Robertson (NCEER, 2001) (Σχήμα 7.46). Υψηλότερες τιμές παρουσιάζονται συνολικά για την περιοχή σύμφωνα με τους Idriss και Boulanger (2008), με τιμές που κυμαίνονται από 8 cm (gn_146) και μπορούν να φθάσουν μέχρι και τα 29 cm (gn_144). Μάλιστα στις περιπτώσεις των gn_137 και gn_140 οι τιμές που παρατηρούνται σύμφωνα με τους Idriss και Boulanger (2008), είναι οι μέγιστες συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθοδολογίες. Τέλος, σημαντικές καθιζήσεις παρατηρούνται σύμφωνα με τον Robertson (2009), με τις χαμηλότερες τιμές να είναι της τάξης των 8 cm (gn_135, gn_137 και gn_146). Στις υπόλοιπες εδαφικές στήλες οι τιμές ξεκινούν από 15.8 cm (gn_140) και μπορούν να ξεπεράσουν μέχρι και τα 30 cm (gn_144).



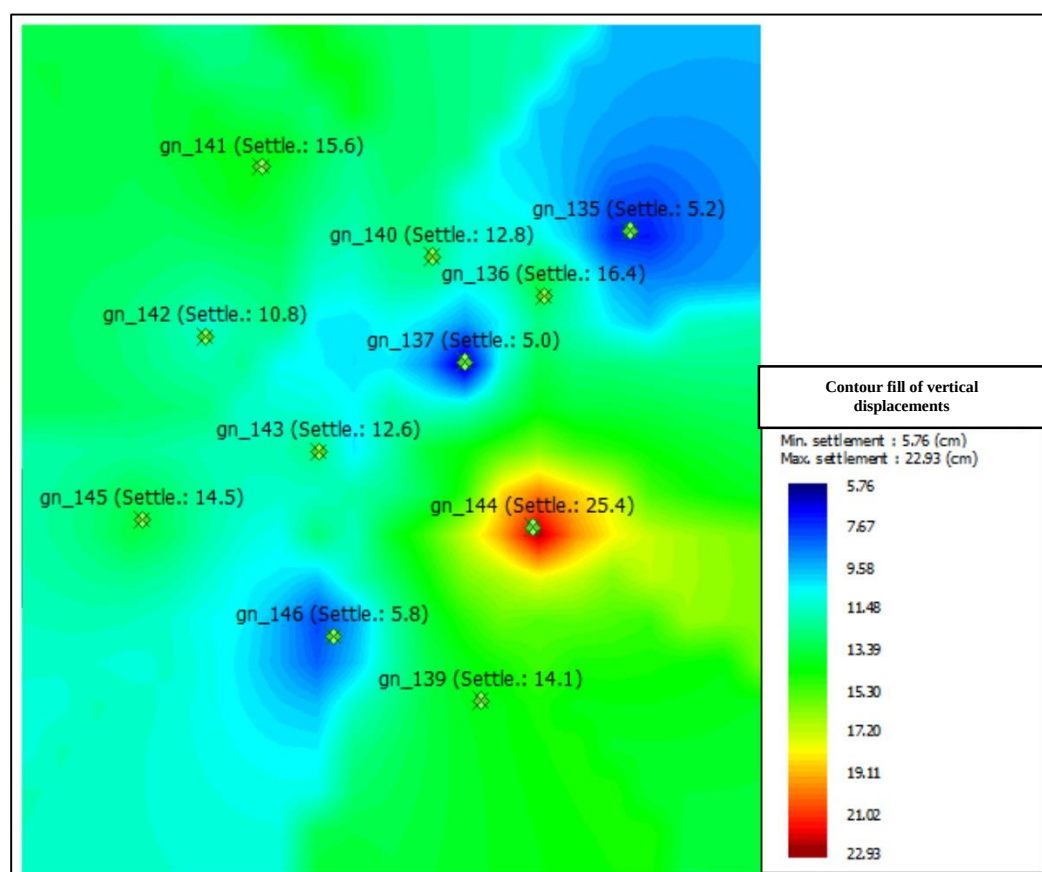
Σχήμα 7.43: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 1^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9)



Σχήμα 7.44: Κατανομή καθιζήσεων κατά Robertson (NCEER, 2001) για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 1^ο σεισμικό σενάριο



Σχήμα 7.45: Κατανομή καθιζήσεων ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 2^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10)



Σχήμα 7.46: Κατανομή καθιζήσεων κατά Robertson (NCEER, 2001) για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 2^ο σεισμικό σενάριο

iii. Πλευρικές εξάπλώσεις (Lateral displacements)

Για τη διερεύνηση της πλευρικής εξάπλωσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό CLiq όπου επεξεργάστηκαν δεδομένα από τις διαθέσιμες πενетроμετρήσεις για κάθε μια περιοχή σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Zhang et al. (2004). Στην περίπτωση της περιοχής 1A, η πλευρική εξάπλωση υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση των διαθέσιμων CPT από το ρέμα, καθώς και το ύψος του ελεύθερου μετώπου. Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιείται μέσω της διαθέσιμης επιλογής «level ground free face» που παρέχει το λογισμικό. Στις υπόλοιπες περιοχές (1B και 2), η διερεύνηση της πλευρικής εξάπλωσης υπολογίζεται με βάση την προεπιλεγμένη επιλογή «gently slope ground», σύμφωνα με την οποία η κλίση του εδάφους θεωρείται ήπια.

Περιοχή 1A - Απολλώνια Πολιτεία

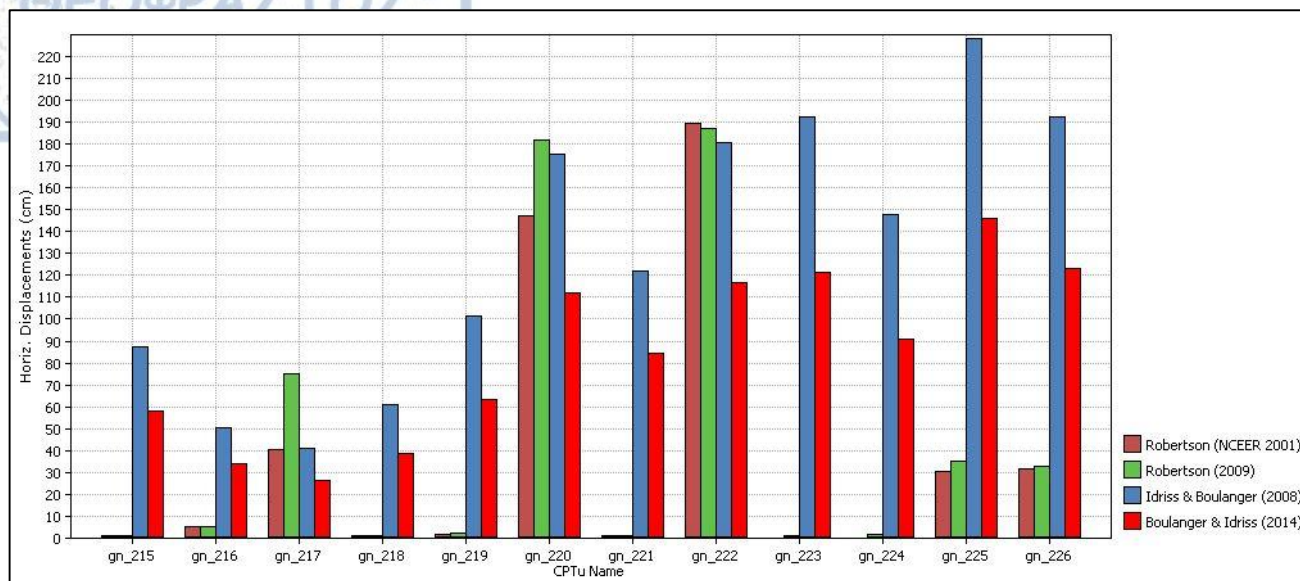
Για τη διερεύνηση της πλευρικής εξάπλωσης στην περιοχή 1A χρησιμοποιήθηκαν οι διαθέσιμες πενетроμετρήσεις (gn_215, gn_216, gn_218, gn_219, gn_221, gn_223, gn_224, gn_225, gn_226). Η διαδικασία βασίζεται στον υπολογισμό του λόγου της απόστασης (L) κάθε στατικής πενетроμέτρησης από το ρέμα, προς το ύψος του ελεύθερου μετώπου ποταμού (H) (πίνακας 7.11). Ο λόγος θα πρέπει να είναι μικρότερος των 50 m ($1.0 < L/H < 50$) ενώ το ύψος του ποταμού (H) καθορίζεται στα 2 m από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή (Papathanassiou et al., 2020). Ακόμη, σύμφωνα με τους Chu et al. (2006) προτείνεται η διαθέσιμη επιλογή «Ignore displacements below 2H» ώστε στην περίπτωση που το βάθος του επιδεκτικού σε ρευστοποίηση στρώματος από την επιφάνεια του εδάφους είναι μεγαλύτερο από 2H, να μην προκαλεί πλευρική εξάπλωση γιατί η εμφάνιση του στρώματος είναι πολύ βαθιά.

Πίνακας 7.11: Πληροφορίες σχετικά με την απόσταση των πενетроμετρήσεων από το ρέμα και το ύψος του ελεύθερου μετώπου

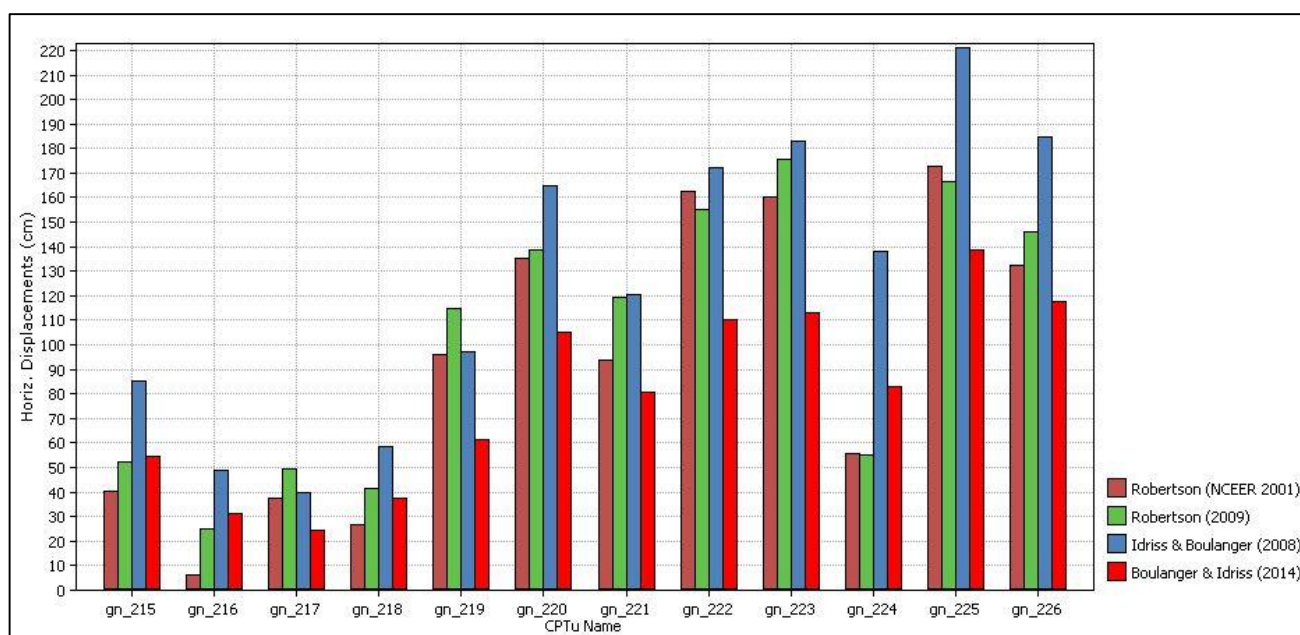
CPT	L (m)	H (m)	L/H (m)
gn_215	65	2	32.5
gn_216	74.5	2	37.25
gn_218	74	2	37
gn_219	83	2	41.5
gn_221	70	2	35
gn_223	64	2	32
gn_224	49	2	24.5
gn_225	27,5	2	13.75
gn_226	25	2	12.5

Στο Σχήμα 7.47, παρουσιάζεται η πλευρική εξάπλωση που υπολογίζεται σε κάθε CPT, για την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9. Σύμφωνα μ' αυτό, η μεθοδολογία του Robertson (NCEER, 2001) εμφανίζει τις μικρότερες τιμές, καθώς σε επτά από τα συνολικά δώδεκα CPT, η πλευρική εξάπλωση λαμβάνει τιμές μικρότερες των 10 cm. Μάλιστα, σε κάποιες περιπτώσεις (gn_215, gn_218, gn_221 και gn_223) δεν παρατηρείται κάποια οριζόντια μετατόπιση. Ωστόσο, στην περίπτωση των gn_220 και gn_222 εντοπίζονται σημαντικές τιμές πλευρικής εξάπλωσης της τάξης των 150 και 190 cm αντίστοιχα. Παρόμοια εικόνα παρατηρείται κι από τη μεθοδολογία του Robertson (2009) όπου οι μεγαλύτερες τιμές (180-190 cm) εμφανίζονται και πάλι στις gn_220 και gn_222. Ακολουθεί η μέθοδος των Boulanger και Idriss (2014) σύμφωνα με την οποία στο σύνολο των εδαφικών στηλών παρατηρούνται οριζόντιες μετατοπίσεις οι οποίες κυμαίνονται από 27 έως 145 cm. Με βάση τους Idriss και Boulanger (2008), η πλειοψηφία των ραβδογραμμάτων παρουσιάζει σημαντικές πλευρικές εξαπλώσεις από 100 cm μέχρι και πάνω από 220 cm (gn_225), ενώ οι χαμηλότερες τιμές είναι της τάξης των 40-60 cm.

Η περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Γερακαρού με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0 (Σχήμα 7.48) παρουσιάζει σαφή διαφορά σε σχέση με τη διακύμανση των ραβδογραμμάτων ανά μεθοδολογία του πρώτου σεισμικού σεναρίου. Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία των Boulanger και Idriss (2014) παρότι εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές για οκτώ εδαφικές στήλες έναντι των υπόλοιπων μεθοδολογιών, παρουσιάζει σημαντικές πλευρικές εξαπλώσεις που κυμαίνονται από 25 έως 140 cm. Αναφορικά με τη μεθοδολογία του Robertson (NCEER, 2001) παρατηρούνται τιμές που κυμαίνονται από 5 cm (gn_216) και μπορούν να φθάσουν μέχρι και τα 173 cm (gn_225). Αναφορικά με τις άλλες δύο μεθοδολογίες, αυτές παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές για την πλειονότητα των εδαφικών στηλών. Ειδικότερα, με βάση τη μεθοδολογία του Robertson (2009) η χαμηλότερη τιμή εντοπίζεται στη gn_216 με 25 cm μετατόπισης, ενώ η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται στη gn_223 με 175 cm πλευρικής εξάπλωσης. Αντίστοιχα, σύμφωνα με τους Idriss και Boulanger (2008) η μικρότερη τιμή (40 cm) παρατηρείται στη gn_217, ενώ η μεγαλύτερη εμφανίζεται στη gn_225 ξεπερνώντας τα 220 cm.



Σχήμα 7.47: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1Α σύμφωνα με το 1^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9)



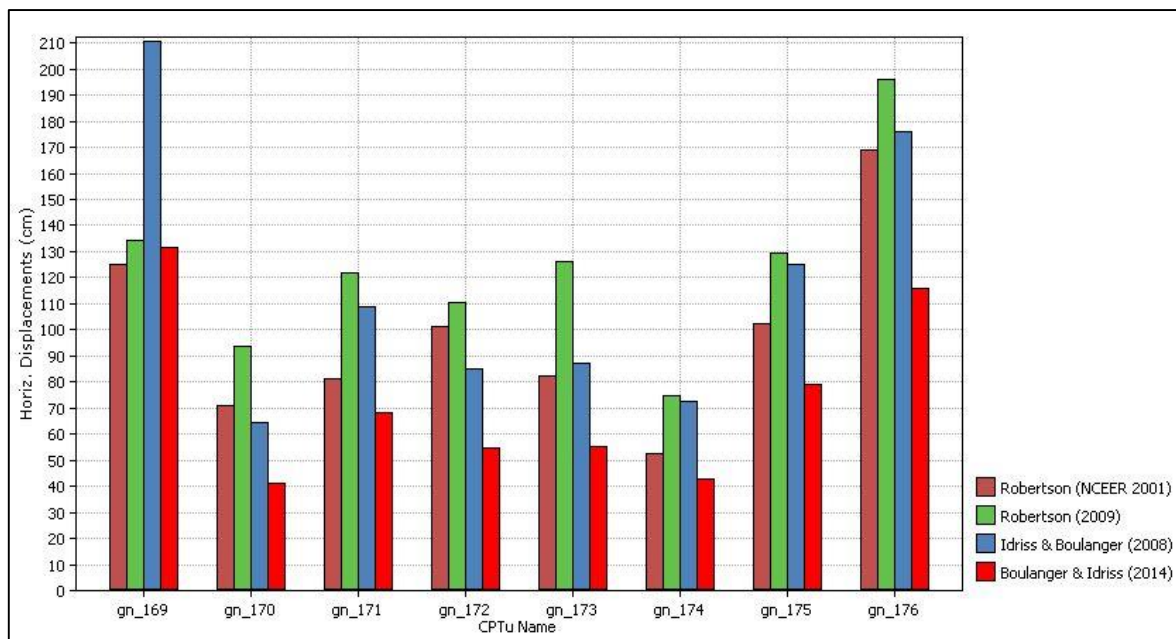
Σχήμα 7.48: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1Α σύμφωνα με το 2^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10)

Περιοχή 1Β - Απολλώνια Πολιτεία

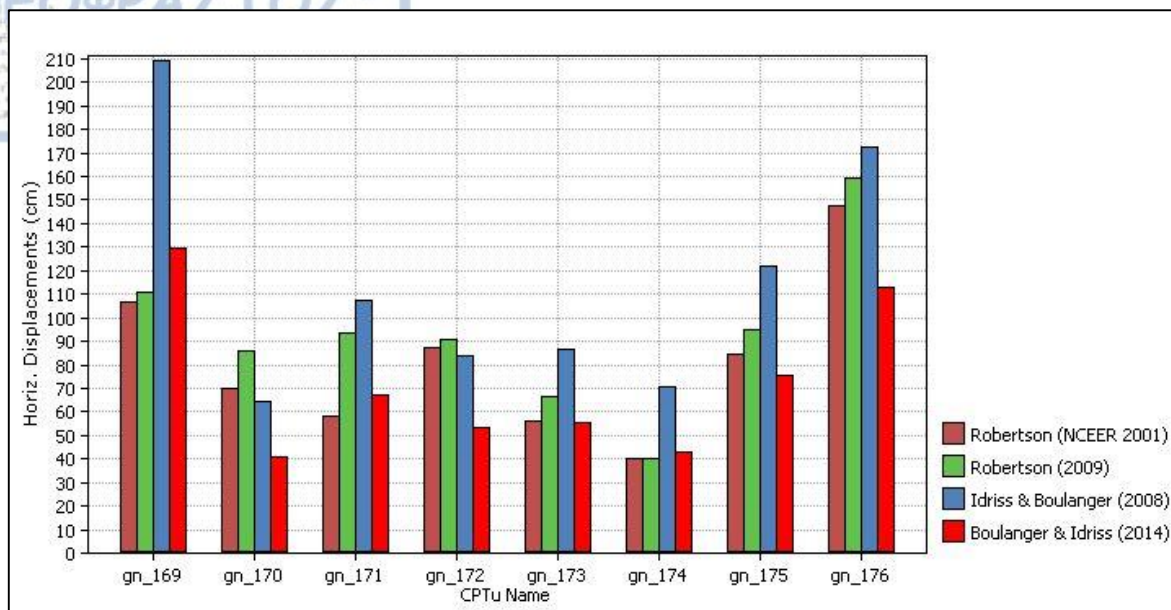
Στο Σχήμα 7.49, παρουσιάζεται η πλευρική εξάπλωση που υπολογίζεται σε κάθε CPT, για την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9. Σύμφωνα μ' αυτό, η μεθοδολογία των Boulanger και Idriss (2014) παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές που κυμαίνονται από 40 έως 130 cm. Στην περίπτωση του Robertson (NCEER, 2001) παρατηρούνται συνολικά υψηλότερες τιμές πλευρικής εξάπλωσης ξεκινώντας από 50 cm (gn_174), φθάνοντας έως

και τα 170 cm (gn_176). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρότι η πλειοψηφία των ραβδογραμμάτων με βάση τους Idriss και Boulanger (2008), υποδεικνύει μικρότερες οριζόντιες μετατοπίσεις από αυτές της μεθοδολογίας του Robertson (2009), στην gn_169 η τιμή της πλευρικής εξάπλωσης παρουσιάζει αισθητά μεγάλη διαφορά (75-85 cm) συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους.

Η κατανομή της πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την ενεργοποίηση του ρήγματος Γερακαρού με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0 παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.50. Σ' αυτήν την περίπτωση οι μεθοδολογίες των Robertson (NCEER, 2001) και Boulanger και Idriss (2014) παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές που κυμαίνονται από 40 έως 88 cm και από 40 έως 76 cm αντίστοιχα για τις gn_170-gn_175. Σχετικά με τις μεθοδολογίες των Robertson (2009) και Idriss και Boulanger (2008), για τις ίδιες θέσεις παρατηρούνται τιμές από 40 έως 95 cm και από 65 έως 122 cm αντίστοιχα. Στις gn_169 και gn_176 παρατηρούνται συνολικά υψηλότερες τιμές πλευρικής εξάπλωσης σύμφωνα με όλες τις διαθέσιμες μεθοδολογίες ξεκινώντας από 105 cm, φθάνοντας έως και τα 210 cm (gn_169), ενώ στην gn_176 η μέγιστη τιμή που παρατηρείται είναι της τάξης των 172 cm



Σχήμα 7.49: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 1^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9)



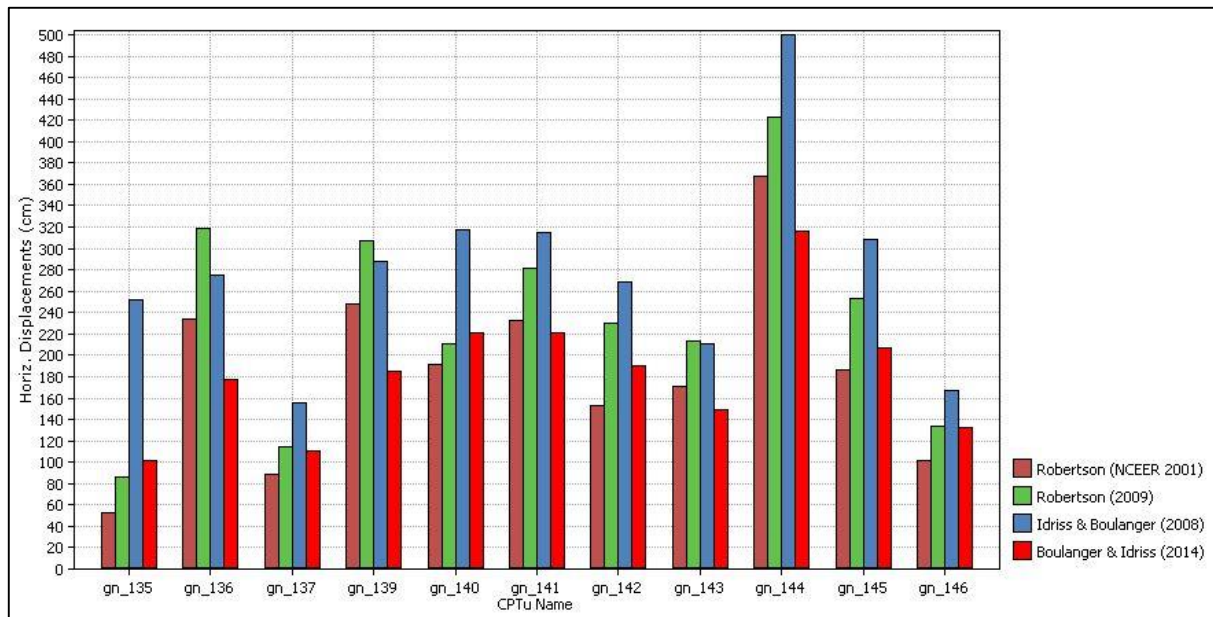
Σχήμα 7.50: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 1B σύμφωνα με το 2^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10)

Περιοχή 2: Οργανισμός Λιμένα Θεσσαλονίκης

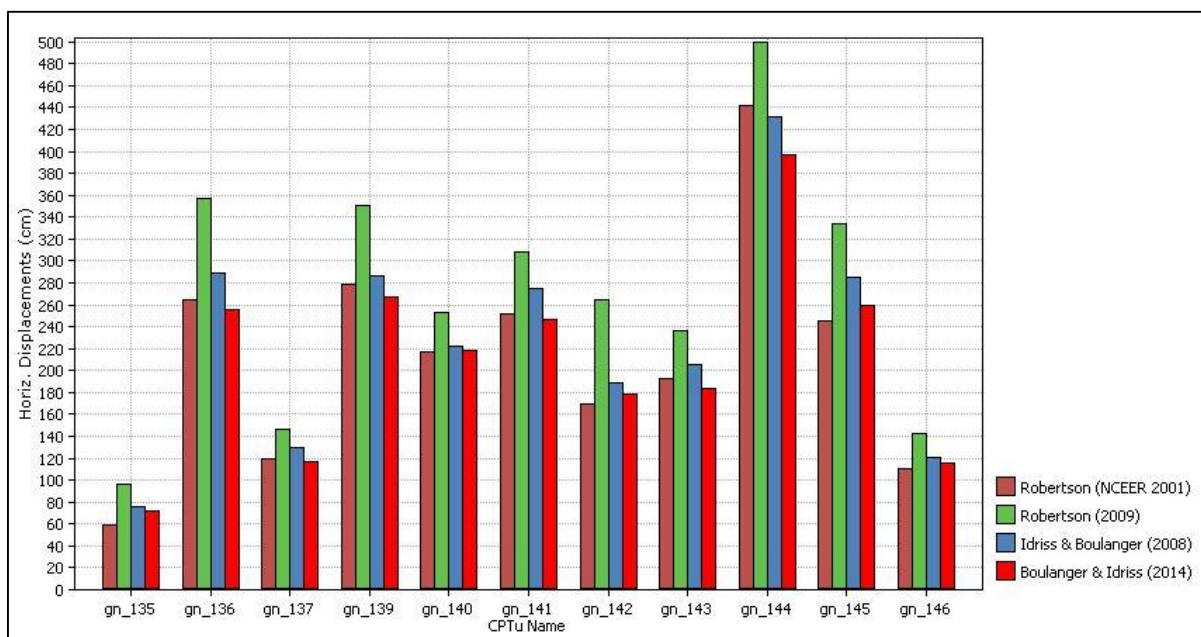
Στο Σχήμα 7.51, παρουσιάζεται η πλευρική εξάπλωση που υπολογίζεται σε κάθε CPT, για την περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα με σεισμική δόνηση μεγέθους M 6.9. Σύμφωνα μ' αυτό, οι μεθοδολογίες των Robertson (NCEER, 2001) και Boulanger και Idriss (2014) εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές, οι οποίες ξεκινούν από οριζόντιες μετατοπίσεις της τάξης των 50 cm (gn_135) και φθάνουν μέχρι και τα 370 cm (gn_144). Η μεθοδολογία του Robertson (2009) παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές ξεκινώντας από 85 cm και καταλήγοντας στα 420 cm για τις ίδιες εδαφικές στήλες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση των gn_136 και gn_139 στις οποίες εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές πλευρικής εξάπλωσης (310-320 cm). Τέλος, με βάση τους Idriss και Boulanger (2008), η πλειοψηφία των ραβδογραμμάτων παρουσιάζει πολύ μεγάλες πλευρικές εξαπλώσεις από 158 (gn_137) cm μέχρι 500 cm (gn_144).

Ιδιαίτερα μεγάλες τιμές πλευρικής εξάπλωσης παρουσιάζονται και στην περίπτωση ενεργοποίησης του ρήγματος Γερακαρού με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0 που παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.52. Οι μεθοδολογίες των Robertson (NCEER, 2001) και Boulanger και Idriss (2014) παρουσιάζουν και σ' αυτήν την περίπτωση τις μικρότερες τιμές. Αυτές κυμαίνονται από 60 cm (gn_135) και φθάνουν μέχρι και τα 440 cm (gn_144). Λίγο μεγαλύτερες τιμές της τάξης των 15-30 cm, παρατηρούνται σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Idriss και Boulanger (2008) για την πλειονότητα των εδαφικών στηλών. Όσο αναφορά τη μεθοδολογία του Robertson (2009), αυτή παρουσιάζει για ολόκληρη την εξεταζόμενη περιοχή πολύ υψηλές τιμές πλευρικής εξάπλωσης. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι ελάχιστες τιμές που παρατηρούνται στις gn_135, gn_137 και gn_146 που είναι της

τάξης των 95-145 cm. Οι μεγαλύτερες τιμές ξεκινούν από οριζόντιες μετατοπίσεις της τάξης των 240-360 cm και μπορούν να φθάσουν έως και τα 500 cm στην περίπτωση της gn_144.



Σχήμα 7.51: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 1^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.9)



Σχήμα 7.52: Κατανομή πλευρικής εξάπλωσης ανά εδαφική στήλη για την περιοχή 2 σύμφωνα με το 2^ο σεισμικό σενάριο (βλ. Πίνακα 7.10)

Συμπερασματικά, η περιοχή 1 παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές LPI στην περίπτωση του πρώτου σεισμικού σεναρίου σε σχέση με το δεύτερο, υποδεικνύοντας κατά κύριο λόγο υψηλό δυναμικό ρευστοποίησης. Στην περίπτωση κάποιων εδαφικών στηλών (gn_176, gn_225 και gn_226) το δυναμικό θεωρείται πολύ υψηλό σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Idriss και Boulanger (2008) και Boulanger και Idriss (2014). Οι καθιζήσεις θεωρούνται σημαντικές για την πλειονότητα των εδαφικών στηλών καθώς μπορούν να φθάσουν μέχρι και τα 16 έως 19 cm σύμφωνα με τους Idriss και Boulanger (2008) για την περιοχή 1B και 1A αντίστοιχα. Αναφορικά με τις πλευρικές εξαπλώσεις, αυτές μπορούν να φθάσουν μέχρι και τα 220 cm τόσο στην περίπτωση ενεργοποίησης του ρήγματος Ανθεμούντα (M 6.9), όσο και στην περίπτωση της Γερακαρού (M 7.0).

Αντίστοιχα, η περιοχή 2 παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλές τιμές LPI, οι οποίες παρατηρούνται στο σύνολο των εδαφικών στηλών με βάση τη μεθοδολογία του Robertson (2009) και για τα δύο σεισμικά σενάρια υποδεικνύοντας πολύ υψηλό δυναμικό ρευστοποίησης. Μάλιστα, στην περίπτωση της ενεργοποίησης του ρήγματος Γερακαρού με σεισμική δόνηση μεγέθους M 7.0 οι τιμές του LPI με βάση τις υπόλοιπες μεθοδολογίες εμπίπτουν στην περιοχή του υψηλού κινδύνου. Ως προς τις αναμενόμενες καθιζήσεις, για την περίπτωση του πρώτου σεισμικού σεναρίου μπορούν να φθάσουν μέχρι τα 39 cm, ενώ στην περίπτωση του δεύτερου σεισμικού σεναρίου οι μέγιστες καθιζήσεις είναι της τάξης των 30 cm. Η περίπτωση των πλευρικών εξαπλώσεων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς αναμένονται μετατοπίσεις από 100 έως και 300 cm, με περιπτώσεις εδαφικών στηλών στις οποίες η πλευρική εξάπλωση μπορεί να ξεπεράσει τα 350 cm και να παρουσιάσει οριζόντια μετατόπιση έως και 500 cm.

8. Συμπεράσματα

Η διδακτορική διατριβή έχει ως αντικείμενο την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση και ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών του αστικού περιβάλλοντος της Θεσσαλονίκης με τη δημιουργία και χρήση τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων για το σχεδιασμό τεχνικών έργων, τη διαχείριση έναντι γεωκινδύνων και την προστασία του γεωπεριβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα επικεντρώνεται στη λεπτομερή διερεύνηση της γεωλογικής σύστασης, των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων και της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των τεχνητών επιχώσεων και των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας, με σκοπό την απομείωση της γεωλογικής αβεβαιότητας και την αντιμετώπιση γεωτεχνικών προκλήσεων που σχετίζονται μ' αυτή.

Η συνεχής κι αυξανόμενη διαθεσιμότητα των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών δεδομένων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης κατέστησε επιτακτική την ανάγκη διαχείρισής τους με τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας, με σκοπό την εις βάθος διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών της περιοχής έρευνας. Η αξία της παρούσας έρευνας επισημαίνεται σε πρώτο βαθμό από την απουσία μιας τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων προσανατολισμένη στον ασφαλή αστικό σχεδιασμό και τη διαχείριση γεωκινδύνων του αστικού περιβάλλοντος της Θεσσαλονίκης.

Τα καινοτόμα στοιχεία της διδακτορικής διατριβής εντοπίζονται κυρίως στη λεπτομερή μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε η οποία αφορά στην αποτελεσματική ανάλυση και διαχείριση ενός τεράστιου όγκου διαθέσιμων δεδομένων τόσο σε επίπεδο μικρής, όσο και σε επίπεδο μεγάλης χαρτογραφικής κλίμακας. Μέσω αυτής της διαδικασίας, κατέστη πλήρως εφικτή η ανάδειξη των πολυάριθμων χρήσεων της βάσης δεδομένων, διαμορφώνοντας έναν πολύτιμο οδηγό ο οποίος μπορεί να αξιοποιηθεί από τις διάφορες εμπλεκόμενες ειδικότητες που σχετίζονται με τον αστικό πολεοδομικό σχεδιασμό.

Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας προτείνεται να χρησιμοποιηθούν ως ένα σύνολο χρήσιμων εργαλείων και πρακτικών συστάσεων που μπορούν να αξιοποιηθούν πλήρως στα στάδια προμελέτης και πρόδρομων αναλύσεων με σκοπό:

- την ενίσχυση της γνώσης σχετικά με τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας
- την ανάδειξη επικίνδυνων περιοχών για τον σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνικών έργων
- την ανάλυση και διαχείριση αστικών γεωκινδύνων
- την ασφαλή ανάπτυξη των αστικών υποδομών και την πολεοδομική επέκταση της Θεσσαλονίκης

8.1. Βασικά αποτελέσματα

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της διατριβής παρουσιάζονται ακολούθως ανά κεφάλαιο:

Αποτελέσματα για τη τεχνικογεωλογική βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε με σκοπό τον σχεδιασμό τεχνικών έργων και την προστασία αστικών περιοχών από γεωκινδύνους

- Δημιουργείται τεχνικογεωλογική βάση δεδομένων παρέχοντας δυνατότητα διαχείρισης, επεξεργασίας και συσχετίσεων ενός μεγάλου πλήθους δεδομένων σ' ένα ενιαίο σύστημα, με σκοπό τη διεξοδική διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών και των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων της δεύτερης μεγαλύτερης πόλης στην Ελλάδα.
- Συγκεντρώνεται ένας σημαντικός αριθμός πρωτογενών γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών στοιχείων από περισσότερες από 600 γεωτρήσεις που προέρχονται από πλήθος γεωτεχνικών ερευνών και μελετών, τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα μέχρι πρότινος. Αυτά αναφέρονται σε φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές παραμέτρους όπως προέκυψαν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών κι επιτόπου δοκιμών που διενεργήθηκαν στους εδαφικούς γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας, δηλαδή τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.
- Δημιουργούνται αλγόριθμοι και μακροεντολές εντός της βάσης δεδομένων με σκοπό την αυτοματοποίηση διαδικασιών που σχετίζονται με την ταξινόμηση κι ομαδοποίηση των δεδομένων, παρέχοντας ευελιξία στην ανάλυση των πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ των πολλαπλών συνόλων δεδομένων.
- Αναλύονται και συσχετίζονται τα αποτελέσματα με στόχο να ενισχυθεί η γνώση γύρω από θέματα που σχετίζονται με τις γεωλογικές-γεωτεχνικές συνθήκες, τη συμπεριφορά των γεωυλικών και τις μεθόδους σχεδιασμού και κατασκευής τεχνικών έργων στην περιοχή έρευνας.
- Αντλούνται άμεσα πληροφορίες που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων, έπειτα από αιτήματα χρηστών.
- Παρέχεται η δυνατότητα συνεχούς εμπλουτισμού κι ανανέωσης της βάσης δεδομένων με την αποθήκευση νέων στοιχείων ενισχύοντας περαιτέρω την υπάρχουσα γνώση.

Αποτελέσματα για τη γεωστατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και την αξιολόγηση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής

- Δημιουργείται προγραμματιστικός κώδικας σε περιβάλλον node.js, κάνοντας χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Javascript, για τη διαμόρφωση κι επιλογή των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση της ακρίβειας των μεθόδων χωρικής παρεμβολής.

- Καθορίζονται δύο σύνολα δεδομένων, όπου το πρώτο χρησιμοποιείται κατά την εκπαίδευση των εξεταζόμενων μεθόδων χωρικής παρεμβολής και το δεύτερο για την αξιολόγηση της ακρίβειάς τους.
- Πραγματοποιείται γεωστατιστική ανάλυση για κάθε μέθοδο χωρικής παρεμβολής με σκοπό την αξιολόγησή τους από τα αποτελέσματα των στατιστικών δεικτών που υπολογίστηκαν και των διαγραμμάτων Taylor που δημιουργήθηκαν
- Από τη σύγκριση των μεθόδων παρεμβολής, επιλέγεται η Topo to Raster ως βέλτιστη με σκοπό τη μετατροπή δεδομένων από σημειακές παρατηρήσεις σε συνεχείς επιφάνειες, έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη ιδιοτήτων στα σημεία όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις.

Αποτελέσματα για τα γεωλογικά και τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας

- Παρουσιάζονται λεπτομερώς τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας, καθώς και το υπόβαθρο γύρω από τη γνώση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών αυτής, σύμφωνα με τα προϋπάρχοντα στοιχεία.
- Κατασκευάζεται εκ νέου ένα σύνολο από ομοιογενείς χάρτες με τη χρήση των GIS όπου προβάλλεται η ακριβής θέση της περιοχής έρευνας μαζί με σημαντικές διαθέσιμες πληροφορίες που αφορούν:
 - στο γεωλογικό και τεχνικογεωλογικό χάρτη της περιοχής έρευνας
 - στο μορφολογικό ανάγλυφο, στο ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο και στις μορφολογικές κλίσεις
 - στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου, στη χωρική κατανομή των χρήσεων γης και στην κατανομή του οδικού δικτύου
- Πραγματοποιείται γενική επισκόπηση ως προς τις γεωτεχνικές ταξινομήσεις και τα συστήματα κατάταξης που χρησιμοποιούνται στις εξεταζόμενες φυσικές και μηχανικές παραμέτρους που διερευνώνται στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής.

Αποτελέσματα από την ανάλυση και παρουσίαση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών δεδομένων

- Αναπτύσσεται ένα σύνολο από θεματικούς χάρτες, συνολικά για την περιοχή έρευνας, με σκοπό τη διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών με βάση το νέο διαθέσιμο σύνολο δεδομένων. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον GIS:
 - Χάρτες κατανομής πάχους των τεχνητών επιχώσεων και αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας

- Χάρτες κατανομής βάθους των τεχνητών επιχώσεων και αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας και απεικόνιση ισοβαθών καμπύλων
- Χάρτες κατανομής υλικών των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για τα εξής βάθη: 0-5, 5-10, 10-15 και 15-20 m οι οποίοι συνοδεύονται από θηκογράμματα που δημιουργήθηκαν με λεπτομέρεια ανά 0.5 m
- Δημιουργούνται κοκκομετρικές καμπύλες ανά 5 m μέχρι το βάθος των 25 m, για το σύνολο των εξεταζόμενων εδαφικών σχηματισμών σύμφωνα με τα διαθέσιμα αποτελέσματα από τις κοκκομετρικές αναλύσεις με κόσκινα.
- Κατασκευάζονται τρισδιάστατα γεωλογικά μοντέλα και μηκοτομές σε επιλεγμένες θέσεις εντός της περιοχής έρευνας με τη χρήση του λογισμικού Leapfrog Works με σκοπό την παρουσίαση και την ανάδειξη γεωλογικών χαρακτηριστικών όπως η στρωματογραφία, η διακύμανση της λιθολογίας, η διάταξη των δομικών στοιχείων και η αποτύπωση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών.
- Διερευνώνται οι υδρογεωλογικές συνθήκες για το σύνολο της περιοχής έρευνας, ως προς τα διαθέσιμα δεδομένα, μέσω της δημιουργίας διαγραμμάτων ποσοστιαίας συμμετοχής και διακύμανσης των τιμών των συντελεστών υδροπερατότητας συναρτήσει του βάθους των διάφορων γεωυλικών.
- Κατασκευάζονται διαγράμματα στάθμης του υπόγειου νερού και πιεζομετρικοί χάρτες σε συγκεκριμένες περιοχές με σκοπό την ενδελεχή διερεύνηση των επιτόπου υδρογεωλογικών συνθηκών.

Αποτελέσματα από την ανάλυση και παρουσίαση των τεχνικογεωλογικών δεδομένων

- Προσδιορίζονται το είδος και τα χαρακτηριστικά (φυσικές και μηχανικές ιδιότητες) των επιφανειακών και βαθύτερων εδαφικών σχηματισμών λαμβάνοντας υπόψη, τις πληροφορίες από το σύνολο των διαθέσιμων γεωλογικών, υδρογεωλογικών και τεχνικογεωλογικών δεδομένων.
- Δημιουργούνται κατανομές ποσοστιαίας συμμετοχής και διαγράμματα κατανομής των παραμέτρων με το βάθος, ανά τεχνικογεωλογική ενότητα με λεπτομέρεια ανά υλικό, ενισχύοντας περαιτέρω την ανάλυση των εξεταζόμενων σχηματισμών.
- Κατασκευάζεται ο νέος επικαιροποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης του λεκανοπεδίου της Θεσσαλονίκης όπου επαναπροσδιορίζονται επιφανειακά τα όρια των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα.
- Προτείνονται νέα, περιορισμένα, εύρη τιμών και στατιστικοί δείκτες για τις εξεταζόμενες φυσικές και μηχανικές παραμέτρους των ερευνώμενων γεωυλικών. Η νέα πληροφορία σχετικά με τα εύρη

τιμών παρουσιάζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις προγενέστερες διαθέσιμες τιμές, καθώς η διαδικασία που ακολουθήθηκε πραγματοποιείται για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα και με λεπτομέρεια ως προς τα ακόλουθα βάθη: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 και 20-25 m.

- Αναπτύσσεται ένα σύνολο από θεματικούς χάρτες συνολικά για την περιοχή έρευνας με σκοπό τη διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών, με βάση το νέο διαθέσιμο σύνολο δεδομένων. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον GIS:
 - χάρτες κατανομής ανά 5 m, μέχρι το βάθος των 20 m, οι οποίοι συνοδεύονται από συγκεκριμένα εύρη τιμών ιδιοτήτων τα οποία επιλέγονται κυρίως με βάση τις γεωτεχνικές ταξινομήσεις και κατατάξεις, καθώς και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων για κάθε περίπτωση
 - ισοβαθείς χάρτες κατανομής τεχνικογεωλογικών παραμέτρων, για συγκεκριμένα εύρη τιμών ιδιοτήτων. Σ' αυτούς προβάλλονται οι ισοβαθείς καμπύλες από τις οποίες εξάγεται η πληροφορία σχετικά με το πώς κατανέμονται τα αντίστοιχα εύρη τιμών στο βάθος με λεπτομέρεια ανά 2 m.
- Κατασκευάζονται τρισδιάστατα τεχνικογεωλογικά μοντέλα και μηκοτομές σε επιλεγμένες θέσεις εντός της περιοχής έρευνας με τη χρήση του λογισμικού Leapfrog Works στα οποία προβάλλεται εκτός από την κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών και η χωρική διακύμανση των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων τους. Τα μοντέλα αυτά, σε συνδυασμό με τις στατιστικές κατανομές και τους θεματικούς χάρτες παραμέτρων, επιτρέπουν τη λεπτομερή διερεύνηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των εξεταζόμενων εδαφικών σχηματισμών.

Αποτελέσματα σχετικά με τις χρήσεις της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων

- Παρουσιάζεται ένα ευρύ φάσμα πραγματικών εφαρμογών της βάσης δεδομένων, με έμφαση στη διερεύνηση κι εκτίμηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς βάσει επικινδυνότητας και είδους τεχνικού έργου με απώτερο στόχο την ανάδειξη των πολλαπλών χρήσεων της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων.
- Προσδιορίζονται ζώνες υψηλής γεωλογικής επικινδυνότητας οι οποίες διερευνώνται περαιτέρω τόσο ως προς τους πιθανούς τεχνικογεωλογικούς κινδύνους και μηχανισμούς αστοχίας που αναμένεται να εκδηλωθούν σε διάφορα είδη τεχνικών έργων, όσο και ως προς την ανάλυση και διαχείριση αστικών γεωκινδύνων.
- Αναδεικνύονται περιοχές γεωλογικής αβεβαιότητας ως προς:
 - την καταλληλότητά τους στην ανάπτυξη τεχνικών έργων
 - τη δυνατότητα εκδήλωσης γεωκινδύνων (ρευστοποίηση και καθιζήσεις)

8.2. Πρωτοτυπία έρευνας

Τα πρωτότυπα σημεία της διατριβής συνοψίζονται ακολούθως:

- Κατασκευή τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων για τη διαχείριση κι ανάλυση ενός μεγάλου πλήθους γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών με γνώμονα τον ασφαλή πολεοδομικό σχεδιασμό της Θεσσαλονίκης και την προστασία της από γεωκινδύνους με δυνατότητα συνεχούς ενσωμάτωσης νέων και ιστορικών δεδομένων εντός αυτής
- Δημιουργία επικαιροποιημένου τεχνικογεωλογικού χάρτη του λεκανοπεδίου της Θεσσαλονίκης με τον επαναπροσδιορισμό των γεωλογικών επαφών σύμφωνα με τα νέα διαθέσιμα δεδομένα
- Πρόταση νέων, λεπτομερέστερων φασμάτων τιμών ανά συγκεκριμένα εύρη βάθους, για τις φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες των τεχνητών επιχώσεων και αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας.
- Συνεισφορά στην ενίσχυση της γεωλογικής γνώσης της περιοχής έρευνας μέσω της διερεύνησης των διαφοροποιήσεων που εμφανίζουν οι εξεταζόμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί, ως προς την επικράτηση της σύστασης και κοκκομετρίας τόσο χωρικά, όσο και με λεπτομέρεια στο βάθος
- Συμβολή στη λεπτομερή διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών των εξεταζόμενων σχηματισμών τόσο επιφανειακά, όσο και με λεπτομέρεια σε βάθος με:
 - την παράθεση εύρους τιμών πλήθους φυσικών και μηχανικών παραμέτρων και
 - τον προσδιορισμό της χωρικής κατανομής τους
- Συνεισφορά στην ανάδειξη ζωνών υψηλής γεωλογικής επικινδυνότητας ως προς:
 - την αποφυγή τέτοιων περιοχών κατά τον αρχικό σχεδιασμό τεχνικών έργων
 - την αξιολόγηση εκδήλωσης γεωκινδύνων
- Συνδρομή στην απομείωση της τεχνικογεωλογικής αβεβαιότητας στο αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης
- Ενίσχυση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με:
 - τα στάδια προμελέτης σημαντικών έργων υποδομής στο πλαίσιο του ασφαλούς αστικού σχεδιασμού
 - ζητήματα πολιτικής προστασίας και διαχείρισης κρίσεων σε επίπεδο ετοιμότητας και προστασίας της περιοχής έρευνας από τους αστικούς γεωκινδύνους
 - το μετασχηματισμό της Θεσσαλονίκης σε «έξυπνη πόλη» και τη μελλοντική πολεοδομική ανάπτυξη της

8.3. Προτάσεις περαιτέρω έρευνας

Στο πλαίσιο της παρούσας, διατυπώνεται μια σειρά προτάσεων για περαιτέρω έρευνα:

- Ενίσχυση του δικτύου των διαθέσιμων γεωτρήσεων με σκοπό την ενσωμάτωση νέων συνόλων δεδομένων με συνεχή τροφοδοσία της βάσης δεδομένων. Από αυτή τη διαδικασία μπορεί να προκύψει:
 - Η δημιουργία στατιστικών κατανομών και θεματικών χαρτών για φυσικές και μηχανικές παραμέτρους που δεν εξετάζονται στην παρούσα και η επικαιροποίηση των υπαρχόντων
 - Η κατασκευή νέων γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών μοντέλων σε περιοχές όπου υπάρχει διαθεσιμότητα δεδομένων
- Χρήση γεωτεχνικής βάσης σε έρευνες και μελέτες γεωλογικής καταλληλότητας για το χωροταξικό και πολεοδομικό σχεδιασμό της πόλης της Θεσσαλονίκης (π.χ. συσχέτιση μεταξύ των διορθωμένων τιμών N_{SPT} σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα-7 και των τιμών V_s (ταχύτητες διάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων) στην κατηγοριοποίηση των εδαφών βάσει του Ευρωκώδικα-8 για τον αντισεισμικό σχεδιασμό κτιρίων και υποδομών.
- Σύνδεση της τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων με τη χρήση των BIM (Building Information Modeling) και CIM (City Information Modeling), διαδικασίες κατά τις οποίες τα στοιχεία της μελέτης και κατασκευής ενός έργου οργανώνονται και καταγράφονται ψηφιακά, με απώτερο στόχο τον βέλτιστο σχεδιασμό, υλοποίηση και λειτουργία του εκάστοτε τεχνικού έργου στο πλαίσιο ασφαλούς αστικής ανάπτυξης.
- Δημιουργία ανοικτής βάσης δεδομένων με σκοπό την πρόσβαση σε στοιχεία που αφορούν στις θέσεις των διαθέσιμων γεωτρήσεων (x, y, z), συμβάλλοντας στη χωροθέτηση νέων γεωτεχνικών ερευνών.
- Ανάπτυξη web και mobile εφαρμογών παρέχοντας πρόσβαση σε ένα σύνολο διαδραστικών θεματικών χαρτών και τρισδιάστατων μοντέλων προερχόμενα από ένα μεγάλο πλήθος δεδομένων γεωλογικής και τεχνικογεωλογικής πληροφορίας.

8.4. Συζήτηση

Η πόλη της Θεσσαλονίκης είναι σε θέση να ενσωματώσει πολλά στοιχεία που οι πολεοδόμοι και οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων θα μπορούσαν να θεωρήσουν ως ευκαιρία για τη θεώρησή της ως «έξυπνη πόλη». Στην παρούσα έρευνα το ενδιαφέρον εστιάζεται στην διαχείριση κι ανάλυση ενός μεγάλου πλήθους γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών με γνώμονα τον ασφαλή πολεοδομικό σχεδιασμό της πόλης και την προστασία της από γεωκινδύνους.

Η έρευνα που παρουσιάζεται στην παρούσα θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική για τη διεθνή κοινότητα της τεχνικής γεωλογίας, καθώς επισημαίνει επαρκώς την ανάγκη για τη δημιουργία και χρήση μιας τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων με σκοπό τη λεπτομερή διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών ενός αστικού περιβάλλοντος. Η ασφαλής αστική ανάπτυξη απαιτεί την αδιάλειπτη ενημέρωση της τεχνικογεωλογικής πληροφορίας και τη σύμπραξη αυτής με τα αποτελέσματα της γεωλογικής χαρτογράφησης. Η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθείται δίνει τη δυνατότητα της συνεχούς ενσωμάτωσης νέων και ιστορικών δεδομένων εντός της βάσης, ενισχύοντας το ήδη υπάρχον μεγάλο πλήθος δεδομένων, παρέχοντας περαιτέρω γνώση γύρω από τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες των εξεταζόμενων σχηματισμών.

Η διαδικασία αυτή ενισχύεται ιδιαίτερα από τη δημιουργία πληθώρας θεματικών χαρτών στους οποίους παρουσιάζεται χωρικά η κατανομή των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών δεδομένων. Οι χάρτες στοχεύουν σε εφαρμογές περιφερειακής κλίμακας, καθώς παρέχουν μια εκτίμηση του εύρους των ιδιοτήτων των σχηματισμών για ολόκληρη την περιοχή έρευνας. Ωστόσο, όταν χρησιμοποιούνται συνοδευόμενοι από στατιστικές κατανομές παραμέτρων, δισδιάστατες τομές και τρισδιάστατα μοντέλα, παρέχουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης λεπτομέρειας, εστιάζοντας σε συγκεκριμένες περιοχές. Μ' αυτόν τον τρόπο, η μεθοδολογία που εφαρμόζεται στην παρούσα έρευνα γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ της χαρτογράφησης γεωχωρικών δεδομένων σε κλίμακα πόλης και της ανάγκης για διερεύνηση των επιτόπου συνθηκών σε μικρότερης χαρτογραφικής κλίμακας περιοχές.

Η σπουδαιότητα των αποτελεσμάτων της διδακτορικής διατριβής, ενισχύεται περαιτέρω από τις πολλαπλές χρήσεις της βάσης δεδομένων που απορρέουν από τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε. Μέσω αυτών, είναι εφικτός ο προσδιορισμός ζωνών υψηλής γεωλογικής επικινδυνότητας οι οποίες διερευνώνται περαιτέρω τόσο ως προς τους πιθανούς τεχνικογεωλογικούς κινδύνους και μηχανισμούς αστοχίας που αναμένεται να εκδηλωθούν σε διάφορα είδη τεχνικών έργων, όσο και ως προς την ανάλυση και διαχείριση αστικών γεωκινδύνων.

- Abd El Aal, A. and Masoud, A. A. 2018. Geotechnical Mapping of Najran Soils for Safe Urban Expansion, Najran Region, Saudi Arabia. *Geotech Geol Eng*, 36, 2003–2020, <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0442-2>
- Adhikary, P.P. and Dash, C.J. 2017. Comparison of deterministic and stochastic methods to predict spatial variation of groundwater depth. *Appl Water Sci*, 7(1) :339–348, <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0249-8>
- Ahmed, C., Mohammed, A. and Tahir, A. 2020. Geostatistics of strength, modeling and GIS mapping of soil properties for residential purpose for Sulaimani City soils, Kurdistan Region, Iraq. *Model. Earth Syst. Environ.*, 6, 879–893, <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00715-y>
- Akhter, K., Khan, A.J., Khan, Q. and Asim, M. 2014. Soil bearing capacity modelling a case study on Islamabad and Rawalpindi. Proceedings of Second International Conference on Modern Trends in Science Engineering and Technology, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3665.1925>
- Al-Ani, H., Eslami-Andargoli, L., Oh, E. and Chai, G. 2013. Categorising geotechnical properties of surfers Paradise soil using geographic information system (GIS). *International Journal of GEOMATE*, 5: 690–695.
- Al-Mamoori, S.K., Al-Maliki, L.A., Al-Sulttani, A.H., El-Tawil, K. and Al-Ansari, N. 2021. Statistical analysis of the best GIS interpolation method for bearing capacity estimation in An-Najaf City, Iraq. *Environ Earth Sci*, 80, 683, <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09971-2>
- Al-Mamoori, S. K., Jasem Al-Maliki, L. A., Al-Sulttani, A. H., El-Tawil, K., Hussain, H. M. and Al-Ansari, N. 2020. Horizontal and Vertical Geotechnical Variations of Soils According to USCS Classification for the City of An-Najaf, Iraq Using GIS. *Geotech Geol Eng*, 38, 1919–1938, <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01139-x>
- Aldefae, A. H., Mohammed, J. and Saleem. H. D. 2020. Digital maps of mechanical geotechnical parameters using GIS, *Cogent Engineering*, 7: 1, <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1779563>

- Aldiss, D.T., Black, M.G., Entwisle, D.C., Page, D.P. and Terrington, R.L. 2012. Benefits of a 3D geological model for major tunnelling works: an example from Farringdon, east-central London, UK. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 45, 405-414, <https://doi.org/10.1144/qjegh2011-066>
- Ali, H. M. and Shakir, R. R. 2022a. Geotechnical map of Thi Qar governorate using geographical information systems (GIS). *Materials Today Proceedings*, 60:1286–1296. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.138>
- Ali, H. M. and Shakir, R. R. 2022b. Applying a Python script to predict the geotechnical properties of the Nasiriyah soil. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, p 12004
- Amini, M.A., Torkan, G., Eslamian, S., Zareian, M.J. and Adamowski, J.F. 2019. Analysis of deterministic and geostatistical interpolation techniques for mapping meteorological variables at large watershed scales. *Acta Geophys*, 67(1) :191–203, <https://doi.org/10.1007/s11600-018-0226-y>
- Anastasiadis, An., Raptakis, D. and Pitilakis, K. 2001. Thessaloniki's Detailed Microzoning: Subsurface Structure as Basis for Site Response Analysis, *Pure and Applied Geophysics*, 158, 2597-2633.
- Andronopoulos, V., Rozos, D. and Hatzinakos, I. 1990. Geotechnical study of ground settlement in the Kalochori area, Thessaloniki District. Report. Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens, 45.
- Andronopoulos, V., Rozos, D. and Hatzinakos, I. 1991. Subsidence phenomena in the industrial area of Thessaloniki, Greece. In: Johnson, A. (ed.) *Land Subsidence*. IAHS Publications, 200, 59–69.
- Anonymous. 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I: Rock and soil materials. Bulletin International Association Engineering Geology, No. 19, 364-71
- Anonymous. 2005. Closed-face tunneling machines and ground stability. British Tunneling Society (Closed-Face Working Group). In: Association with the Institution of Civil Engineers. Thomas Telford Publishing, London, p. 77.

- Antoniou, A.A., Papadimitriou, A.G. and Tsiambaos, G. 2008. A geographical information system managing geotechnical data for Athens (Greece) and its use for automated seismic microzonation. *Natural Hazards*, 47, 369–395, <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9226-6>
- Apostolidis, P., Raptakis, D., Roumelioti, Z. and Pitilakis, K. 2004. Determination of S-wave velocity structure using microtremors and Spac method applied in Thessaloniki (Greece). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 49-67.
- Arseni, M., Voiculescu, V., Georgescu, L.P., Iticescu, C. and Rosu, A. 2019. Testing Different Interpolation Methods Based on Single Beam Echosounder River Surveying. Case Study: Siret River. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 8(11), 507, <https://doi.org/10.3390/ijgi8110507>
- Arshid, M.U., Shabbir, F., Hussain, J., Elahi, A, Ahmed, A. and Tahir, I.K. 2013. Assessment of variation in soil parameters, for design of lightly loaded structural foundations. *Life Sci J*, 12: 217–220
- Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS). 1999. Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data, 3rd edition
- Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS). 2017. Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data, 4.0.4 edition
- ASTM STANDARDS. 1995. Vol. 04.08 Soil and Rock (I): D420-D4914. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA
- Babendererde, S., Hoek, E., Marinos, P. and Cardoso, A.S. 2004. Geological risk in the use of TBMs in heterogeneous rock masses – The case of “Metro do Porto” and the measures adopted. In: Paper for Conference in Aveiro, Portugal, DOI: 10.1201/9780203963586.ch3
- Baker, V. R. 1975. Urban geology of boulder, Colorado: A progress report. *Environmental Geology*, 1, 75–88. <https://doi.org/10.1007/BF02415534>
- Barnes. G. E. 1995. Soil Mechanics, Principles and Practice. Red Globe Press, London. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-13258-4>
- Baynes, F. J. and Parry, S. 2022. Guidelines for the development and application of engineering geological models on projects. *International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG) Commission 25*, Publication No. 1, 129 pp.

Becker C. 1995. Choice between EPB and Slurry shield, selection criteria by practical examples», (Proc. Rapid Excavation and Tunneling Conference, San Francisco, pp. 479-492

Bhunja, G.S., Shit, P.K. and Maiti, R. 2018. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). *J Saudi Soc Agric Sci*, 17(2): 114–126, <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.001>

Bindi, D., Petrovic, B., Karapetrou, S., Manakou, M., Boxberger, T., Pitilakis, K.D. and Parolai, S. 2015. Seismic response of an 8-story RC-building from ambient vibration analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13, 2095–2120, <https://doi.org/10.1007/s10518-014-9713-y>

Black, M.G., Withers, A.D. and Pontin, S. 2001. Data handling and storage. In: Burland JB, Standing JR, Jardine FM (eds) Building response to tunnelling, volume 1: prospects and methods. Thomas Telford, London, pp 301–310

Bond, C. E., Shipton, A. D., Gibbs, A. D. and Jones, S. 2008. Structural models: Optimizing risk analysis by understanding conceptual uncertainty. *First Break*, 26(6), 65-71, <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2008006>

Boulanger, R.W. and Idriss, I.M. 2006. Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132 (11): 1413–1426

Boulanger, R. and Idriss, I. 2014. CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report No UCD/CGM-14/01, Center for Geotechnical Modeling Department of Civil and Environmental Engineering University of California Davis, California

Boumpoulis, V., Depountis, N., Pelekis, P. and Sabatakakis, N. 2021. SPT and CPT application for liquefaction evaluation in Greece. *Arabian Journal of Geosciences*, 14: 1631, <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08103-1>

Boumpoulis, V., Michalopoulou, M. and Depountis, N. 2023. Comparison between different spatial interpolation methods for the development of sediment distribution maps in coastal areas. *Earth Sci Inform*, 16, 2069–2087, <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01017-4>

Bourenane, H., Bouhadad, Y. and Tas, M. 2018. Liquefaction hazard mapping in the city of Boumerdès, Northern Algeria. *Bull Eng Geol Environ*, 77: 1473–1489, <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1137-x>

Bouygues, Bombardier and SNC-Lavalin. 1999. Thessaloniki Metro Construction Joint Venture «Thessaloniki Metro». Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων.

Bowman, D. 1998. Civil engineering data meets GIS. *J. Comput. Civ. Eng.*, 12, 5–7, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1998\)12:1\(5\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1998)12:1(5))

Bray, J.D. and Sancio, R.B. 2006. Assessment of the liquefaction susceptibility of fine-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132 (9): 1165–1177

Burke, H.F., Mathers, S.J., Williamson, J.P., Thorpe, S., Ford, J. and Terrington, R.L. 2014. The London Basin superficial and bedrock LithoFrame 50 Model, Nottingham, UK. British Geological Survey, 27pp

Cabalar, A. F., Karabas, B., Mahmutluoglu, B. and Yildiz, O. 2021. An IDW-based GIS application for assessment of geotechnical characterization in Erzincan, Turkey. *Arab J Geosci*, 14, 2129, <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08481-6>

Caumon, G., Collon-Drouaillet, P., Le Carlier de Veslud, C., Viseur, S. and Sausse, J. 2009. Surface-Based 3D Modeling of Geological Structures. *Mathematical Geosciences*, 41, 927–945, <https://doi.org/10.1007/s11004-009-9244-2>

Celik, F., Öztürk, M.Z., Şener, M.F., Arıöz, O. and Erbil, M. 2021. Mapping investigation based on engineering geology of a developing urban area (Niğde, Turkey). *Arab J Geosci*, 14, 1316, <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07699-8>

Chander, P., Chauhan, R. and Kumar, R. 2018. Geotechnical data analysis using gis: a case study. *Int J Interdiscip Res Innov*, 6: 438–445

Chatzigogos, N.P.T., Makedon, T.K., Tsindaris, G.E., Tsotsos, S.C. and Christaras, B.C. 2017. Estimation of the Hydroconsolidation Susceptibility of the Anthropogenic Fill of the Historical Center of Thessaloniki, Greece. *International Journal of Geoengineering Case histories*, Vol. 4, Issue 1, 46-56. doi: 10.4417/IJGCH-04-01-04

Chávez-García, F.J., Pedotti, G., Hatzfeld, D. and Bard, P.Y. 1990. An experimental study of site effects near Thessaloniki (Northern Greece). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(4), 784-806, <https://doi.org/10.1785/BSSA0800040784>

Childs, C. 2004. Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. ESRI Education Services.

Chmelina, K., Rabensteiner, K. and Krusche, G. 2013. A tunnel information system for the management and utilization of geo-engineering data in Urban tunnel projects. *Geotech. Geol. Eng.*, 31, 845–859, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.07.012>

Choi, Y., Yoon, S.Y. and Park, H.D. 2009. Tunnelling analyst: a 3D GIS extension for rock mass classification and fault zone analysis in tunnelling. *Computers & Geosciences*, 35(6), 1322–1333, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.05.002>

Chung, J. and Rogers, J. 2012. Estimating the position and variability of buried bedrock surfaces in the St. Louis metro area. *Engineering Geology*, 126, 37-45, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.12.007>

Chung, J.W. and Rogers, J.D. 2010. GIS-based virtual geotechnical database for the St. Louis Metro Area. *Environ Eng Geosci*, 16:143–162, <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.16.2.143>

Committee on State of the Art and Practice in Earthquake Induced Soil Liquefaction Assessment. 2016. State of the Art and Practice in the Assessment of Earthquake-Induced Soil Liquefaction and Its Consequences, <https://doi.org/10.17226/23474>

Cowan, J., Beatson, R., Ross, H.J., Fright, W.R., McLennan, T.J., Evans, T.R., Carr, J.C., Lane, R.G., Bright, D.V., Gillman, A.J., Oshurst, P.A. and Titley, M. 2003. Practical implicit geological modelling. *5th International Mining Geology Conference*, Bendigo Victoria, Australia, AUS IMM, Carlton, Australia, pp 89–99

Culshaw, M.G. 2005. From concept towards reality: developing the attributed 3D geological model of the shallow subsurface. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 38 (8), 231–284, <https://doi.org/10.1144/1470-9236/04-072>

Culshaw, M.G., Jackson, I. and Giles, J.R.A. 2006. The provision of digital spatial data for engineering geologists. *Bull Eng Geol Environ*, 65(2): 185–194, <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0034-x>

Dai, F.C., Lee, C.F. and Zang, X.H. 2001. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering Geology*. 61, 257–271. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00028-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00028-X)

Das, B. M. 2013. *Advanced soil mechanics*. CRC Press, Taylor & Francis Group, New York

Das, S., Ghosh, S. and Kayal, J. R. 2019. Liquefaction potential of Agartala City in Northeast India using a GIS platform. *Bull Eng Geol Environ*, 78, 2919–2931, <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1287-5>

de Rienzo, F., Oreste, P. and Pelizza, S. 2008. Subsurface geological-geotechnical modelling to sustain underground civil planning. *Engineering Geology*, 96, 187–204, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.11.002>

de Rienzo, F., Oreste, P. and Pelizza, S. 2009. 3D GIS Supporting Underground Urbanisation in the City of Turin (Italy). *Geotechnical and Geological Engineering*, 27, 539-547, <https://doi.org/10.1007/s10706-009-9255-2>

Deligiannakis, G., Papanikolaou, I.D. and Roberts, G. 2018. Fault specific GIS based seismic hazard maps for the Attica region, Greece. *Geomorphology*, 306, 264–282, DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.12.005

Dikau, R. 1989. The application of a digital relief model to landform analysis. In Raper, J. F. (ed.), *Three dimensional application in Geographical Information Systems*, Taylor & Francis, London, 51-77

Dong, M., Neukum, C., Hu, H. and Azzam, R. 2015. Real 3D geotechnical modeling in engineering geology: a case study from the inner city of Aachen, Germany. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74, 281–300, <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0640-6>

Donghee, K., Kyu-Sun, K., Seongkwon, K., Youngmin, C. and Woojin, L. 2012. Assessment of geotechnical variability of Songdo silty clay. *Engineering Geology*, 133, 1–8, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.02.009>

Dou, F., Li, X., Xing, H., Yuan, F. and Ge, W. 2021. 3D geological suitability evaluation for urban underground space development-A case study of Qianjiang Newtown in Hangzhou, Eastern China. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 115, 104052, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104052>

El May, M., Kacem, J. and Dlala, M. 2009. Liquefaction susceptibility mapping using geotechnical laboratory tests. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 6, 299–308. <https://doi.org/10.1007/BF03327633>

El May, M., Dlala, M. and Chenini, I. 2010. Urban Geological Mapping: Geotechnical Data Analysis for Rational Development Planning. *Engineering Geology*, 116, 129-138.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.08.002>

Edbrooke, S.W., Mazengarb, C. and Stephenson, W. 2003. Geology and geological hazards of the Auckland urban area, New Zealand. *Quaternary International*, 103 (1): 3-21,
[https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00129-5](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00129-5)

Elumalai, V., Brindha, K., Sithole, B. and Lakshmanan, E. 2017. Spatial interpolation methods and geostatistics for mapping groundwater contamination in a coastal area. *Environ Sci Pollut Res*, 24: 11601–11617, <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8681-6>

Ford, J.R., Burke, H.F., Royse, K.R. and Mathers, S.J. 2008. The 3D geology of London and the Thames Gateway: A modern approach to geological surveying and its relevance in the urban environment. In: *Cities and their Underground Environment: 2nd European conference of International Association for Engineering Geology*. Madrid, Spain, 15- 20

Foster, C., Pennington, C.V.L., Culshaw, M.G. and Lawrie, K. 2012. The national landslide database of Great Britain: development, evolution and applications. *Environ. Earth Sci*, 66, 941–953,
<https://doi.org/10.1007/s12665-011-1304-5>

Fuchu, D., Yuhai, L. and Sijing, W. 1994. Urban geology: a case study of Tongchuan city, Shaanxi Province, China. *Engineering Geology*, 38, 165–175, [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(94\)90031-0](https://doi.org/10.1016/0013-7952(94)90031-0)

Gallerini, G. and De Donatis, M. 2009. 3D modeling using geognostic data: the case of the low valley of Foglia river (Italy). *Computers & Geosciences*, 35, 146-164,
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.09.012>

Gao, C., Shiota, J., Kelly, R., Brunton, R. and Van Haaflen, S. 2006. Bedrock Topography and Overburden Thickness Mapping, Southern Ontario, Ontario Geological Survey, Miscellaneous Release - Data 207. DOI: 10.13140/RG.2.1.3347.0965

Geodata S.p.A. 1995. Review of alternative construction methods and feasibility of proposed methods for constructing Attiko Metro Extension of Line 3 to Egaleo.

- Gilder, C.E.L., Pokhrel, R.M., Vardanega, P.J., De Luca, F., De Risi, R., Werner, M.J., Asimaki, D., Maskey, P.N. and Sextos, A., 2020. The SAFER geodatabase for the Kathmandu Valley: Geotechnical and geological variability. *Earthquake Spectra*, 36, 1549–1569, <https://doi.org/10.1177/8755293019899952>
- Grafinger, H. and Zischinsky, R. 2005. Long-term data administration and flexible visualization of monitoring results. *Fels-bau* 23(4):31–35
- Guarascio, M., Huybrechts, C.J. and David, M. 1976. Advanced geostatistics in the mining industry. In: Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, Istituto di Geologia Applicata of the University of Rome, D. Reidel Publishing Co, Dordrecht, p. 24.
- Guglielmetti V., Grasso P., Mahtab A., Xu S., 2008. Mechanized Tunnelling in Urban Areas. Design, Methodology and Construction Control. CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK
- Gunninck, J.L., Maljers, D., van Gessel, S.F., Menkovic, A. and Hummelman, H.J. 2013. Digital Geological Model (DGM): a 3D raster model of the subsurface of the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences*, 92, 33-46, <https://doi.org/10.1017/S0016774600000263>
- Hack, R., Orlic, B., Ozmutlu, S., Zhu, S. and Rengers, N. 2006. Three and more dimensional modelling in geo-engineering. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(2), 143–153, <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0021-2>
- Hassan, W., Raza, M.F., Alshameri, B., Shahzad, A., Khalid, M.H. and Nawaz, M.N. 2023. Statistical interpolation and spatial mapping of geotechnical soil parameters of District Sargodha, Pakistan. *Bull Eng Geol Environ*, 82, 37, <https://doi.org/10.1007/s10064-022-03059-2>
- Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J. 2009. The Elements of Statistical Learning, Data Mining. *Inference and Prediction*, 2nd ed., Springer New York, NY, <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>
- Hatzigogos, T., Tsotsos S., Pitilakis K. 1983, A preliminary study of liquefaction potential at Thessaloniki area. The Thessaloniki, northern Greece, earthquake of June 1978 and its seismic sequence, TEE, Thessaloniki.

- Hatzinakos, I., Rozos, D. and Apostolidis, E. 1990. Engineering geological mapping and related geotechnical problems in the wider industrial area of Thessaloniki, Greece. In: Price, D. (ed.) *Proceedings of Sixth International IAEG Congress*. Balkema, Rotterdam, 127–134
- Haworth, R. 2003. The shaping of Sydney by its urban geology. *Quaternary International*, 103 (1): 41–55, DOI: 10.1016/S1040-6182(02)00140-4
- He, H., He, J., Xiao, J., Zhou, Y., Liu, Y. and Li, C. 2020. 3D geological modeling and engineering properties of shallow superficial deposits: A case study in Beijing, China. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 100, 103390, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103390>
- He, H., Xiao, J., He, J., Wei, B., Ma, X., Huang, F., Cai, X., Zhou, Y., Bi, J., Zhao, Y., Wang, C. and Wei, J. 2023. Three-Dimensional Geological Modeling of the Shallow Subsurface and Its Application: A Case Study in Tongzhou District, Beijing, China. *Applied Sciences*, 13(3), 1932, <https://doi.org/10.3390/app13031932>
- Hickin, A. and Kerr, B. 2005. Bedrock Topography Mapping and Shallow Gas in Northeastern BC in Summary of Activities. BC Ministry of Industry and Mines, pp. 69-75.
- Hillier, M.J., Schetselaar, E.M., de Kemp, E.A. and Perron, G. 2014. Three-dimensional modelling of geological surfaces using generalized interpolation with radial basis functions. *Mathematical Geosciences*, 46, 931-953, <https://doi.org/10.1007/s11004-014-9540-3>
- Holtz, D.R and Kovacs, D.W. 1981. An introduction to Geotechnical Engineering. Prentice Hall, Inc., New Jersey, p. 733
- Hothorn, T. and Everitt, B.S. 2014. A Handbook of Statistical Analyses Using R. Chapman and Hall/CRC press.
- Hou, W., Yang, L., Deng, D., Ye, J., Clarke, K., Yang, Z., Zhuang, W., Liu, J. and Huang, J. 2016. Assessing quality of urban underground spaces by coupling 3D geological models: The case study of Foshan city, South China. *Computers & Geosciences*, 89, 1-11, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.07.016>
- Høyer, A.S., Klint, K.E.S., Fiandaca, G., Maurya, P.K., Christiansen, A.V., Balbarini, N., Bjerg, P.L., Hansen, T.B. and Møller, I. 2019. Development of a high-resolution 3D geological model for

landfill leachate risk assessment. *Engineering Geology*, 249, 45-59,
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.12.015>

Hutchinson, M.F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *J. Hydrol*, 106, 211–232.

Hutchinson, M.F. 2000. Optimising the degree of data smoothing for locally adaptive finite element bivariate smoothing splines. *The ANZIAM J*, 42, <https://doi.org/10.21914/anziamj.v42i0.621>

Hutchinson, M.F., Xu, T. and Stein, J.A., 2011. Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure (Geomorphometry).

Idriss, I. M. and Boulanger, R. W. 2008. Soil liquefaction during earthquakes. Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, <https://www.eeri.org/>

Ijaz, Z., Zhao, C., Ijaz, N., Rehman Z.u and Ijaz, A. 2021. Spatial mapping of geotechnical soil properties at multiple depths in Sialkot region, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 80, 787, <https://doi.org/10.1007/s12665-021-10084-z>

Ijaz, Z., Zhao, C., Ijaz, N., Rehman Z.u and Ijaz, A. 2023. Statistical evaluation of multiple interpolation techniques for spatial mapping of highly variable geotechnical facets of soil in natural deposition. *Earth Sci Inform*, 16, 105–129, <https://doi.org/10.1007/s12145-022-00924-2>

Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M. 1990. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, 561 p

Iwasaki, T., Arakawa, T. and Tokida, K. 1982. Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes. Proceedings of the Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Southampton, UK, pp. 925– 939

Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuko, F. and Yasuda, S. 1978. A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various site in Japan. Proceeding of the 2nd International Conference on Microzonation, San Francisco, CA, pp. 885–896

James, G., Witten, D., Hastie, T. and Tibshirani, R. 2013. An Introduction to Statistical Learning. *With Applications in R*, Springer New York, NY, <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>

Jardaneh, I. 2007. Geotechnical map for the city of Nablus - Palestine. *An-Naja Univ J Res Sci* 21:201–219

Jørgensen, F., Høyer, A.S., Sandersen, P. B. E., He, X. and Foged, N. 2015. Combining 3D geological modelling techniques to address variations in geology, data type and density-An example from Southern Denmark. *Computers & Geosciences*, 81, 53-63, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.04.010>

Juang, C.H., Yuan, H., Lee, D.H. and Lin, P.S. 2003. A simplified CPT-based method for evaluating liquefaction potential of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129 (1), 66– 80, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2003\)129:1\(66\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2003)129:1(66))

Juang, C.H., Liu, C.N., Chen, C.H., Hwang, J.H. and Lu, C.C. 2008. Calibration of liquefaction potential index: A re-visit focusing on a new CPTU model, *Engineering Geology*, 102, 1–2, 19-30, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.06.005>

Kalaitzis, P., Foumelis, M., Vasilakos, C., Mouratidis, A., and Soulakellis N. 2023. Interactive Web Mapping Applications for 2D and 3D Geo-Visualization of Persistent Scatterer Interferometry SAR Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12, 54, <https://doi.org/10.3390/ijgi12020054>

Kang, G.C., Chung, J.W. and Rogers, J.D. 2014. Re-calibrating the thresholds for the classification of liquefaction potential index based on the 2004 Niigata-ken Chuetsu earthquake. *Engineering Geology*, 169, 30-40, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.11.012>

Karapetrou, S., Manakou, M., Lamprou, D., Kotsiri, S. and Pitilakis, K. 2014. “Real-time” seismic vulnerability assessment of a high rise RC building using field monitoring data. In: Second European conference on earthquake engineering and seismology, Istanbul

Kearsey, T.I., Whitbread, K., Arkley, S.L.B., Finlayson, A., Monaghan, A.A., McLean, W.S., Terrington, R.L., Callaghan, E.A., Millward, D. and Campbell, S.D.G. 2018. Creation and delivery of a complex 3D geological survey for the Glasgow area and its application to urban geology. *Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh*, 108, 123-140, <https://doi.org/10.1017/S1755691018000270>

- Kessler, H., Mathers, S. and Sobisch, H.G. 2009. The capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. *Computers & Geosciences*, 35, 1311–1321, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.04.005>
- Kilias, A. 2021. The Hellenides: A Multiphase Deformed Orogenic Belt, its Structural Architecture, Kinematics and Geotectonic Setting during the Alpine Orogeny: Compression vs Extension the Dynamic Peer for the Orogen Making. A Synthesis. *Journal of Geology and Geoscience*, 5(1), 001-056.
- Kimmance, J.P., Bradshaw, M.P. and Seetoh, H.H. 1999. Geographical Information System (GIS) application to construction and geotechnical data management on MRT construction projects in Singapore. *Tunn Undergr Space Technol*, 14(4):469–479, [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(00\)00009-2](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(00)00009-2)
- King, R.D., Orhobor, O.I. and Taylor, C.C. 2021. Cross-validation is safe to use. *Nat Mach Intell*, 3, 276, <https://doi.org/10.1038/s42256-021-00332-z>
- Kiratzis, A., Roumelioti, Z., Benetatos, Ch., Theodulidis, N., Savvaidis, A., Panou, A., Tziavos I. N., Savvaidis, P., Hatzigogos, Th., Koutoupes, S. and Karantonis, G. 2004. Seisimpact-Thes: A scenario earthquake affecting the built environment of the prefecture of Thessaloniki. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Τόμος XXXVI, Θεσσαλονίκη.
- Knudsen, H. and Kim, Y.C. 1978. Application of Geostatistics to Roll Front Type Uranium Deposits. Society of Mining Engineers of AIME, Denver. CO, pp. 78–94.
- Koçkar, M. K. and Akgün, H. 2008. Development of a geotechnical and geophysical database for seismic zonation of the Ankara Basin, Turkey. *Environmental Geology*, 55:165–176. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0973-6>
- Kockel, F., Antoniadou, P., Ioannides, K., Lalechos, N. 1978a. Geological map of Greece, Thessaloniki sheet, scale 1:50.000. Institute of Geology and Mineral Exploration (I.G.M.E.), Athens, Greece.

Kockel, F., Mollat, H., Antoniadou, P., Papadopoulos, P. 1978b. Geological map of Greece, Thessaloniki sheet, scale 1:50.000. Institute of Geology and Mineral Exploration (I.G.M.E.), Athens, Greece.

Kokkala, A. and Marinos, V., 2018. Assessment on the engineering geological conditions of the Eastern Urban Area of Thessaloniki Basin, in Northern Greece, using a geotechnical database. In: IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, Advances in Engineering Geology: Education, Soil and Rock Properties, Modeling, 6, pp. 108–116, https://doi.org/10.1007/978-3-319-93142-5_15

Kokkala, A. and Marinos, V. 2022. An engineering geological database for managing, planning and protecting intelligent cities: The case of Thessaloniki city in Northern Greece. *Engineering Geology*, 301, 106617, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106617>

Kolat, Ç., Doyuran, V., Ayday, C. and Lütfi Süzen, M. 2006. Preparation of a geotechnical microzonation model using Geographical Information Systems based on Multicriteria Decision Analysis. *Engineering Geology*, 87:241–255, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.07.005>

Kolat, C., Ulusay, R. and Lutfi Suzen, M. 2012. Development of geotechnical microzonation model for Yenisehir (Bursa, Turkey) located at a seismically active region. *Engineering Geology*, 127, 36–53, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.12.014>

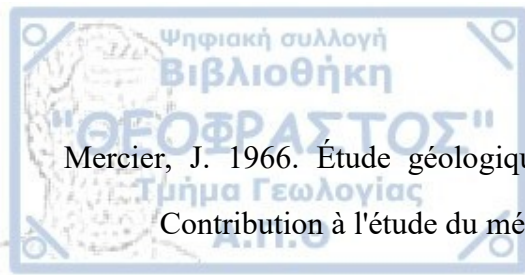
Kopper, A., Karkare, R., Paffenroth, R. and Apelian, D. 2020. Model selection and evaluation for machine learning: Deep learning in materials processing. *Integrating Materials and Manufacturing Innovation*, 9, pp. 287-300, <https://doi.org/10.1007/s40192-020-00185-1>

Koukis, G., Sabatakakis, N., Tsiambaos, G. and Katrivesis, N. 2005. Engineering geological approach to the evaluation of seismic risk in metropolitan regions: Case study of Patras, Greece. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64 (3): 219-235, <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0273-x>

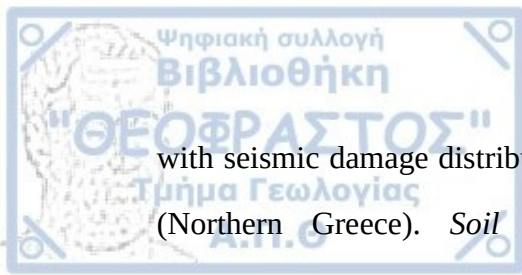
Kunapo, J., Dasari, G.R., Phoon, K.K. and Tan, T.S. 2005. Development of a Web-GIS based geotechnical information system. *J Comput Civ Eng*, 19: 323–327, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2005\)19:3\(323\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2005)19:3(323))

- Lachet, C., Hatzfeld, D., Bard, P.-Y., Theodulidis, N., Papaioannou, C. and Savvaidis, A. 1996. Site effects and microzonation in the city of Thessaloniki (Greece) comparison of different approaches. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86 (6): 1692–1703, <https://doi.org/10.1785/BSSA0860061692>
- Langmaack, L. 2002. Soil conditioning for TBM-Chances and limits: Journées d'études internationales de Toulouse-Underground works: Living structures, AFTES
- Lee, D.H., Ku, C.S. and Yuan, H. 2004. A study of the liquefaction risk potential at Yuanlin, Taiwan. *Eng. Geol.*, 71, 97–117, [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(03\)00128-5](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(03)00128-5)
- Lin, J., and C. Smerzini. 2022. Variability of physics-based simulated ground motions in Thessaloniki urban area and its implications for seismic risk assessment. *Frontiers in Earth Science*, 10: 951781. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.951781>
- Lively, R., Bauer, E. and Chandler, V. 2006. Maps of Gridded Bedrock Elevation and Depth-to-bedrock in Minnesota. Minnesota Geological Survey, Open File Report OFR2006-02, 4 p.
- Loupasakis, C. and Rozos, D. 2009. Finite-element simulation of land subsidence induced by water pumping in Kalochori village, Greece. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 42, 369–382, <https://doi.org/10.1144/1470-9236/08-022>
- Lunne, T. 2012. The Fourth James K. Mitchell Lecture: The CPT in offshore soil investigations - a historic perspective. *Geomechanics and Geoengineering*, 75-101
- Makedon, T., Chatzigogos, N. P. and Spandos, S. 2009. Engineering geological parameters affecting the response of Thessaloniki's urban fill to a major seismic event. *Engineering Geology*, 104, 167-180, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.10.002>
- Marinos, P., Novack, M., Benissi, M., Panteliadou, M., Papouli, D., Stoumpos, G., Marinos, V. and Korkaris, K. 2008. Ground Information and selection of TBM for the Thessaloniki Metro in Greece. *Environ. Eng. Geosci.*, 14, 17-30, <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.14.1.17>.
- Marinos, P.G., Novack, M., Benissi, M., Stoumpos, G., Papouli, D., Panteliadou, M., Marinos, V., Boronkay, K. and Korkaris, K. 2009. Assessment of ground conditions with respect to mechanized tunnelling for the construction of the extension of the Athens Metro to the city of Piraeus. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 68, 17–26, <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0183-9>

- Marinos, V., Prountzopoulos, G., Fortsakis, P., Koumoutsakos, D., Korkaris, K. and Papouli, D. 2013. Tunnel information and analysis system: a geotechnical database for tunnels. *Geotech. Geol. Eng*, 31, 891–910, <https://doi.org/10.1007/s10706-012-9570-x>
- Martin, R. and Boisvert, J. B. 2017. Iterative refinement of implicit boundary models for improved geological feature reproduction. *Computers & Geosciences*, 109, 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.07.003>
- Matsakou, A., Papathanassiou, G., Marinos, V., Ganas, A. and Valkaniotis, S. 2021. Development of the coseismic landslide susceptibility map of the island of Lefkada, Greece. *Environ Earth Sci*, 80, 457, <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09741-0>
- Mathers, S.J., Burke, H.F., Terrington, R.L., Thorpe, S., Dearden, R.A., Williamson, J.P. and Ford, J.R. 2014. A geological model of London and the Thames Valley, southeast England. *Proceedings of the Geologists' Association*, Vol.125, Iss.4, 373-382, <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2014.09.001>
- Maurer, B.W. Green, R.A., Cubrinovski, M. and Bradley, B.A. 2014. Evaluation of the liquefaction potential index for assessing liquefaction hazard in Christchurch, New Zealand. *J. Geotech. Geoenviron.*, 140 (7) [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001117](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001117)
- McCoy, J., Johnston, K., Kopp, S., Borup, B., Willison, J. and Payne, B. 2001. ArcGIS® 9 Spatial Analyst. ESRI Education Services.
- Meng, Q., Zhang, L., Sun, Z., Meng, F., Wang, L. and Sun, Y. 2018. Characterizing spatial and temporal trends of surface urban heat island effect in an urban main built-up area: a 12-year case study in Beijing, China. *Remote Sens Environ*, 204: 826–837, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.019>
- Mohammadi, S.D., Firuzi, M. and Asghari Kaljahi, E. 2016. Geological–geotechnical risk in the use of EPB-TBM, case study: Tabriz Metro, Iran. *Bull. Eng. Geol. Environ*, 75, 1571–1583, <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0797-7>
- Mountrakis, D., Sapountzis, E., Kiliass, A., Eleftheriadis, G. and Christofides, G. 1983. Paleogeographic conditions in the western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area. *Canadian Journal of Ear. Sc.*, 20, 1673-1681.



- Mercier, J. 1966. Étude géologique des zones internes des Hellénides en Macedoine centrale. Contribution à l'étude du métamorphisme et de l'évolution magmatique des zones internes des Hellénides. *Ann. Geol. Pays. Hell.*, 20, 1-753.
- Mercier, J.L., Sorel, D., Vergely, P. and Simeakis, K. 1989. Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic, *Basin Research*, Vol.2, Iss.1, 49-71.
- Mohammed, A. H., Yahya, A. Y. and Ahmed, B. A. 2012. Database for Baghdad soil using GIS techniques. *J Eng*, 18:1307–1324.
- Nas, B. and Berkday, A. 2010. Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environ Monit Assess*, 160, 215–227, <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0689-4>
- Nott, J. 2003. The urban geology of Darwin, Australia. *Quaternary International*, 103: 83–90, DOI: 10.1016/S1040-6182(02)00143-X
- Olsen, R.S. 1997. Cyclic liquefaction based on the cone penetration test. In: Youd, T.L., Idriss, I.M. (Eds.), Proceedings of the NCEER Workshop of Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Technical report NCEER-97-0022. National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, Buffalo, NY, pp. 225–276
- Orense, R.P., Hickman, N.A., Hill, B.T. and Pender, M.J. 2014. Spatial evaluation of liquefaction potential in Christchurch following the 2010/2011 Canterbury earthquakes. *Int. J. Geotech. Eng.*, 8 (4). pp. 420-425, <https://doi.org/10.1179/1939787913Y.00000000028>
- Orhan, A. and Tosun, H. 2010. Visualization of geotechnical data by means of geographic information system: a case study in Eskisehir city (NW Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 61, 455-465, <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0357-1>
- Orhan, A., Turkoz, M. and Tosun, H. 2013. Preliminary hazard assessment and site characterization of Meşelik campus area, Eskişehir-Turkey. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 75–84, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-75-2013>, 2013
- Osswald, K. 1983. Geologische Geschichte von Griechische-Nordmakedonien. Υπόμνημα Γεωλογικής Υπηρεσίας Ελλάδος, 3.
- Panou, A. A., Theodulidis, N., Hatzidimitriou, P., Stylianidis, K., and Papazachos, C. B. 2005. Ambient noise horizontal-to-vertical spectral ratio in site effects estimation and correlation



with seismic damage distribution in urban environment: The case of the city of Thessaloniki (Northern Greece). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25(4), 261–274, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2005.02.004>

Papathanassiou, G. 2008. LPI-based approach for calibrating the severity of liquefaction-induced failures and for assessing the probability of liquefaction surface evidence. *Engineering Geology*, 96, pp. 94–104, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.10.005>

Papathanassiou, G. and Marinos, V. 2018. Liquefaction Susceptibility Map of the Broader Thessaloniki Urban Area. IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, Springer, Vol. 5, https://doi.org/10.1007/978-3-319-93136-4_3

Papathanassiou, G., Papazachos, C., Valkaniotis, S., Stimaratzis, Th., Xanthopoulou, K. and Kkallas, Ch. 2020. Developing a Liquefaction-Related Protocol for the FEED Design Phase of a Pipeline RoW Corridor. *Geotech Geol Eng*, 38, 5979–5997, <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01408-0>

Papazachos, B.C., Mountrakis, D., Psilovikos, A. and Leventakis, G. 1979. Surface fault traces and fault plane solutions of the May - June 1978 major shocks in the Thessaloniki area, *Tectonophysics*, 53, 171-183, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90061-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90061-1)

Papouli, D. and Marinos, V. 2023. Fundamental TBM selection criteria in urban environment based on engineering geological and geotechnical conditions. *Expanding Underground. Knowledge and Passion to Make a Positive Impact on the World*, CRC Press, Taylor & Francis Group, DOI: 10.1201/9781003348030-1631372

Paradisopoulou, P.M., Karakostas, V.G., Papadimitriou, E.E., Tranos, M.D., Papazachos, C.B. and Karakaisis G.F. 2004. Microearthquake study of the broader Thessaloniki area, *5th Int. Symp. On Eastern Mediterranean Geology*, Vol.2, 623-626, Thessaloniki.

Parsons, R.L. and Frost, J.D. 2000. Interactive analysis of spatial subsurface data using GIS-based tool. *J. Comput. Civ. Eng.*, 14, 215–222, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2000\)14:4\(215\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2000)14:4(215))

Paul, J.D. 2016. High-resolution geological maps of central London, UK: Comparisons with the London Underground. *Geoscience Frontiers*, 7 (2), 273-286, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.05.004>

- Pavlidis, S.B., Kondopoulou, D.P., Kiliyas, A.A. and Westphal, M. 1988. Complex rotational deformations in the Serbo-Macedonian massif (north Greece): structural and paleomagnetic evidence, *Tectonophysics*, 145, 329-335.
- Pavlidis, S. and Soulakelis, N. 1990. Multifractured seismogenic area of Thessaloniki 1978 earthquake (Northern Greece), *IESCA Proceedings*, Vol. II.
- Pavlopoulos, K., Antoniadis, K., Lionis, M. and Stournaras, G. 2001. Geological and geotechnical investigations along the crude oil pipeline route from Thessaloniki (Greece) to Skopje (FYROM). 9th International Congress of the Geological Society of Greece with emphasis on the contribution of Geosciences to Development, 5, 1697–1706.
- Pellerin, J., Lévy, B., Caumon, G. and Botella, A. 2014. Automatic surface remeshing of 3D structural models at specified resolution: a method based on Voronoi diagrams. *Computers & Geosciences*, 62, 103–116, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.09.008>
- Petrone, P., Allocca, V., Fusco, F., Incontri, P. and De Vita, P. 2023. Engineering geological 3D modeling and geotechnical characterization in the framework of technical rules for geotechnical design: the case study of the Nola's logistic plant (southern Italy). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 82, 12, <https://doi.org/10.1007/s10064-022-03017-y>
- Pitilakis, K., Karapetrou, S., Bindi, D., Petrovic, B., Roumelioti, Z., Boxberger, T. and Parolai, S. 2016. Structural monitoring and earthquake early warning systems for the AHEPA hospital in Thessaloniki. *Bull Earthquake Eng* 14, 2543–2563, <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9916-5>
- Price, S.J., Terrington, R.L., Busby, J., Bricker, S. and Berry, T. 2018. 3D ground-use optimisation for sustainable urban development planning: A case-study from Earls Court, London, UK. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 81, 144-164, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.06.025>
- Prins, L. T. and Andersen, K. J. 2021. A geotechnical stratigraphy for the shallow subsurface in the Southern Central Graben, North Sea. *Engineering Geology*, 286, 106089, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106089>

- Psimoulis, P., Ghilardi, M., Fouache, E. and Stiros, S. 2007. Subsidence and evolution of the Thessaloniki Plain, Greece, based on historical leveling and GPS data. *Engineering Geology*, 90, 55–70, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.12.001>
- R Core Team. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>
- Raptakis, D. and Makra, K. 2010. Shear wave velocity structure in western Thessaloniki (Greece) using mainly alternative SPAC method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 30, Issue 4, 202–214, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2009.10.006>
- Raptakis, D., Makra, K., Anastasiadis, A. and Pitilakis, K. 2004. Complex Site Effects in Thessaloniki (Greece): I. Soil Structure and Comparison of Observations with 1D Analysis. *Bull Earthquake Eng* 2, 271–290, <https://doi.org/10.1007/s10518-004-3799-6>
- Raptakis, D., Slavis, G., Makra, K. and Manakou, M. 2023. Determination of soil structure and seismic response characteristics using earthquake and noise recordings at coastal zone of Eastern Thessaloniki. 9th Hellenic Conference in Geotechnical Engineering, Athens, Greece
- Rashidian, V. and Gillins, D.T. 2018. Modification of the liquefaction potential index to consider the topography in Christchurch, New Zealand. *Engineering Geology*, 232, 68–81, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.010>
- Raspini, F., Loupasakis, C., Rozos, D., Adam, N. and Moretti, S. 2014. Ground subsidence phenomena in the Delta municipality region (Northern Greece): Geotechnical modeling and validation with Persistent Scatterer Interferometry. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28, 78–89, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2013.11.010>
- Refaeilzadeh, P., Tang, L. and Liu, H. 2009. In: LIU, L., ÖZSU, M.T. (eds) *Encyclopedia of Database Systems*. Springer, Boston, MA, pp. 532–538, https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_565
- Robertson, P.K. 2009. Performance based earthquake design using the CPT. Proceedings of the International Conference on Performance-Based Design in Earthquake, DOI: 10.1201/NOE0415556149.ch1
- Robertson, P.K. and Wride, C.E. 1998. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 35 (3): 442–459

- Robinson, T. and Metternicht, G. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Comput Electron Agr*, 50(2): 97–108, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.07.003>
- Roumelioti, Z., Karapetrou, S., Manakou, M., Pitilakis, K., Raptakis, D., Bindi, D. and Boxberger, T. 2015. The contribution of EUROSEISTEST and building monitoring arrays in earthquake early warning and rapid damage assessment in Thessaloniki. In: Proceedings of 6th ICEGE, Christchurch, New Zealand
- Royse, K.R. 2010. Combining numerical and cognitive 3D modelling approaches in order to determine the structure of the Chalk in the London Basin. *Computers & Geosciences*, 36, 500-511, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.10.001>
- Royse, K.R., Rutter, H.K. and Entwisle, D.C. 2009. Property attribution of 3D geological models in the Thames Gateway, London: new ways of visualising geoscientific information. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68, 1-16, <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0171-0>
- Rozos, D., Apostolidis, E. and Hatzinakos, I. 2004. Engineering-geological map of the wider Thessaloniki area, Greece. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63, 103–108, <https://doi.org/10.1007/s10064-004-0237-6>
- Rytter, J. and Schonhowd, I. 2015. Monitoring, Mitigation, Management. The Groundwater Project - Safeguarding the World Heritage Site of Bryggen in Bergen. Riksantikvaren, Oslo.
- Salih, N. and Mohammed, A. 2017. Characterization and modeling of longterm stress–strain behavior of water confined pre-saturated gypsum rock in Kurdistan Region, Iraq. *J Rock Mech Geotech Eng*, 9: 741–748, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.03.009>
- Sanglerat, G., Nhim, T. V., Sejourne, M., and Andina, R. 1974. Direct soil classification by static penetrometer with special friction sleeve. *Proceedings of the First European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-1*, Vol. 2.2, 337 - 344, Stockholm
- Sauti, N.S., Daud, M.E., Kaamin, M. and Sahat, S. 2021. GIS spatial modelling for seismic risk assessment based on exposure, resilience, and capacity indicators to seismic hazard: a case

study of Pahang, Malaysia. *Geomatics, Natural hazards and Risk*, 12(1), 1948–1972, <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1947903>

Schneider, B. and Martinoni, D. 2001. A distributed geoprocessing concept for enhancing terrain analysis for environmental modeling. *Trans GIS*, 5: 165–178, <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00074>

Schloeder, C.A., Zimmerman, N.E. and Jacobs, M.J. 2001. Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 470-479, <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2001.652470x>

Schokker, J., Sandersen, P., de Beer, H., Eriksson, I., Kallio, H., Kearsey, T., Pfleiderer, S. and Seither, A. 2017. 3D urban subsurface modelling and visualization. A review of good practices and techniques to ensure optimal use of geological information in urban planning. Report number: TU1206 COST Sub-Urban Report, TU1206-WG2.3-004. *COST European Cooperation in Science and Technology*

Seed, H.B. and Idriss, I.M. 1982. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California

Seed, R B, Cetin, K.O., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M., Riemer, M.F., Sancio, R.B., Bray, J.D., Kayen, R.E. and Faris, A. 2003. Recent advances in soil liquefaction engineering : a unified and consistent framework, REPORT NO. EERC 2003-06 COLLEGE OF ENGINEERING UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY

Self, S., Entwisle, D. and Northmore, K. 2012. The structure and operation of the BGS National Geotechnical Properties Database. In: Version 2. British Geological Survey, IR/12/056. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/20815/>

Setianto, A., and Triandini, T. 2013. Comparison of kriging and inverse distance weighted (IDW) interpolation methods in lineament extraction and analysis. *J SE Asian Appl Geol*, 5(1): 21–29, <https://repository.ugm.ac.id/id/eprint/136178>

Shahat Osman, A.M. and Elragal, A. 2021. Smart cities and big data analytics: a data-driven decision-making use case. *Smart Cities*, 4, 286–313, <https://doi.org/10.3390/smartcities4010018>

- Shangguan, W., Hengl, T., Mendes de Jesus, Yuan, H., and Dai, Y. 2017. Mapping the global depth-to-bedrock for land surface modeling, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 9, 65-88, <https://doi.org/10.1002/2016MS000686>
- Sherif, M. A. 1973. Microzonation of the Thessaloniki using the Sherif-Bostrom (U.S.A) Method. Prepared for UNDP/UNESCO Survey of the Seismicity of the Balkan Region, Seattle, Washington, USA.
- Smerzini, C., Pitilakis, K. and Hashemi, K. 2016. Evaluation of earthquake ground motion and site effects in the Thessaloniki urban area by 3D finite-fault numerical simulations. *Bull Earthquake Eng* 15, 787–812, <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9977-5>
- Sonmez, H. 2003. Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol, Turkey). *Environ. Geol*, 44 (7), 862–871, <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0831-0>
- Stafleu, J., Maljers, D., Gunnink, J.L., Menkovic, A. and Busschers, F.S. 2011. 3D modelling of the shallow subsurface of Zeeland, the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences*, 90, 293-310, <https://doi.org/10.1017/S0016774600000597>
- Stalin, V. K. and Murugan, R. B. A. 2015. Geographic information system for the development of soil suitability map in south Chennai, India. *Arab J Geosci*, 8, 1415–1437, <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1323-0>
- Stiros, S. 2001. Rapid subsidence of the Thessaloniki (Northern Greece) coastal plain, 1960–1999. *Engineering Geology*, 61, 243–256.
- Suwansawat, S. 2002. Earth Pressure Balance (EPB) shield tunneling in Bangkok: ground response and prediction of surface settlements using artificial neural networks, (Phd thesis, Massachusetts Institute of Technology)
- Suwanwiwattana, P., Chantawarangul, K., Mairaing, W. and Apaphant, P. 2001. The development of geotechnical database of Bangkok subsoil using GRASS-GIS. In: 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore. pp 5–9

- Svigkas, N., Papoutsis, I., Loupasakis, C., Kontoes, C. and Kiratzi, A. 2015. Geo-Hazard monitoring in northern Greece using InSAR techniques: the case study of Thessaloniki, *Proceedings of 'Fringe 2015 Workshop'*, Vol. 731, Frascati, Italy, doi: 10.5270/Fringe2015.pp33
- Svigkas, N., Papoutsis, I., Loupasakis, C., Tsangaratos, P., Kiratzi, A. and Kontoes, C. 2016. Land subsidence rebound detected via multi-temporal InSAR and ground truth data in Kalochori and Sindos regions, Northern Greece, *Engineering Geology*, 209, 175-186, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.05.017>
- Svigkas, N., Loupasakis, C., Papoutsis, I., Kontoes C., Alatza, S., Tzampoglo, P., Tolomei, C. and Spachos, T. 2020. InSAR Campaign Reveals Ongoing Displacement Trends at High Impact Sites of Thessaloniki and Chalkidiki, Greece, *Remote Sens*, 12 (15), 2396. <https://doi.org/10.3390/rs12152396>
- Tame, C., Cundy, A.B., Royse, K.R., Smith, M. and Moles, N.R. 2013. Three-dimensional geological modelling of anthropogenic deposits at small urban sites: A case study from Sheepcote Valley, Brighton, UK. *Journal of Environmental Management*, Vol. 129, 2013, 628-634, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.030>
- Tavoularis, N., Papathanassiou, G., Ganas, A. and Argyrakis, P. 2021. Development of the Landslide Susceptibility Map of Attica Region, Greece, Based on the Method of Rock Engineering System. *Land*, 10(2):148, <https://doi.org/10.3390/land10020148>
- Taylor, K.E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, *Journal of Geophysical Research*, 106(D7), 7183–7192
- Terzaghi, K. and Peck, R.B. 1967. Soil Mechanics in engineering practice. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Teves-Costa, P., Almeida, I. M., Rodrigues I., Matildes, R. and Pinto, C. 2014. Geotechnical characterization and seismic response of shallow geological formations in downtown Lisbon. *Ann Geophys*, 57, 4, <https://doi.org/10.4401/ag-6390>
- Thewes, M. and Burger, W. 2004. Clogging risks for TBM drives in clay. *Tunnels & Tunnelling International*, 36 (6), Publisher: Progressive Media Markets, Ltd

- Thierry, P., Prunier-Leparmentier A.M., Lembezat, C., Vanoudheusden, E. and Vernoux J.F. 2009. 3D geological modeling at urban scale and mapping of ground movement susceptibility from gypsum dissolution: The Paris example (France). *Engineering Geology*, 105, 51–64, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.12.010>
- Todo, H., Yamamoto, K., Mimura, M. and Yasuda, S. 2013. Japan's nation-wide electronic geotechnical database systems by Japanese geotechnical society. *Geotech. Geol. Eng*, 31, 941–963, <https://doi.org/10.1007/s10706-012-9562-x>
- Touch, S., Likitlersuang, S. and Pipatpongsa, T. 2014. 3D geological modelling and geotechnical characteristics of Phnom Penh subsoils in Cambodia. *Engineering Geology*, 178, 58-69, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.06.010>
- Tranos, M.D., Papadimitriou, E.E. and Kiliass, A.A. 2003. Thessaloniki-Gerakarou fault zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (northern Greece) and seismic hazard assessment, *Journal of Structural Geology*, 25, 2109-2123.
- Tranos, M.D., Meladiotis, I.D. and Tsolakopoulos E.P. 2004. Geometrical characteristics, scaling properties and seismic behavior of the faulting of the Chortiatis region and Anthemountas basin (Northern Greece), *5th Int. Symp. On Eastern Mediterranean Geology*, Vol.2, 888-891, Thessaloniki.
- Triantafyllidis, P., Suhadolc, P., Hatzidimitriou, P.M., Anastasiadis, A. and Teodulidis, N. 2004. PART I: Theoretical Site Response Estimation for Microzoning Purposes. *Pure and applied geophysics*, 161, 1185–1203. <https://doi.org/10.1007/s00024-003-2493-y>
- Tsangaratos, P., Loupasakis, C., Nikolakopoulos, K. Angelitsa, V. and Ilia, I. 2018. Developing a landslide susceptibility map based on remote sensing, fuzzy logic and expert knowledge of the Island of Lefkada, Greece. *Environ. Earth. Sci.*, 77, 363, <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7548-6>
- Tsotsos, S., Hatzigogos, Th., Manou-Andreadis, N., Theoharidou, K. and Xanthos, V. 1988. Geotechnical problems of the foundations of Byzantine and post Byzantine monuments in Thessaloniki, Greece. *Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites*, 1, 487- 494.

- Tukey, J. W. 1977. *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley Publishing Company, Pennsylvania.
- Ullah, H., Imtiaz, K., Jahanzaib, R. and Zhang, G. 2022. Geotechnical characterization and statistical evaluation of alluvial soils of Lahore. *Arab J Geosci*, 15: 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10154-x>
- van Hinsbergen, D.J.J., Torsvik, T.H., Schmid, S.M., Matenco, L.C., Maffione, M., Vissers, R.L.M., Gürer, D., and Spakman, W. 2020. Orogenic architecture of the Mediterranean region and kinematic reconstruction of its tectonic evolution since the Triassic, *Gondwana Research*, 81, 79-229, doi: 10.1016/j.gr.2019.07.009
- Veeger, A.I., Murray, D.P., Don Hermes, O., Boothroyd, J.C. and Hamidzada, N.A. 2004. Harnessing the power of relational databases for managing subsurface geotechnical and geologic data. *Environ. Eng. Geosci*, 10, 339–346, <https://doi.org/10.2113/10.4.339>
- Wang, W.S. 1979. Some findings in soil liquefaction. Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, China
- Wang, Z.G., Qu, H.G., Wu, Z.X., Yang, H.J. and Du, Q.L., 2016. Formal representation of 3D structural geological models. *Computers & Geosciences*, 90, 10–23, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.02.007>
- Watson, C., Jensen, N.P., Ryżyński, G., Majer, K. and Hansen, M. 2017. Data Acquisition & Management. TU1206 COST Sub-Urban WG2 Report. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/530753>
- Wellmann, J., Horowitz, F., Schill, E. and Regenauer-Lieb, K. 2010. Towards incorporating uncertainty of structural data in 3D geological inversion. *Tectonophysics*, 490: 141-151, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.04.022>
- Wesley, L.D. and Dobie M.J.D. 2022. Early development of the Dutch cone penetrometer test. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Engineering History and Heritage*, 175(4): 145152, <https://doi.org/10.1680/jenhh.22.00001>
- Whitlow, R. 2001. Basic soil mechanics. Pearson Education Limited, 4th ed.
- Wiley, E. 2003. Urban geology of the Toowoomba conurbation, SE Queensland, Australia. *Quaternary International*, 103: 57-74, DOI: 10.1016/S1040-6182(02)00141-6

Woodward, J. 2005. An introduction to geotechnical processes. Taylor & Francis e-Library, CRC Press, London, <https://doi.org/10.1201/9781482265187>

Wu, J., Amaratunga, K. and Chitradon, R. 2002. Design of distributed interactive online geographic information system viewer using wavelets. *J. Comput. Civ. Eng.*, 16, 115–123. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2002\)16:2\(115\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2002)16:2(115))

Yadav, S. and Shukla, S. 2016. Analysis of k-Fold Cross-Validation over Hold-Out Validation on Colossal Datasets for Quality Classification. In *2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing*, pp. 78–83, <https://doi.org/10.1109/IACC.2016.25>

Yan, F., Shangguan, W., Zhang, J. and Hu, B. 2020. Depth-to-bedrock map of China at a spatial resolution of 100 meters. *Scientific Data*, 7, 2, <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0345-6>

Yang, X., Xie, X., Liu, D.L., Ji, F. and Wang, L., 2015. Spatial Interpolation of Daily Rainfall Data for Local Climate Impact Assessment over Greater Sydney Region. *Advances in Meteorology*, <https://doi.org/10.1155/2015/563629>

Ye, S., Luo, Y., Wu, J., Yan, X., Wang, H., Jiao, X. and Teatini, P. 2016. Three-dimensional numerical modeling of land subsidence in Shanghai. China. *Hydrogeology Journal*, 24, 695-709, <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1382-2>

Youd, T. L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. and Stokoe, K.H. 2001. Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127 (4), 297-313

Zhang, G., Robertson, P.K. and Brachman, R. 2002. Estimating Liquefaction Induced Ground Settlements from the CPT. *Canadian Geotechnical Journal*, 39, 1168-1180, <https://doi.org/10.1139/t02-047>

Zhang, G., Robertson, P.K. and Brachman, R.. 2004. Estimating Liquefaction Induced Lateral Displacements using the SPT and CPT. *ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering*, 130 (8), 861-871, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2004\)130:8\(861\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:8(861))

Zhu, L.F., Li, M.J., Li, C.L., Shang, J.G., Chen, G.L., Zhang, B. and Wang, X.F. 2013. Coupled modeling between geological structure fields and property parameter fields in 3D engineering geological space. *Engineering Geology*, 167, 105–116, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.10.016>

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Ανθυμίδης Μ. 2020. Συμβολή στη μελέτη της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών στη σεισμική κίνηση με τη χρήση δεδομένων μικροθορύβου και σεισμικών καταγραφών. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Αστάρας, Θ. και Οικονομίδης, Δ. 2002. Η χρήση των δορυφορικών εικόνων LANDSAT-TM, IRS-1C/PAN και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S), στον ακριβέστερο εντοπισμό των υδρογραφικών συστημάτων. Ένα παράδειγμα από τον Δενδροπόταμο Θεσσαλονίκης. Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, τόμος II, σελ. 47-54.
- Βαλαλάς, Δ., Δερμών, Δ., Τέγος, Γ., Ζάχος, Κ., Μαραγκός, Χ., Παπαχαρίσης, Ν. και Πιτιλάκης, Κ. 1985. Γεωτεχνική Μελέτη περιοχής Θεσσαλονίκης. Ερευνητικό Πρόγραμμα Τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.
- Βαλαλάς, Δ., Παπαχαρίσης, Ν. και Θεοδοσιάδης, Δ. 1992. Προμελέτη Ελαφρού Μετρό Θεσσαλονίκης, Εδαφοτεχνική μελέτη. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων.
- Ελευθερίου, Α. 1972. Έκθεσης γεωτεχνικής αναγνώρισεως εις τας περιοχάς Ευαγγελιστριάς, Σαράντα Εκκλησιών και Συκεών Θεσσαλονίκης. Ι.Γ.Μ.Ε. Θεσσαλονίκης.
- Ζερβοπούλου, Α. 2010. Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Ζερβοπούλου, Α. και Παυλίδης, Σ. 2005. Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης για την χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων, 1^η Συνάντηση Επιτροπής Γεωμορφολογίας Ε.Γ.Ε., Δελτίο ΕΓΕ, Τομ. XXXVIII, σελ. 30-41.

Ζερβοπούλου, Α. και Παυλίδης, Σ. 2008. Νεοτεκτονικά ρήγματα πολεοδομικού συγκροτήματός Θεσσαλονίκης, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1865.

Καραμήτρου, Α., Ρουμελιώτη, Ζ. και Κυρατζή, Α. 2008. Στοχαστική προσομοίωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης από ενεργές τεκτονικές δομές κοντά στην πόλη της Θεσσαλονίκης. 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας. 5-7 Νοεμβρίου 2008. Άρθρο 2082.

Κούκης, Γ. και Σαμπατακάκης, Ν. 2002. Τεχνική Γεωλογία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, σελ. 448

Κούκης, Γ. και Σαμπατακάκης, Ν. 2007. Γεωλογία τεχνικών έργων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, σελ. 23

Κουτουπές, Σ., Καραντώνης, Γ., Σωτηριάδης, Α., Κυρατζή, Α., Βαλαδάκη, Α., Σαββαΐδης, Α. και Θεοδουλίδης, Ν. 2004. Seisimpact-Thes: σχεδιασμός, ανάπτυξη και εφαρμογή ενός πληροφοριακού συστήματος για την εκτίμηση της τρωτότητας από σεισμικό κίνδυνο για το δομημένο περιβάλλον της περιφέρειας Θεσσαλονίκης.

Μανάκος, Α. 2002α. Γεωλογική-Υδρογεωλογική μελέτη Δήμου Συκεών. Μελέτη και έργα εξοικονόμησης νερού ύδρευσης στους δήμους του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και ευρύτερης περιοχής. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών.

Μανάκος, Α. 2002β. Γεωλογική-Υδρογεωλογική μελέτη Δήμου Εύοσμου. Μελέτη και έργα εξοικονόμησης νερού ύδρευσης στους δήμους του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και ευρύτερης περιοχής. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών.

Μανάκος, Α. 2002γ. Γεωλογική-Υδρογεωλογική κοινότητας Πευκών. Μελέτη και έργα εξοικονόμησης νερού ύδρευσης στους δήμους του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και ευρύτερης περιοχής. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών.

Μανάκος, Α. 2002δ. Γεωλογική-Υδρογεωλογική μελέτη Δήμου Αμπελοκήπων. Μελέτη και έργα εξοικονόμησης νερού ύδρευσης στους δήμους του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και ευρύτερης περιοχής. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών.

- Μανάκου, Μ., Αποστολίδης, Π., Ραπτάκης, Δ. και Πιτιλάκης, Κ., 2008. Προσδιορισμός της εδαφικής δομής σε περιοχές του ευρύτερου Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1978
- Μαρίνος, Β. 2012. Παρουσιάσεις μαθήματος «Τεχνική Γεωλογία», Α.Π.Θ, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας.
- Μουγιάρης, Ν. 1979. Γεωλογική εξέταση για την καταλληλότητα του εδάφους θεμελιώσεως στον οικισμό Τριανδρίας Θεσσαλονίκης. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών.
- Μουντράκης, Δ. 2010. Γεωλογία της Ελλάδας, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- Μουντράκης, Δ., Κίλιας, Α., Παυλίδης, Σ., Σωτηριάδης, Α., Ψιλοβίκος, Α., Αστάρας, Θ., Βαβλιάκης, Ε., Κουφός, Γ., Δημόπουλος, Γ., Σούλιος, Γ., Χρηστάρας, Β., Σκορδύλης, Μ., Τρανός, Μ., Σπυρόπουλος, Μ., Πάτρας, Δ., Συρίδης, Γ., Λαμπρινός, Ν. και Λαγγάλη, Θ. 1997, Νεοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδας, Κλίμακας 1:100.000, Φύλλα: Θεσσαλονίκη, Λαγκαδά. Ο.Α.Σ.Π. και επεξηγηματικά τεύχη.
- Ο.Α.Σ.Π. 1996. Νεοτεκτονικός χάρτης κλίμακας 1:100.000, Θεσσαλονίκη, Λαγκαδάς.
- Ο.Α.Σ.Π.-ΙΤΣΑΚ. 2001. Νέος χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας.
- Παπαϊωάννου, Χ. 2004. Τεχνική έκθεση ερευνητικού προγράμματος «SRM-LIFE», Σενάρια σεισμικής επικινδυνότητας. Πιθανολογική ανάλυση σεισμικής επικινδυνότητας.
- Παπανικολάου, Δ. 2015. Γεωλογία της Ελλάδας, Εκδόσεις Πατάκης, Αθήνα.
- Παπαχαρίσης, Ν., Γραμματικόπουλος, Ι. και Ανδρεάδου-Μάνου, Ν. 2015. Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις Κυριακίδη
- Παυλίδης, Σ. 2004. Τεχνική έκθεση τμήματος Γεωλογίας: «Πρώτη ετήσια έκθεση των ενεργών και πιθανά ενεργών ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής της πόλης Θεσσαλονίκης» στα πλαίσια του έργου Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας δικτύων κοινής ωφέλειας, υποδομών, κτιρίων στρατηγικής σημασίας για τη διαχείριση σεισμικού κινδύνου σε πολεοδομικά συγκροτήματα. Εφαρμογή στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Πιτιλάκης, Κ. και Συνεργάτες. 2004. Μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας και προσδιορισμός των παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης σχεδιασμού κατά μήκος του άξονα χάραξης του Μετρώ Θεσσαλονίκης. Τεύχος Α. Αττικό Μετρό Α.Ε.

Πογιατζή, Ε. και Μαλτζάρης, Φ. 2001. Γεωτεχνική έρευνα σε οικόπεδα του δήμου Συκεών Θεσσαλονίκης. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών.

Πογιατζή, Ε. και Μαλτζάρης, Φ. 2002. Γεωτεχνική έρευνα στην Αλάνα Τούμπας Θεσσαλονίκης. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών.

Πογιατζή, Ε., Ρόζος, Δ. και Μαλτζάρης, Φ. 2002. Γεωτεχνική έρευνα οικιστικής καταλληλότητας στην υπό επέκταση περιοχή του Δήμου Μενεμένης Θεσσαλονίκης. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών.

Ρόζος, Δ., Χατζηνάκος, Ι. και Αποστολίδης, Ε. 1988. Γεωτεχνική αναγνώριση των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή άνω πόλης Θεσσαλονίκης (μεταξύ των οδών Ποτίδαιας και Ακροπόλεως). Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών

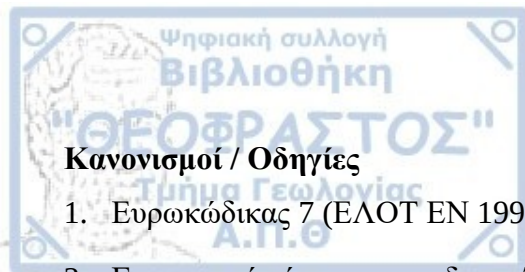
Ρόζος Δ., Χατζηνάκος Ι. και Αποστολίδης Ε. 1998. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, Κλίμακα 1:25.000. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Αθήνα, Ελλάδα

Σακελλαρίου, Μ., Κοζάνης, Σ., Φερεντίνου, Μ., Ανδριτσάκης, Ι. και Ντούλης. 2003. Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής, Ε.Μ.Π., Σχολή αγρονόμων και τοπογράφων μηχανικών, εργαστήριο δομικής μηχανικής, Αθήνα

Στεφανίδης, Π. και Ευστρατιάδης, Γ. 1985. Έκθεση για την γεωλογική - γεωτεχνική χαρτογράφηση του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού Θεσσαλονίκης. Ι.Γ.Μ.Ε. Θεσσαλονίκης.

Σωτηριάδης, Λ. 2002. Η αντιμετώπιση πλημμύρων στην ανατολική Θεσσαλονίκη και η μορφολογική της μεταβολή με την επέμβαση του ανθρώπου (περιφερειακή τάφρος). Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, τόμος ΙΙ, σελ. 500-504.

ΥΠ.ΕΝ. Ε.Γ.Υ. 2017. 1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (GR10), σελ. 41-43.



Κανονισμοί / Οδηγίες

1. Ευρωκώδικας 7 (ΕΛΟΤ EN 1997-2)
2. Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές -Ταυτοποίηση και ταξινόμηση εδαφών - Ταξινόμηση εδαφών σύμφωνα με το Ελληνικό Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών (HSCS), Τμήμα Τεχνικής Γεωλογίας της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2006,
3. BS: 5930, 1981, British code of practice for site investigations, BSI, London
4. ASTM Designation D 2487, 2007, Standard practice for classification of soils for engineering purposes, annual book of ASTM standards, ASTM, vol 4.08. West Conshohocken, PA – 00 USCS
«Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών»

Πηγές από το διαδίκτυο

<https://land.copernicus.eu/>

<http://www.hydroscope.gr/>

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata>

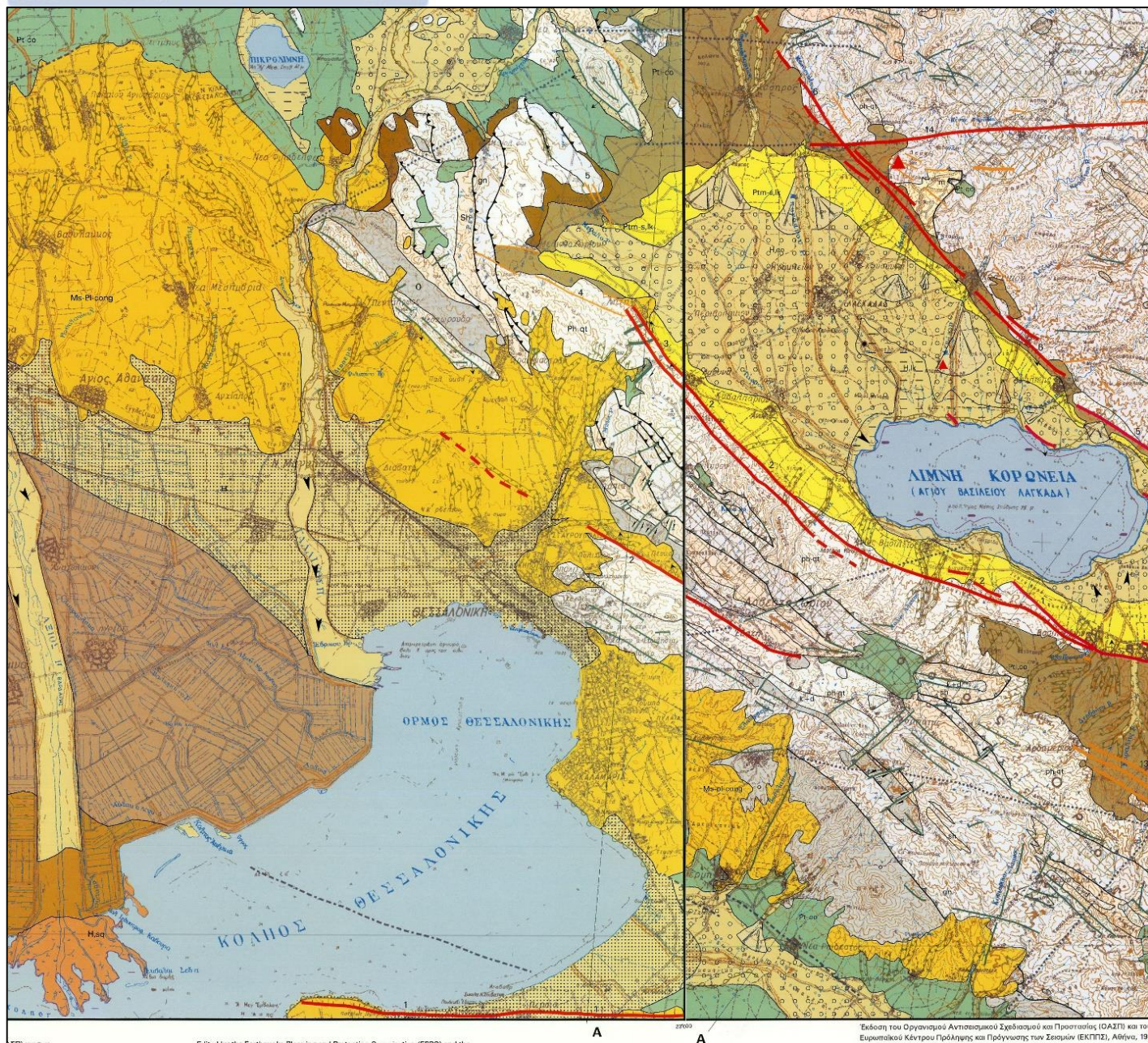
10. Παράρτημα

Παράρτημα Ι:

Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50000, Φύλλα: Θεσσαλονίκη και Θέρμη, ΙΓΜΕ.



Νεοτεκτονικός χάρτης κλίμακας 1:100.000, Φύλλα: Θεσσαλονίκη και Λαγκαδά, Ο.Α.Σ.Π.



Παράρτημα II:

Συγκεντρωτικός πίνακας με συνοπτικά στατιστικά στοιχεία των εξεταζόμενων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για τις τεχνητές επιχώσεις και τις αποθέσεις Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας της περιοχής έρευνας.



Γεωλογικοί σχηματισμοί	Βάθη (m)	Φυσικές και μηχανικές παράμετροι																																
		SPT	q _u (MPa)				w (%)				LL (%)				PI (%)				I _c (%)				PL (%)				S (%)				n (%)			
		min-max	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV
Τεχνητές επιχώσεις	0–5	1–17	0.03–0.58	0.16	0.14	0.87	2.4–39.8	16.39	7.55	0.46	17.8–57.2	30.74	6.63	0.22	NP–34.7	9.92	7.31	0.74	0.4–1.6	1.01	0.30	0.30	11–34.9	18.91	4.22	0.22	37–100	84.48	15.88	0.19	20–53.3	35.58	7.38	0.21
	5–10	1–20	0.013–0.6	0.17	0.18	1.08	3.4–54	21.06	10.55	0.50	18.8–61	32.16	7.18	0.22	NP–35	9.31	8.32	0.89	0.1–1.7	0.91	0.41	0.45	12.3–28.8	19.36	4.58	0.24	78–100*	91.00	9.73	0.11	22.5–39.2*	31.57	5.13	0.16
	10–15	7–25	0.011–0.3	0.10	0.09	0.87	14.9–56.4	32.17	11.68	0.36	30.8–61	42.91	9.94	0.23	NP–41.6*	15.22	14.80	0.97	0.2–1*	0.55	0.31	0.57	15.5–23*	19.43	3.64	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-
Τεταρτογενείς αποθέσεις	0–5	1–20	0.019–0.8	0.18	0.15	0.85	2.4–66.9	21.56	10.48	0.49	17.2–77	32.69	10.16	0.31	NP–48	11.65	9.85	0.85	0.1-1.5	0.85	0.33	0.38	12-35.5	19.11	3.99	0.21	30–100	88.72	13.59	0.15	17.3-65	40.41	9.74	0.24
	5–10	7–30	0.01–0.6	0.15	0.13	0.84	3.3–77.5	23.19	13.64	0.59	14.7–75.7	33.21	10.00	0.30	NP–44.5	13.34	9.55	0.72	0.1–2.2	0.83	0.35	0.42	9.9-33.1	18.22	3.72	0.20	9–100	94.25	10.48	0.11	20-67.5	40.44	11.90	0.29
	10–15	10–35	0.02–0.7	0.13	0.11	0.82	3.6–86.8	23.10	15.63	0.68	17.4–76.4	32.56	10.87	0.33	NP–45	12.85	9.37	0.73	0.1-1.8	0.83	0.30	0.37	10.8-38.1	18.44	4.75	0.26	47–100	94.63	9.67	0.10	18.7-66.1	40.67	13.52	0.33
	15–20	16–43	0.012–0.54	0.12	0.09	0.71	5.7–70.3	23.78	15.52	0.65	16.6–73.6	32.61	11.99	0.37	NP–41.2	13.22	10.57	0.80	0.1–2.8	0.85	0.48	0.56	10.5-32.4	18.27	3.72	0.84	19–100	96.33	11.09	0.12	20.6-56.8	41.78	12.93	0.31
	20–25	25–R	0.027–0.36	0.13	0.08	0.62	6–50	19.05	6.93	0.36	18–57	31.44	8.47	0.27	NP–35	12.53	9.36	0.75	0.1–2.5	0.92	0.42	0.46	12-28	17.44	2.68	0.15	78–100	97.22	4.82	0.05	23.7-59.3	36.92	7.62	0.21
Νεογενείς αποθέσεις	0–5	20–R	0.03–1.04	0.32	0.21	0.65	1.5–36.4	16.78	6.29	0.38	15.5–82	38.68	11.11	0.29	NP–51.1	19.41	7.99	0.41	0.7–2.6	1.12	0.28	0.25	8.9–35.7	19.22	5.00	0.26	9–100	82.89	14.72	0.18	17.3–51.9	35.56	6.85	0.19
	5–10	24–R	0.027–2.3	0.37	0.32	0.88	1.7–42.2	18.66	6.11	0.33	18.3–83.6	40.39	11.32	0.28	NP–58.3	20.29	8.80	0.43	0.2–2.2	1.04	0.25	0.24	8.9–50	19.70	5.35	0.27	38–100	89.11	11.87	0.13	21.9–67.7	36.25	6.92	0.19
	10–15	31–R	0.021–6.2	0.47	0.54	1.15	4.6–55	19.21	6.73	0.35	17.7-88	40.18	12.19	0.30	NP–49	19.81	8.84	0.45	0.2–2.8	1.04	0.29	0.28	8.7–55	20.06	5.79	0.29	39–100	89.79	11.70	0.13	18.7–66.1	35.85	7.47	0.21
	15–20	40–R	0.04–4.9	0.49	0.51	1.05	3–48.6	19.44	6.60	0.34	18.5–90	40.25	12.24	0.30	NP–49.9	19.10	8.93	0.47	0.2–2.6	1.01	0.26	0.26	10.6–54	20.28	6.10	0.30	52–100	91.75	10.48	0.11	21.3–53.3	35.50	6.75	0.19
	20–25	45–R	0.03–10	0.56	0.82	1.45	3.1–66.1	19.12	6.56	0.34	17–92	41.30	12.41	0.30	NP–47	18.25	9.84	0.54	0.4–2.7	1.08	0.30	0.28	10.5–56	21.42	6.04	0.28	23–100	89.96	11.84	0.13	20.6–67.4	34.81	7.68	0.22

Γεωλογικοί σχηματισμοί	Βάθη (m)	Φυσικές και μηχανικές παράμετροι																																	
		e				γ _b (KN/m ³)				γ _d (KN/m ³)				k (m/sec)				c (kPa) - Άμεση διάτμηση				φ (°) - Άμεση διάτμηση				c (kPa) - Τριαξονική δοκιμή				φ (°) - Τριαξονική δοκιμή					
		min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min	max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV	
Τεχνητές επιχώσεις	0–5	0.28–1.1	0.58	0.19	0.33	15–23.3	20.10	1.57	0.08	12.6–21.2	17.27	1.86	0.11	2.16E-07	4.13E-05	1.12E-05	1.35E-05	1.21	1–49*	13.94	11.60	0.83	18.8–45*	35.01	6.82	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5–10	0.3–0.64*	0.47	0.11	0.23	15.8–22.5	20.31	1.48	0.07	11.2–21.5	20.31	1.48	0.07	3.41E-08	2.33E-05	8.08E-06	7.28E-06	0.90	7–41*	20.09	14.34	0.71	14.2–47*	32.55	10.52	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10–15	-	-	-	-	14.9–22.3*	20.25	2.14	0.11	19.1–19.4*	19.25	0.21	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Τεταρτογενείς αποθέσεις	0–5	0.2–1.9	0.72	0.30	0.42	15–23.8	19.94	1.62	0.08	9.5–23.2	16.66	2.46	0.15	1.50E-08	9.60E-05	3.79E-06	1.25E-05	3.29	1–87	18.46	20.45	1.11	0–40.3	29.59	9.14	0.31	2-123	33.50	38.57	1.15	0-35	10.04	11.78	1.17	
	5–10	0.2–2.1	0.76	0.42	0.56	14.9–23.7	20.16	1.87	0.09	8.7–21.6	16.65	2.84	0.17	4.04E-09	1.52E-04	4.73E-06	1.51E-05	3.19	0.45–65	16.53	14.56	0.88	1.5–47.1	26.63	9.08	0.34	2–211	38.16	39.24	1.03	0–38	14.73	12.95	0.88	
	10–15	0.2–1.9	0.79	0.48	0.61	14–25.3	20.41	2.33	0.11	9.3–23.3	17.14	3.64	0.21	2.62E-08	2.61E-04	1.22E-05	3.70E-05	3.03	1–58	16.69	13.24	0.79	0–44.6	26.77	11.16	0.42	1–98	24.86	24.54	0.99	0–37	15.63	12.97	0.83	
	15–20	0.3–1.9	0.81	0.46	0.57	14.5–25	20.58	2.15	0.10	9.4–22.9	17.37	3.03	0.17	7.43E-09	2.24E-05	2.36E-06	4.33E-06	1.83	1–125	24.76	25.14	1.02	0–41.4	27.26	8.18	0.30	4–122.6	36.11	32.70	0.91	0–33	13.76	11.37	0.83	
	20–25	0.3–1.5	0.61	0.24	0.39	16.5–24	20.98	1.41	0.07	10.8–22.3	17.87	2.18	0.12	1.29E-08	7.98E-05	5.22E-06	1.31E-05	2.50	0.5–135	41.80	34.22	0.82	17–36.8	23.70	8.80	0.37	3–135	33.00	34.62	1.05	0–27.6	14.30	11.54	0.81	
Νεογενείς αποθέσεις	0–5	0.2–1.1	0.57	0.18	0.31	16.3–23.6	20.26	1.34	0.07	10.6–22	17.25	1.91	0.11	2.54E-08	1.51E-05	1.67E-06	3.77E-06	2.26	2–132	30.19	27.73	0.92	8.9–61	28.98	9.21	0.32	1–227	93.69	71.70	0.77	2.8–37	21.16	11.65	0.55	
	5–10	0.3–2.1	0.59	0.20	0.35	15.2–22.8	20.30	1.24	0.06	12.3–20.7	17.04	1.73	0.10	1.45E-08	1.15E-05	1.69E-06	3.05E-06	1.80	1–176	36.62	32.55	0.89	7.6–56.6	28.14	9.47	0.34	1–298	110.26	77.90	0.71	1.5–29.8	14.86	8.35	0.56	
	10–15	0.2–2.0	0.58	0.22	0.37	16.4–23.2	20.39	1.27	0.06	11.9–22.4	17.09	1.92	0.11	7.80E-09	1.60E-05	1.01E-06	2.30E-06	2.27	0.8-222	54.66	51.51	0.94	9.6–45.1	27.62	7.60	0.27	15–571	163.17	132.61	0.81	0–35	14.13	9.24	0.65	
	15–20	0.3–1.1	0.57	0.18	0.31	17–23.5	20.49	1.18	0.06	12.7–21.4	17.12	1.84	0.11	8.20E-10	2.02E-05	6.37E-07	2.33E-06	3.66	1.6-277	84.19	67.32	0.80	8–46.7	25.12	7.30	0.29	18–564	199.09	137.67	0.69	0.2–30.5	15.97	8.92	0.56	
	20–25	0.3–2.1	0.56	0.24	0.43	16.7–23.3	20.48	1.21	0.06	12.5-21.8	17.33	1.77	0.10	1.17E-09	1.33E-05	5.74E-07	1.77E-06	3.08	1.8-387	111.78	81.12	0.73	1.1-38	23.44	6.56	0.28	29.4-723	240.33	150.91	0.63	0–30.5	11.23	8.18	0.73	

* περιορισμένος αριθμός δεδομένων/ – μη διαθέσιμα δεδομένα/ R: APNHΣH/ NP: Μη πλαστικό

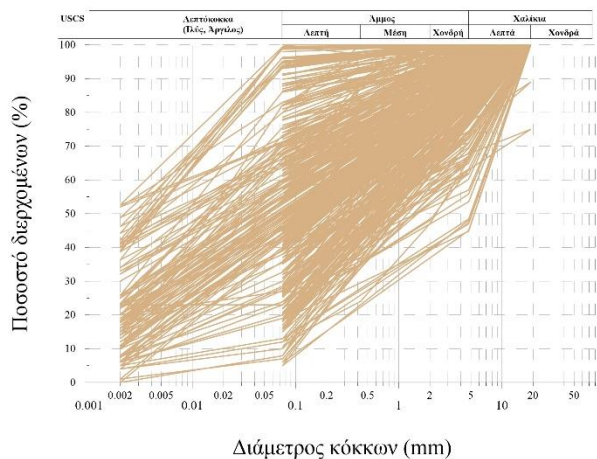
Παράρτημα III:

Κοκκομετρικές καμπύλες των αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για τα βάθη 15-20 m και 20-25 m.

Βάθος: 15-20 m (801 δοκιμές)

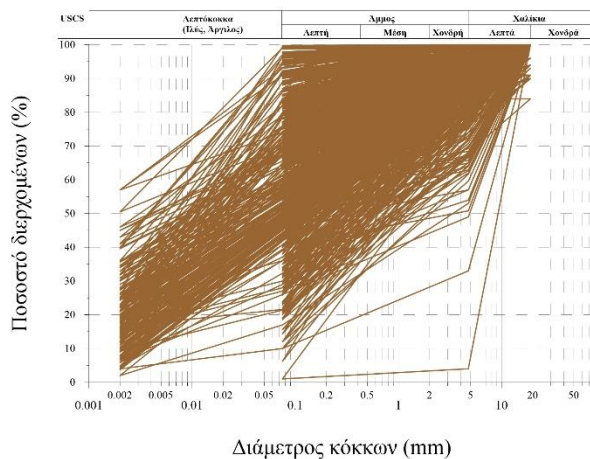
Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

252 δοκιμές



Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας

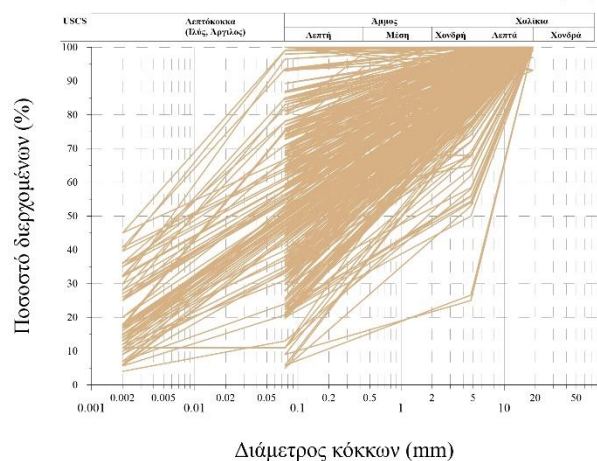
549 δοκιμές



Βάθος: 20-25 m (554 δοκιμές)

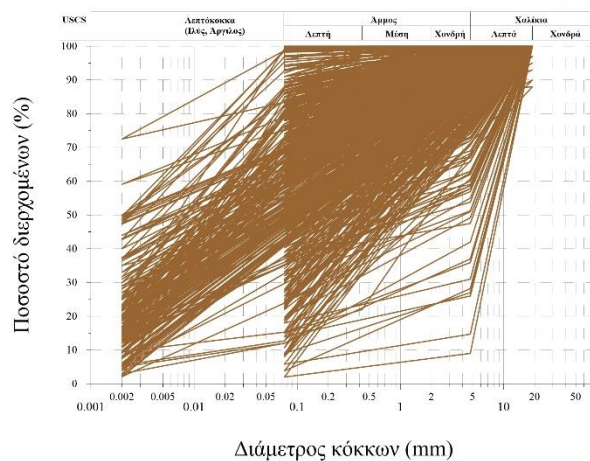
Αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας

184 δοκιμές

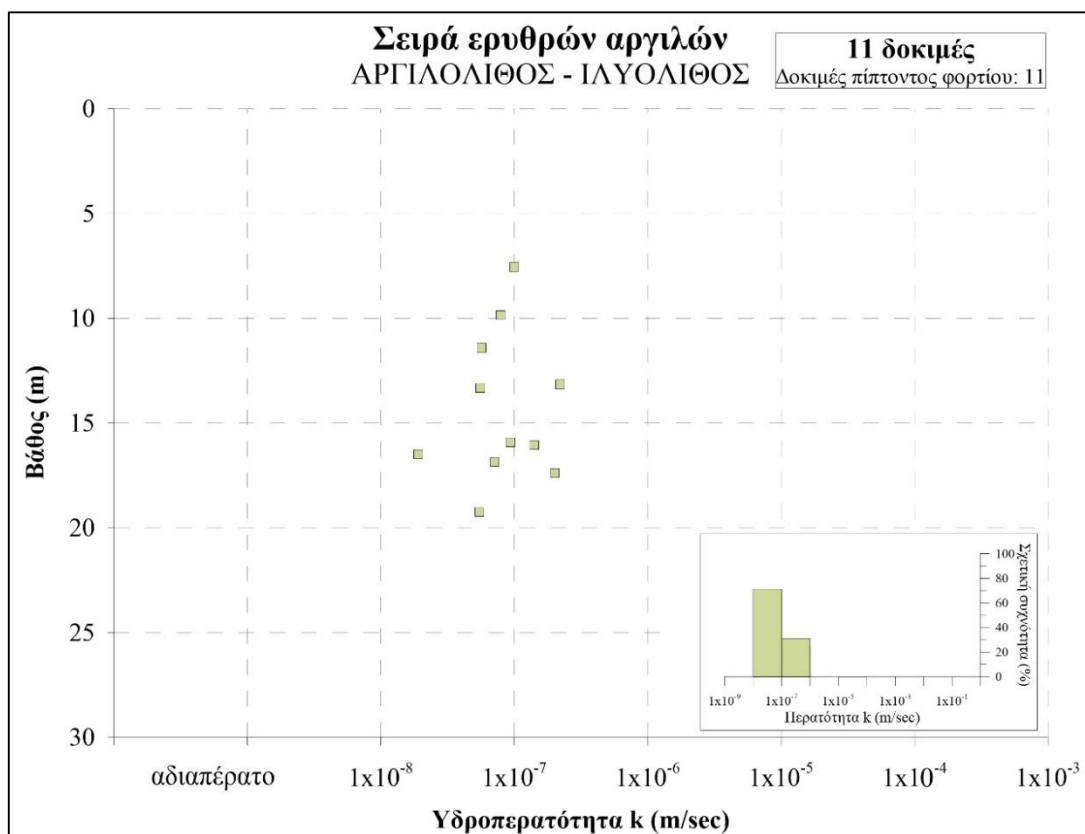
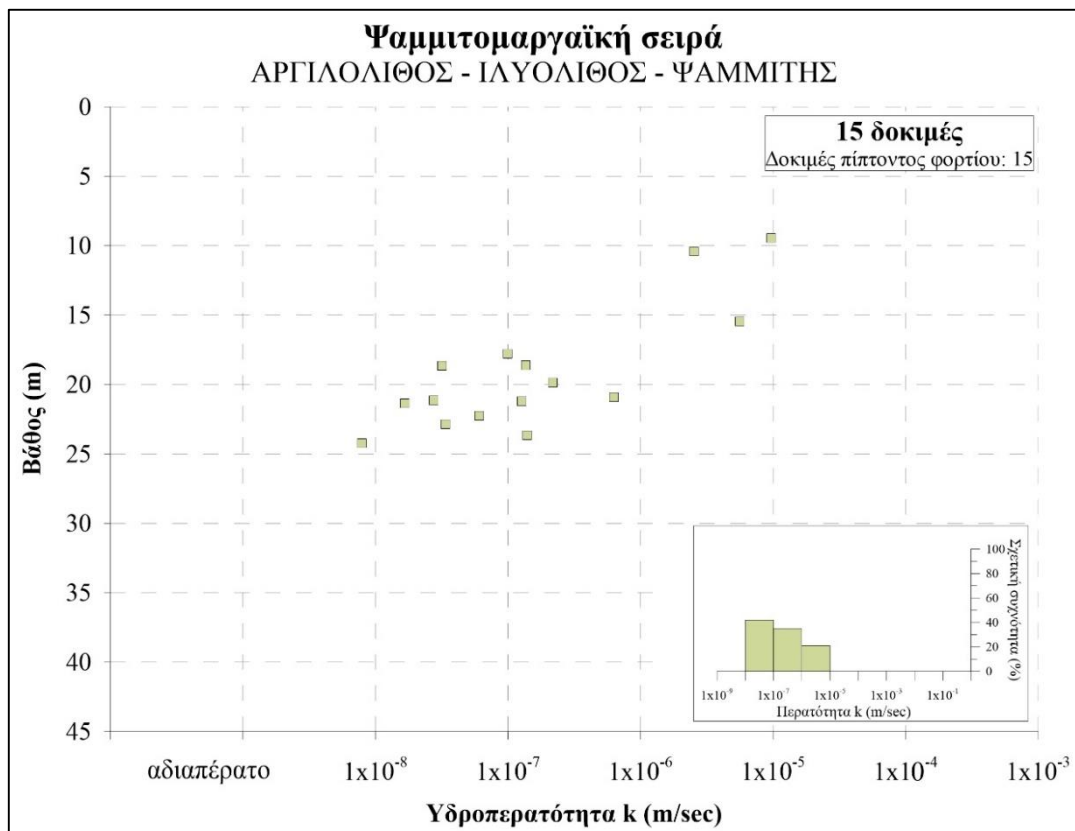


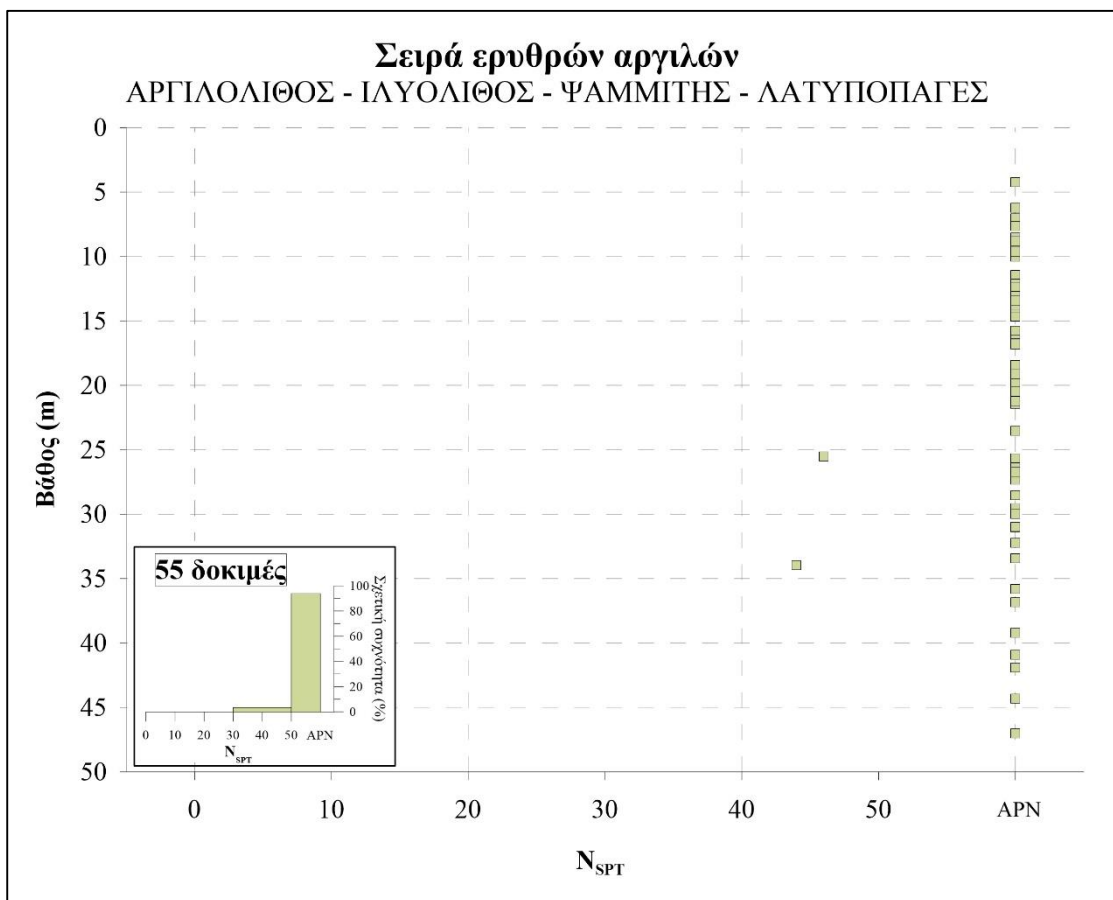
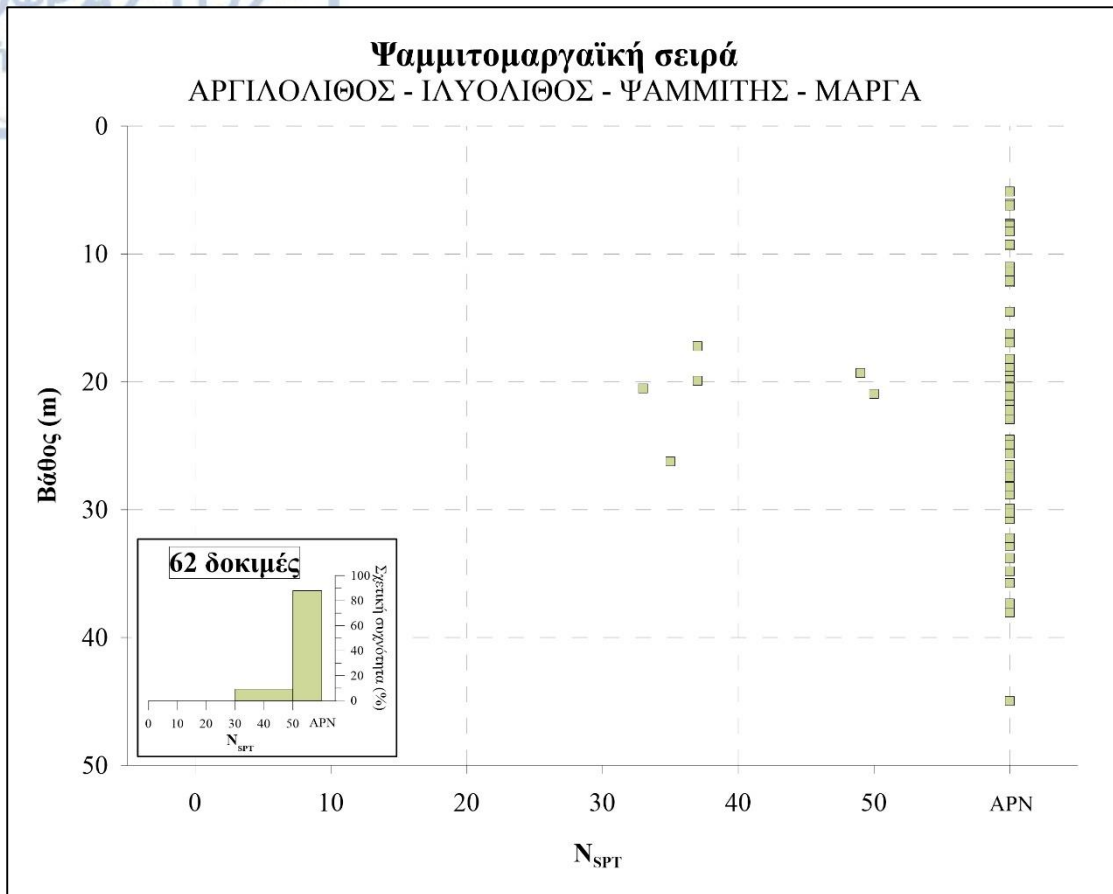
Αποθέσεις Νεογενούς ηλικίας

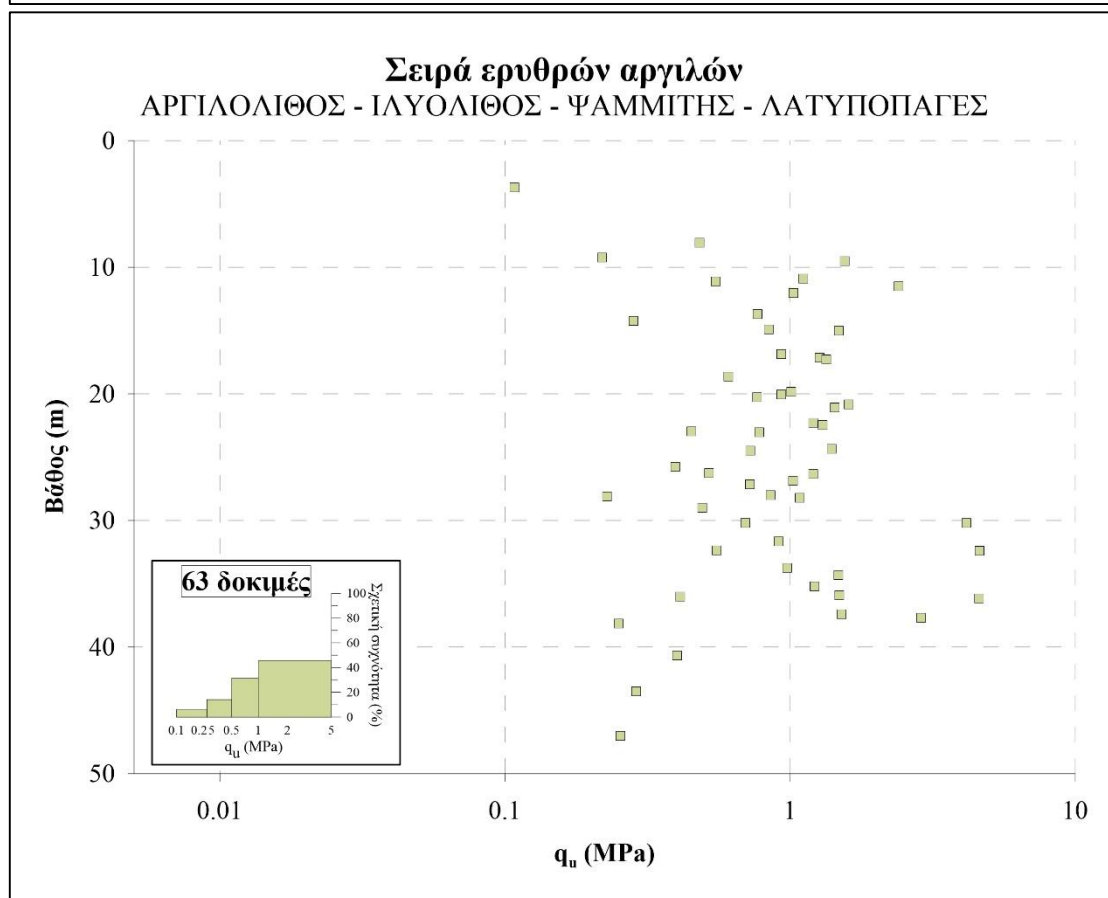
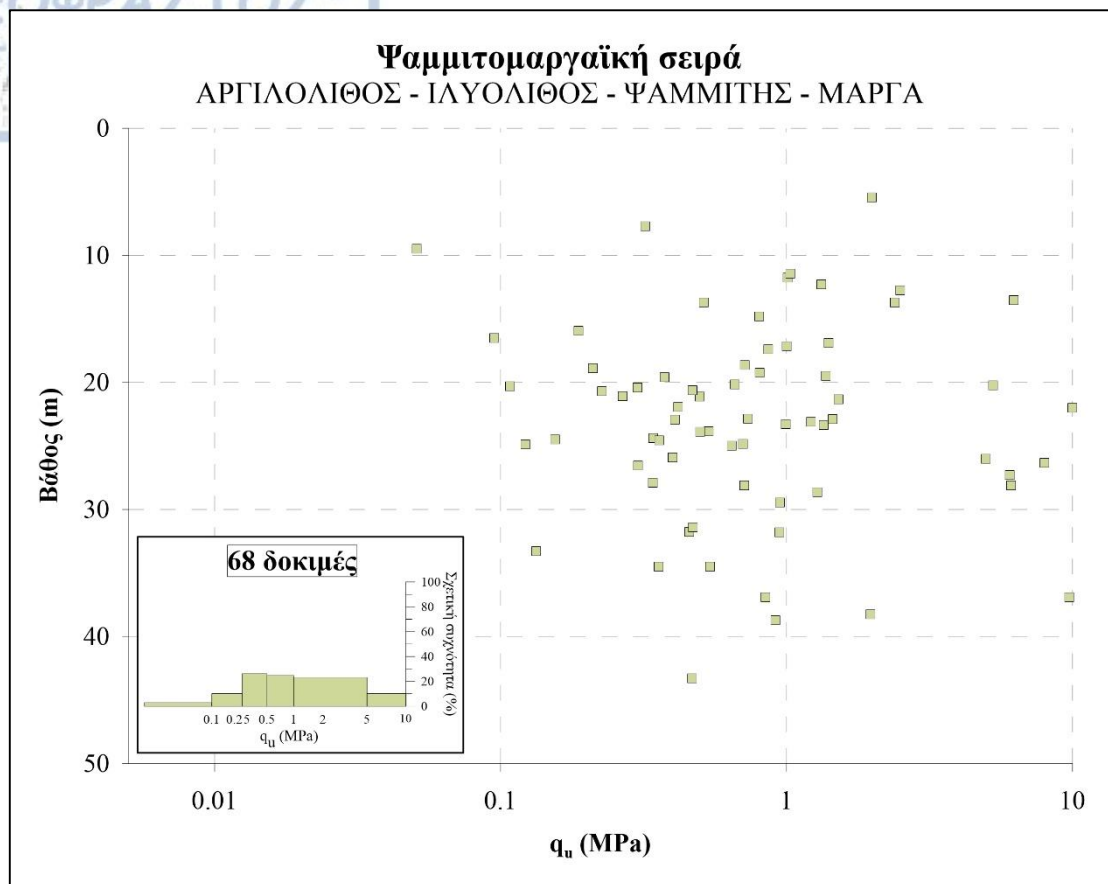
370 δοκιμές

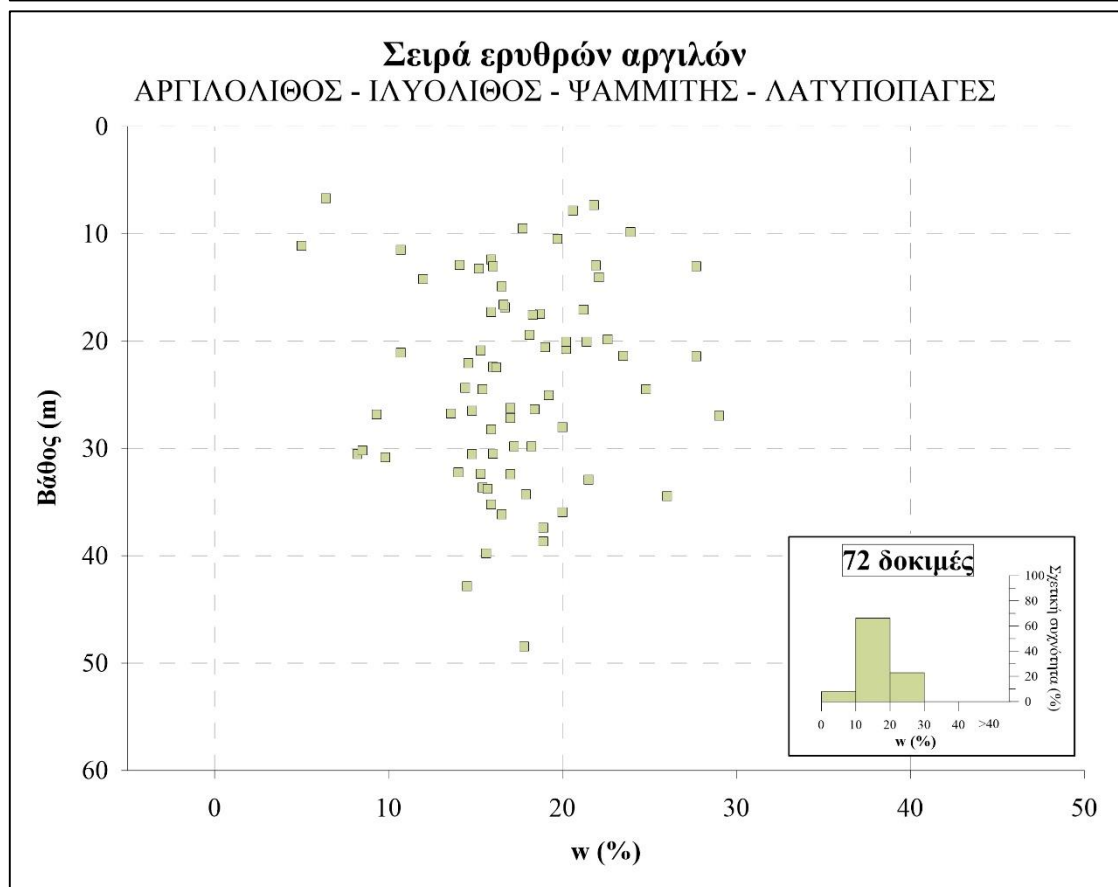
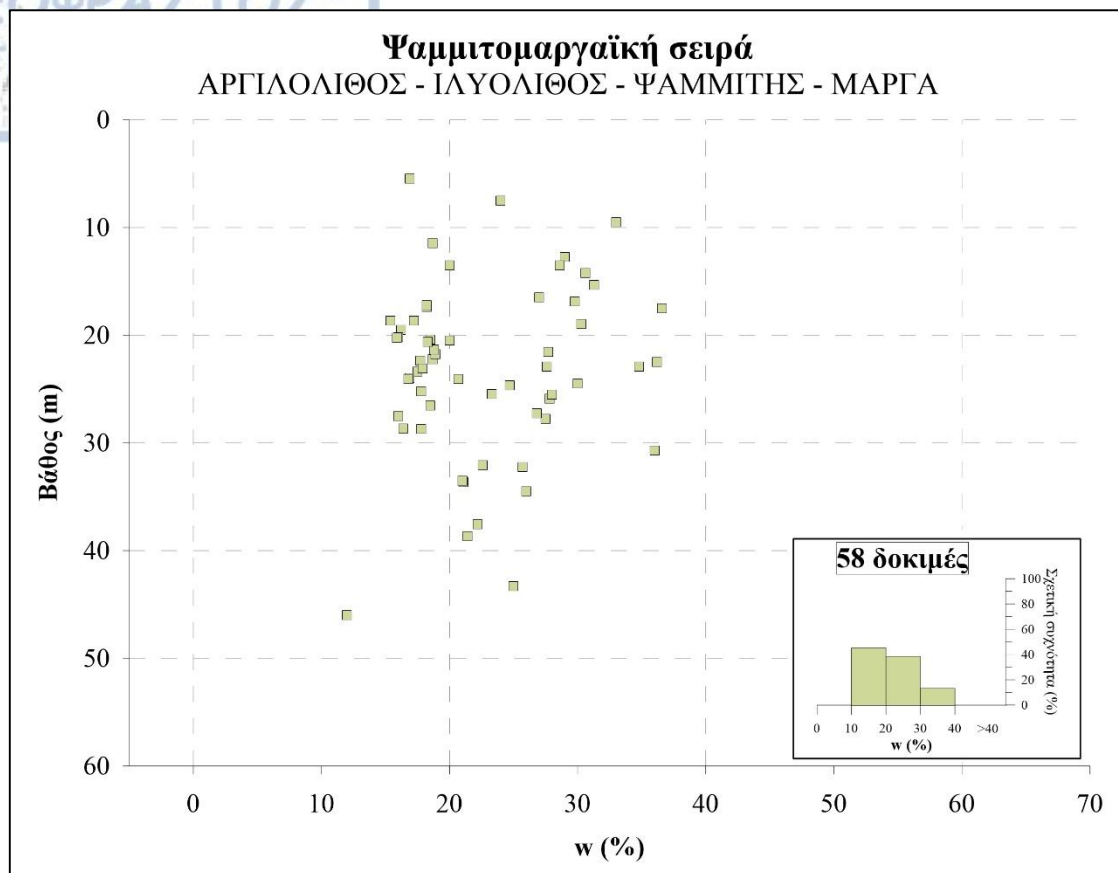


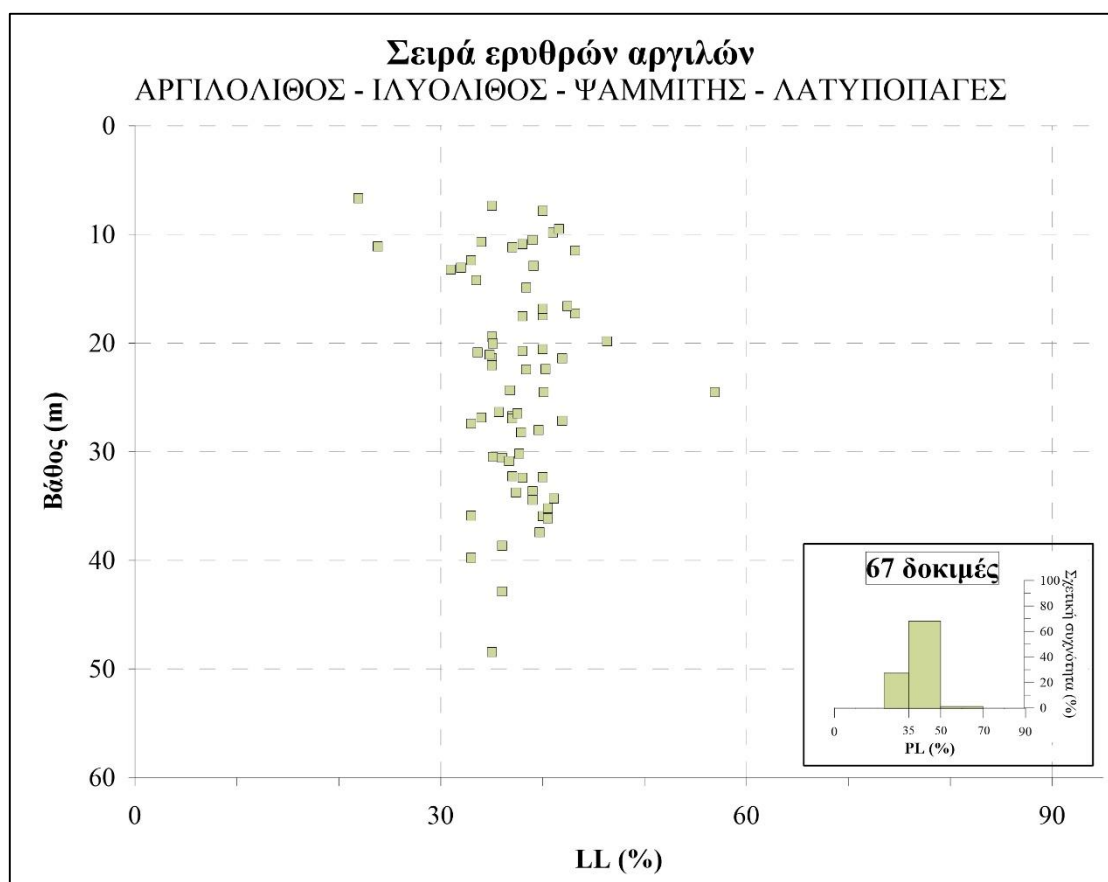
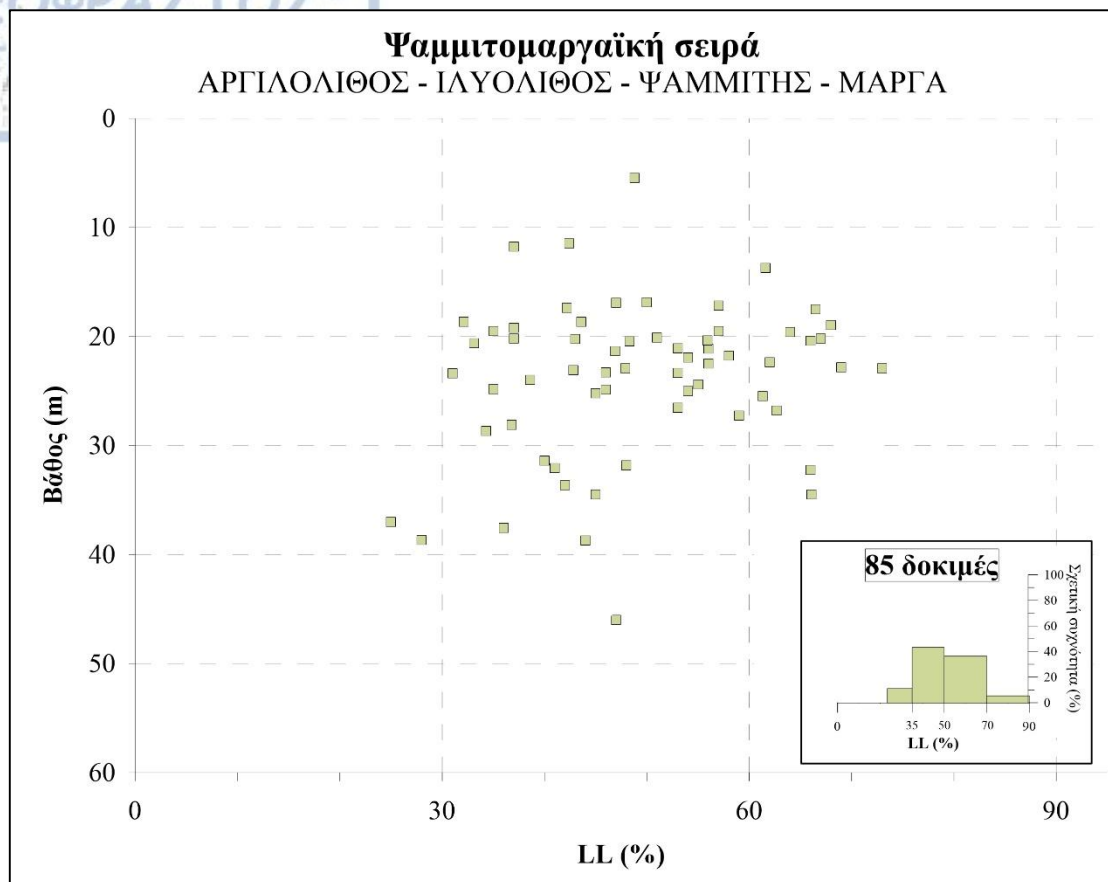
Διαγράμματα κατανομής τιμών εξεταζόμενων παραμέτρων για τους σχηματισμούς αργιόλιθος, ιλυόλιθος, ψαμμίτης, μάργα και λατυποπαγές της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς και της σειράς ερυθρών αργίλων Νεογενών αποθέσεων.

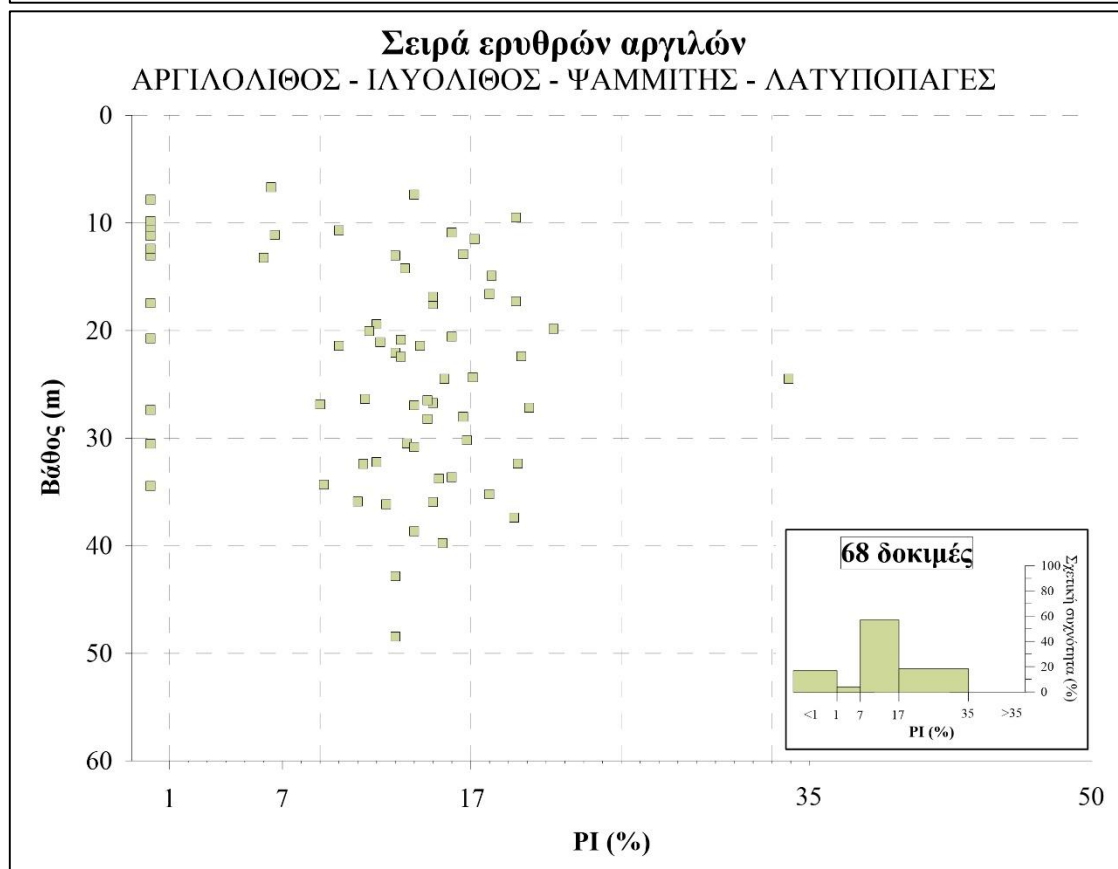
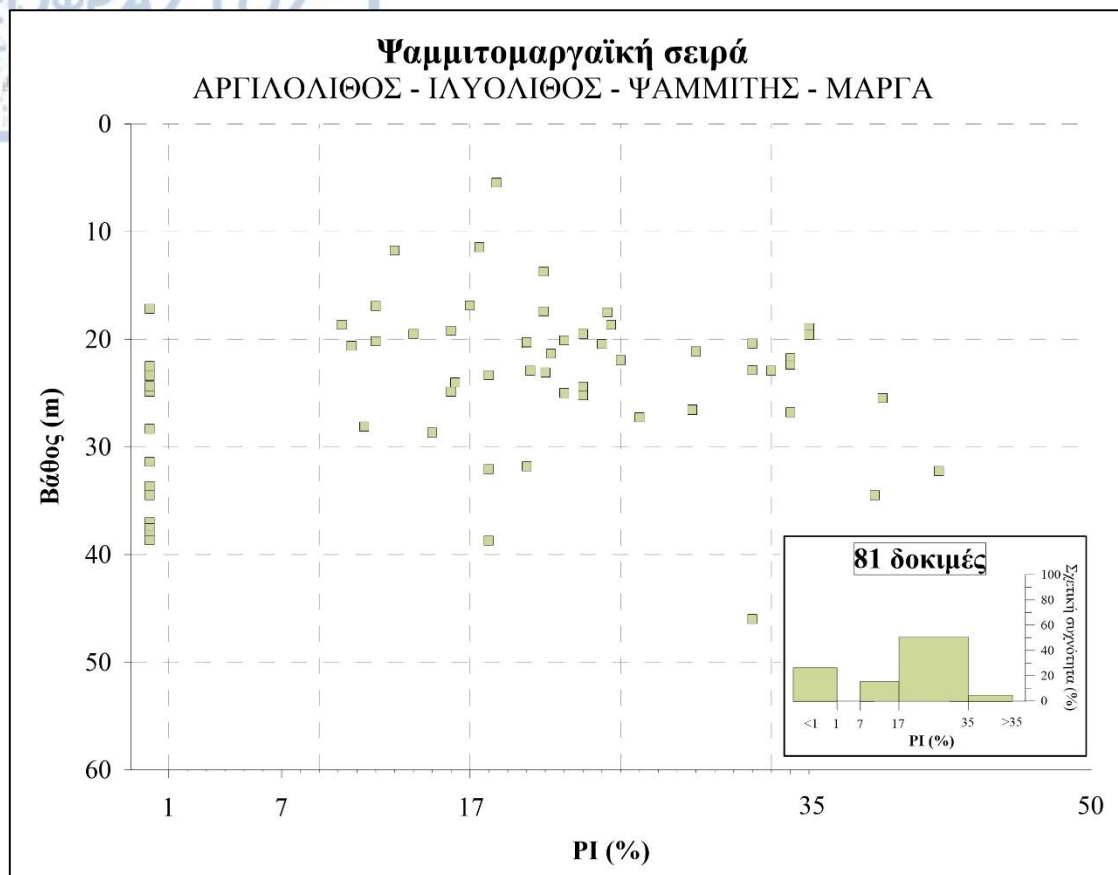


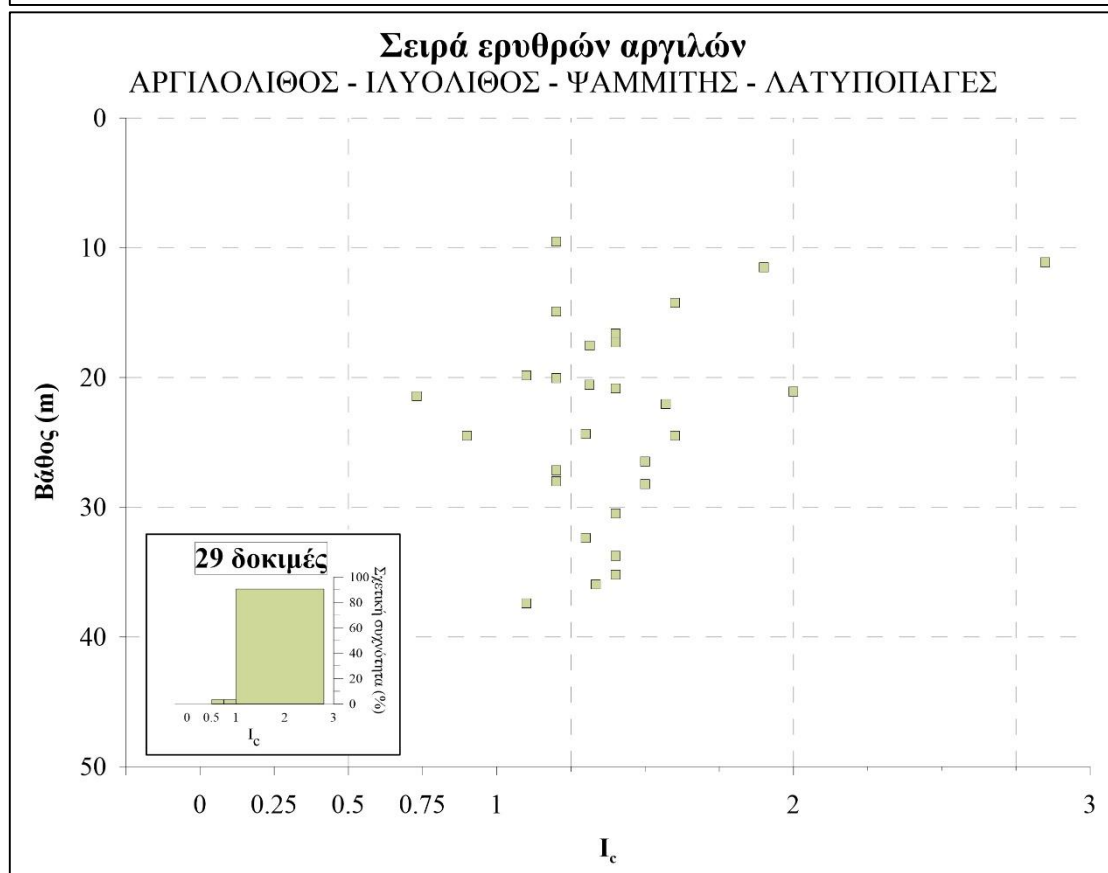
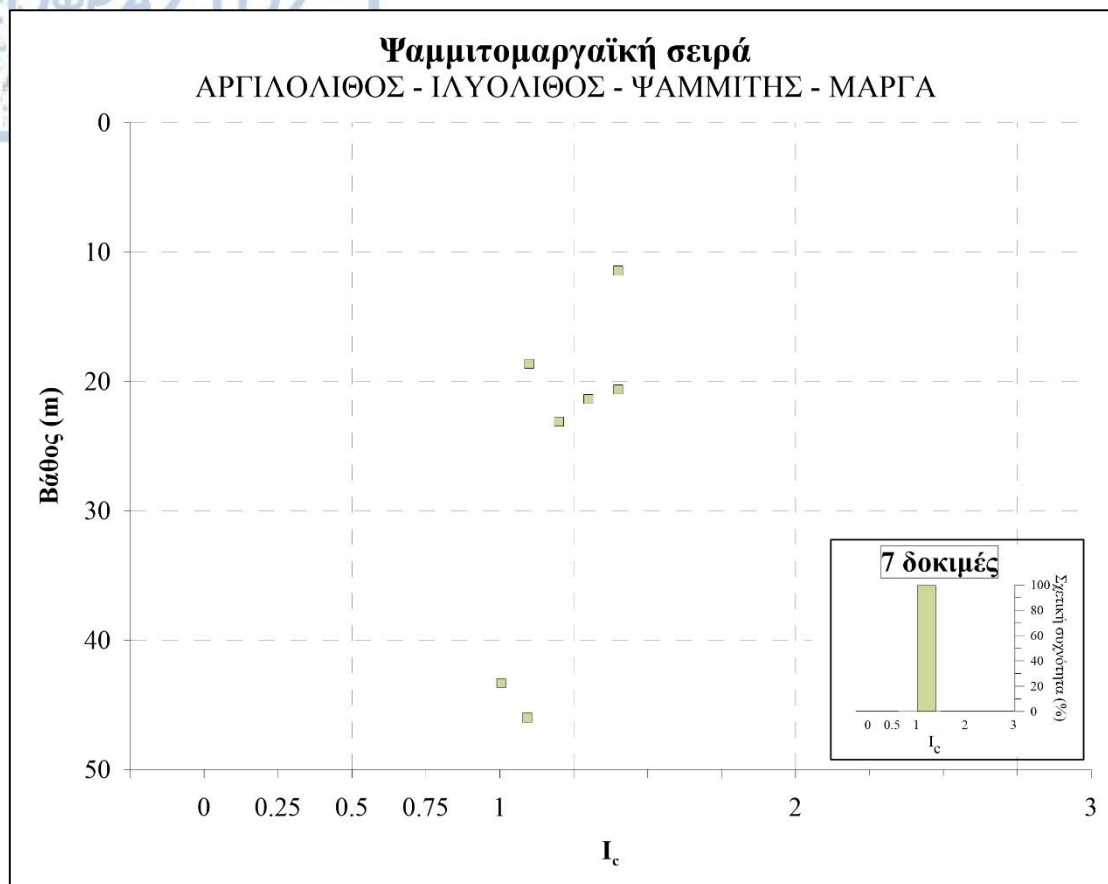


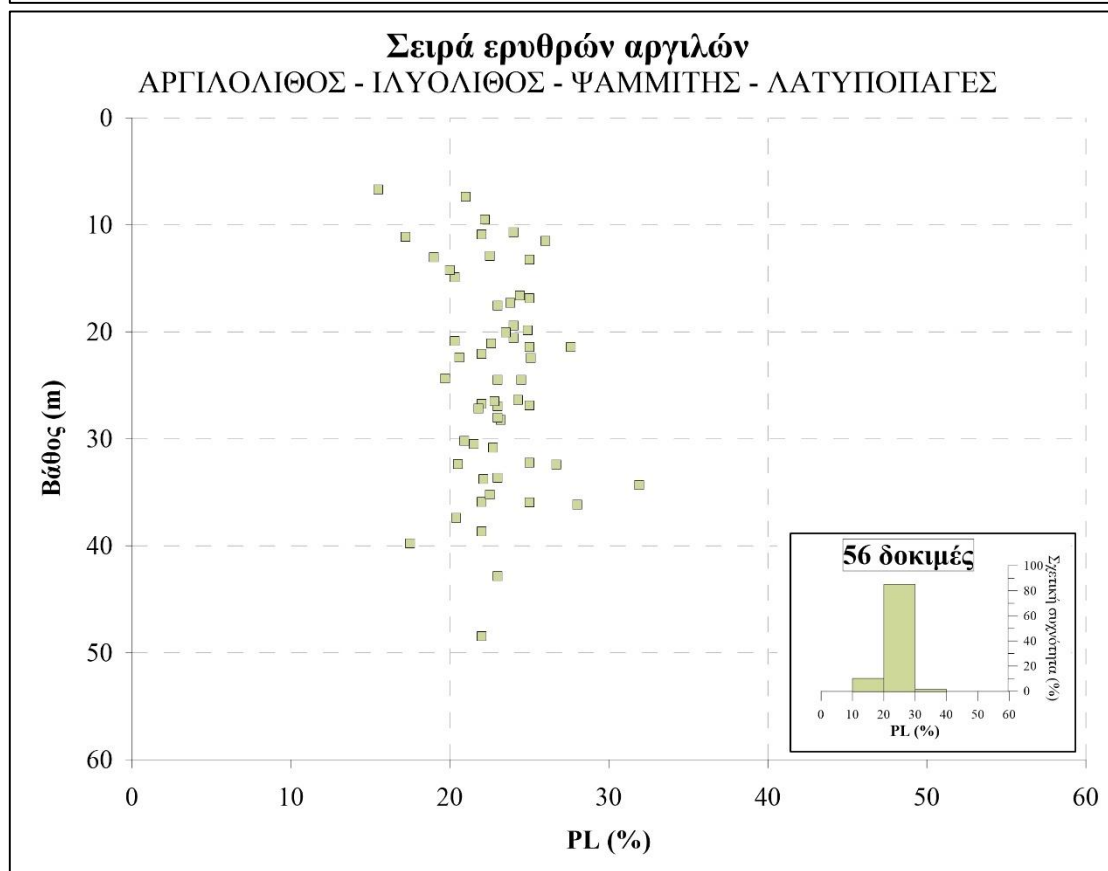
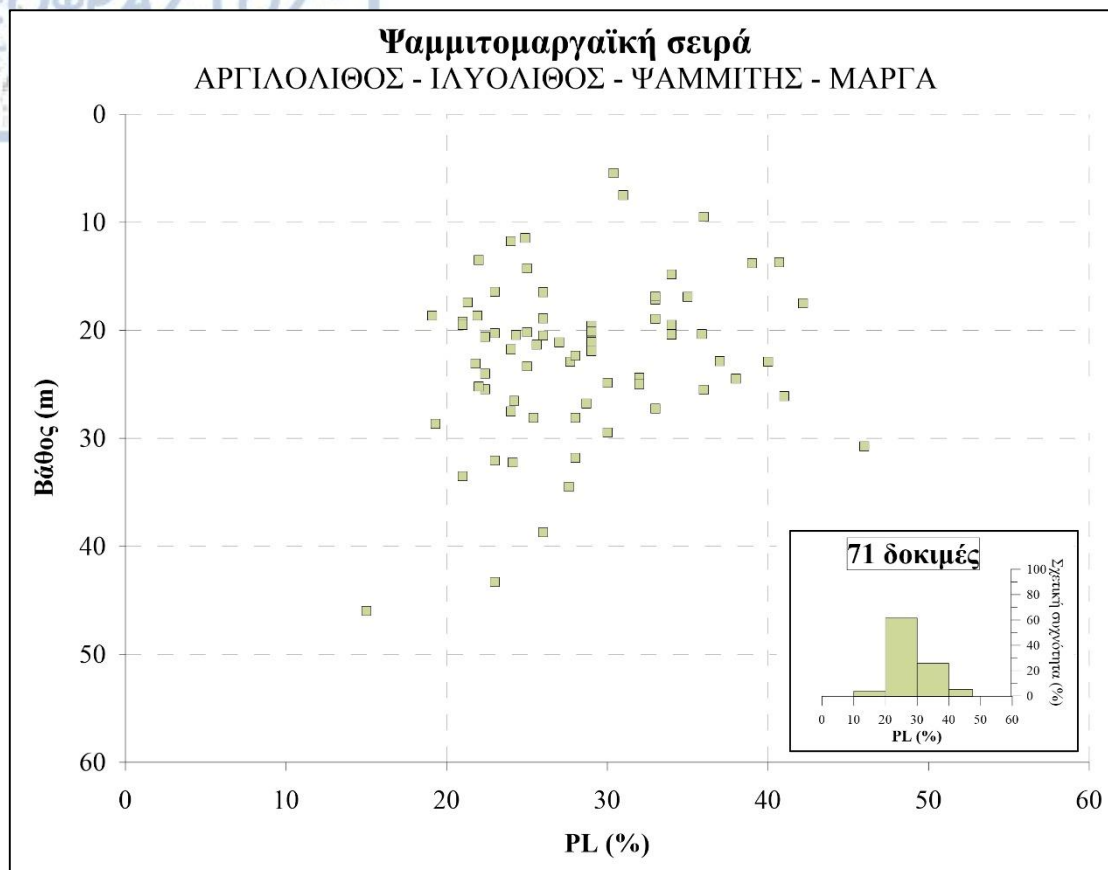


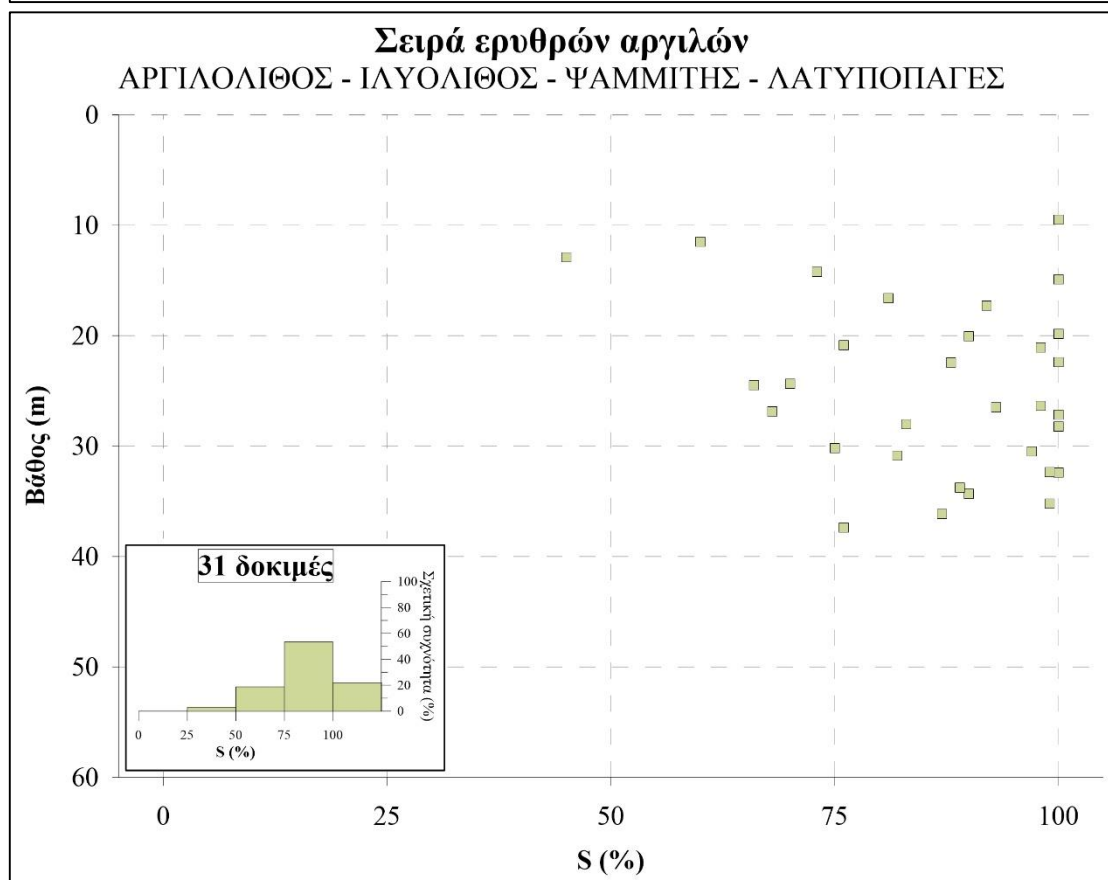
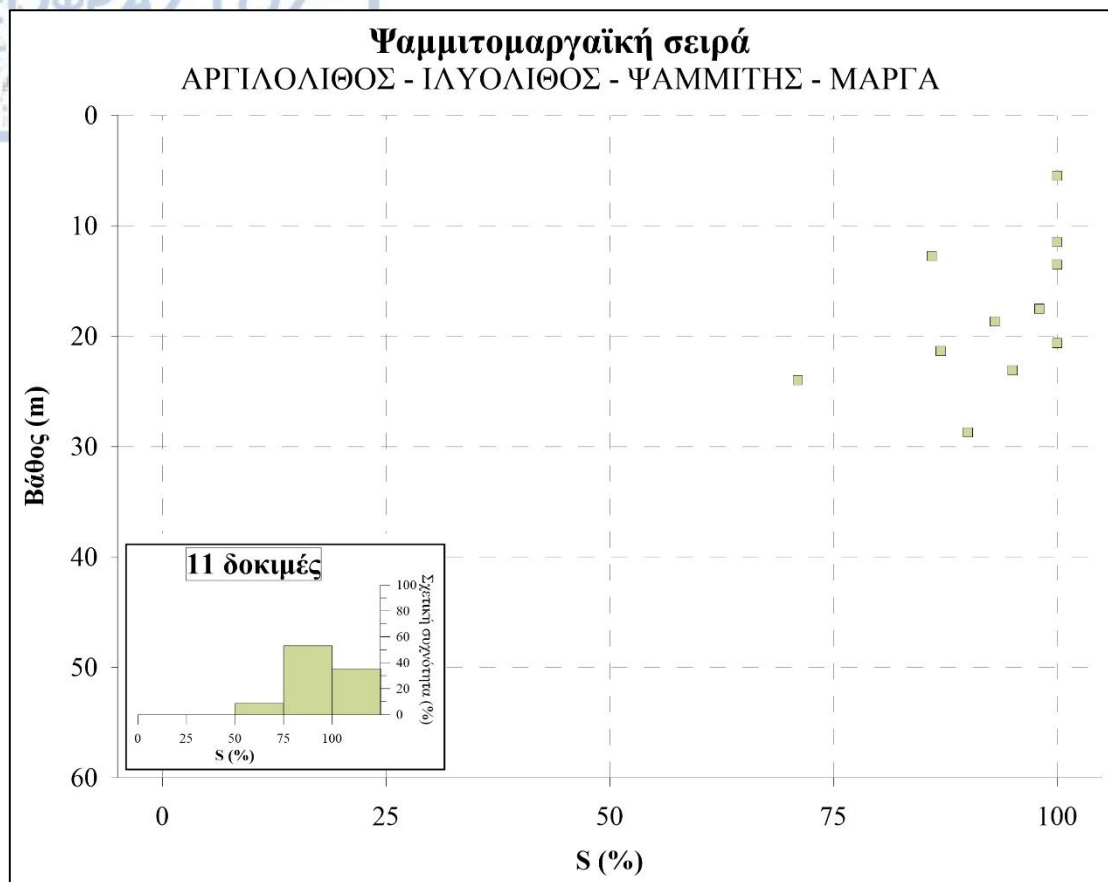


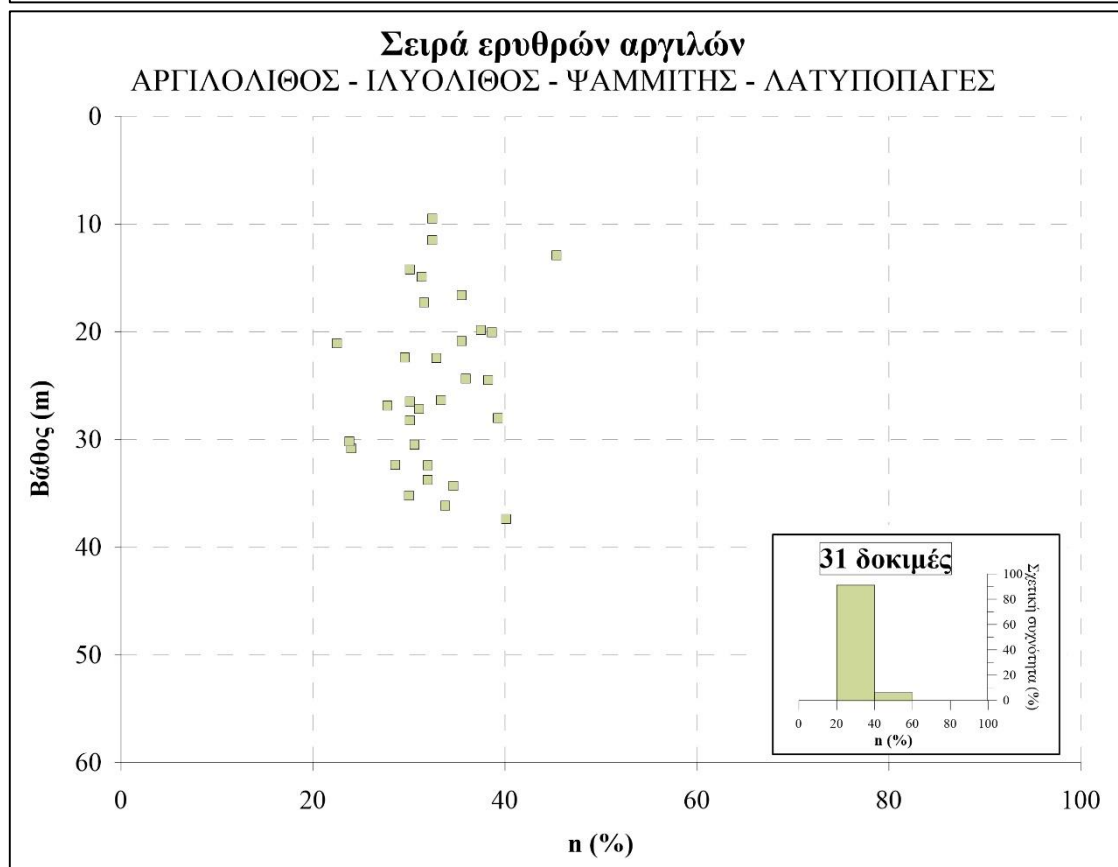
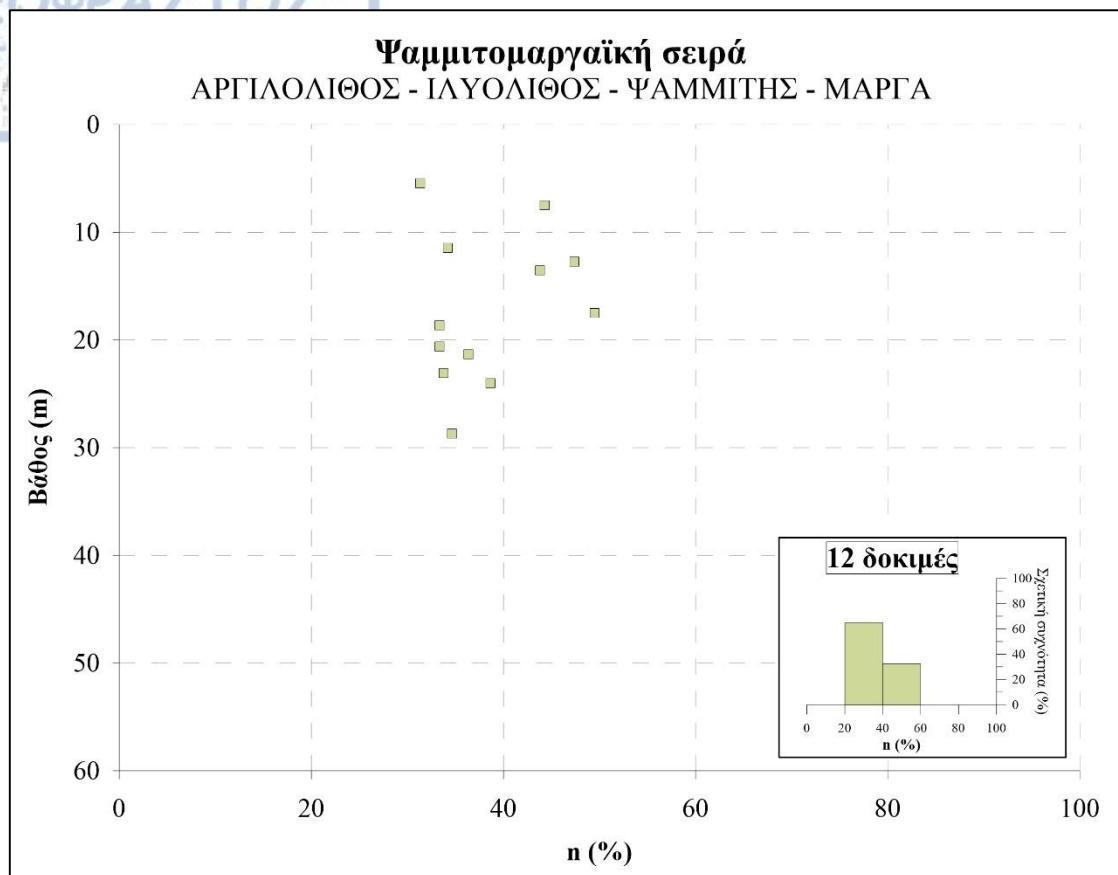


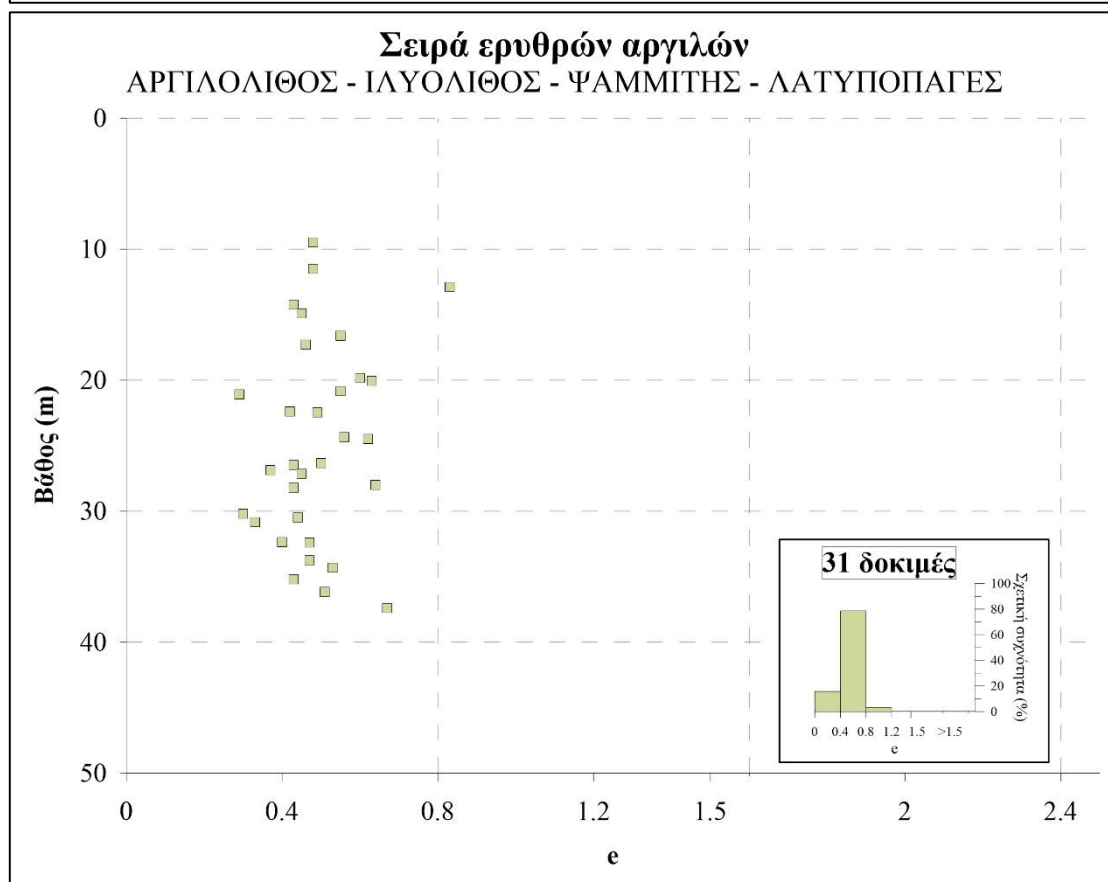
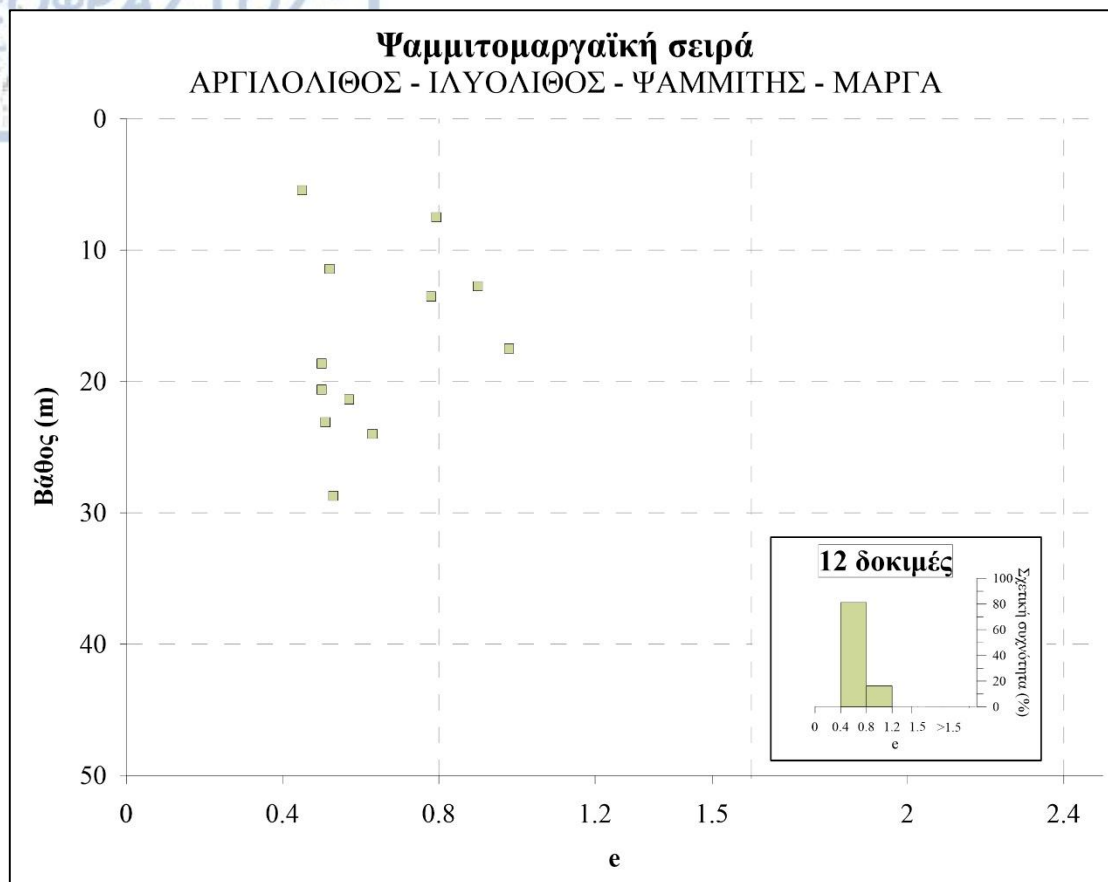


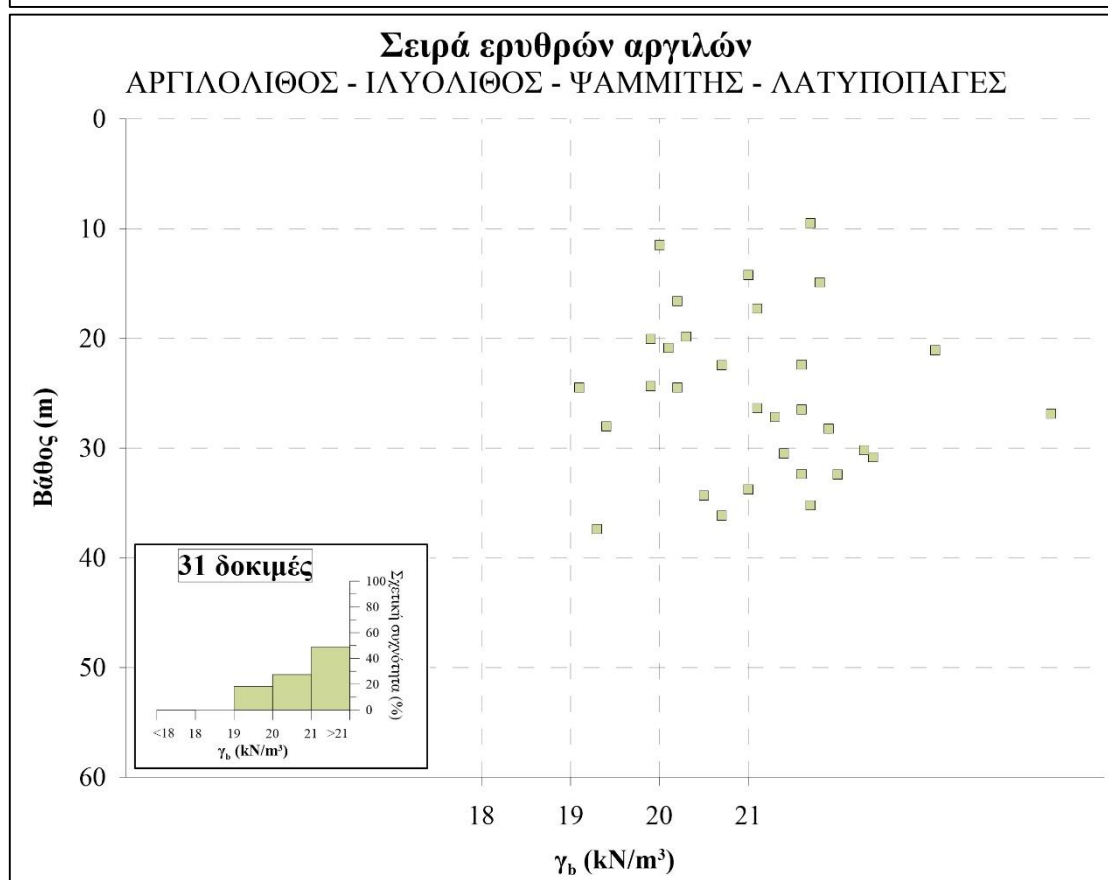
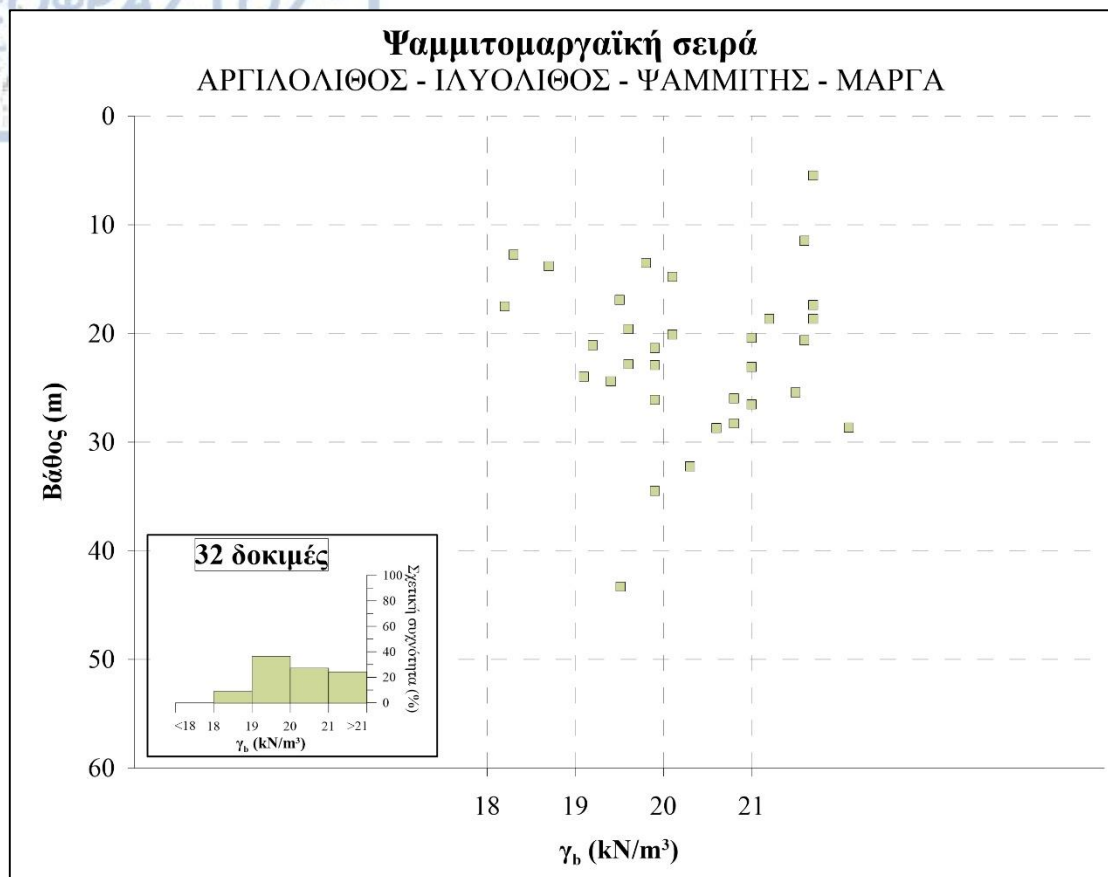


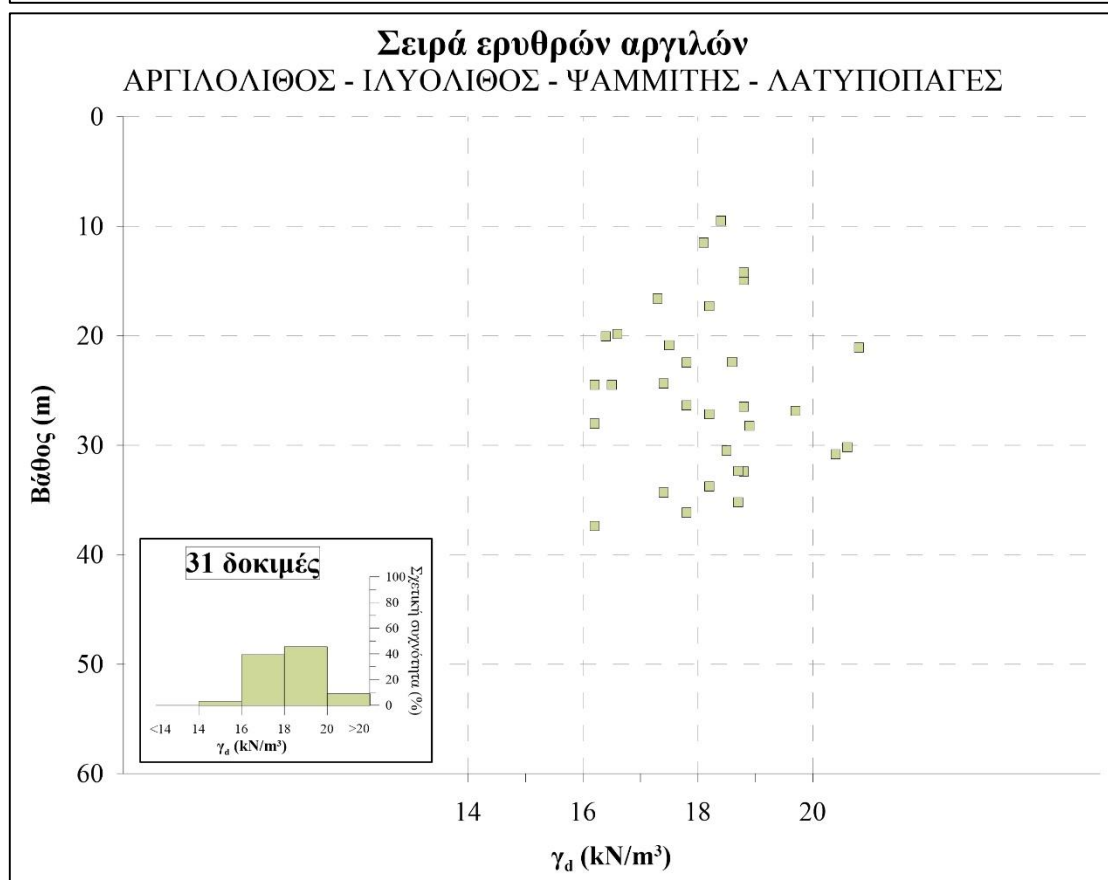
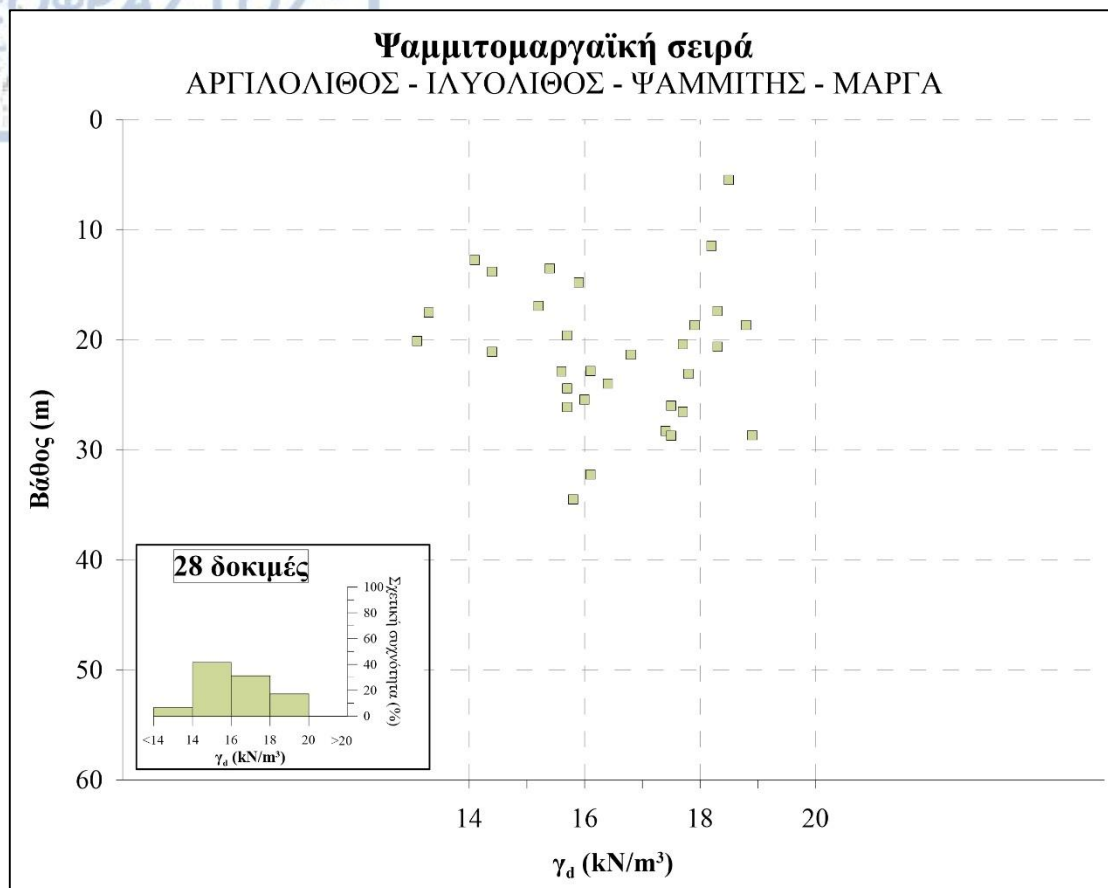


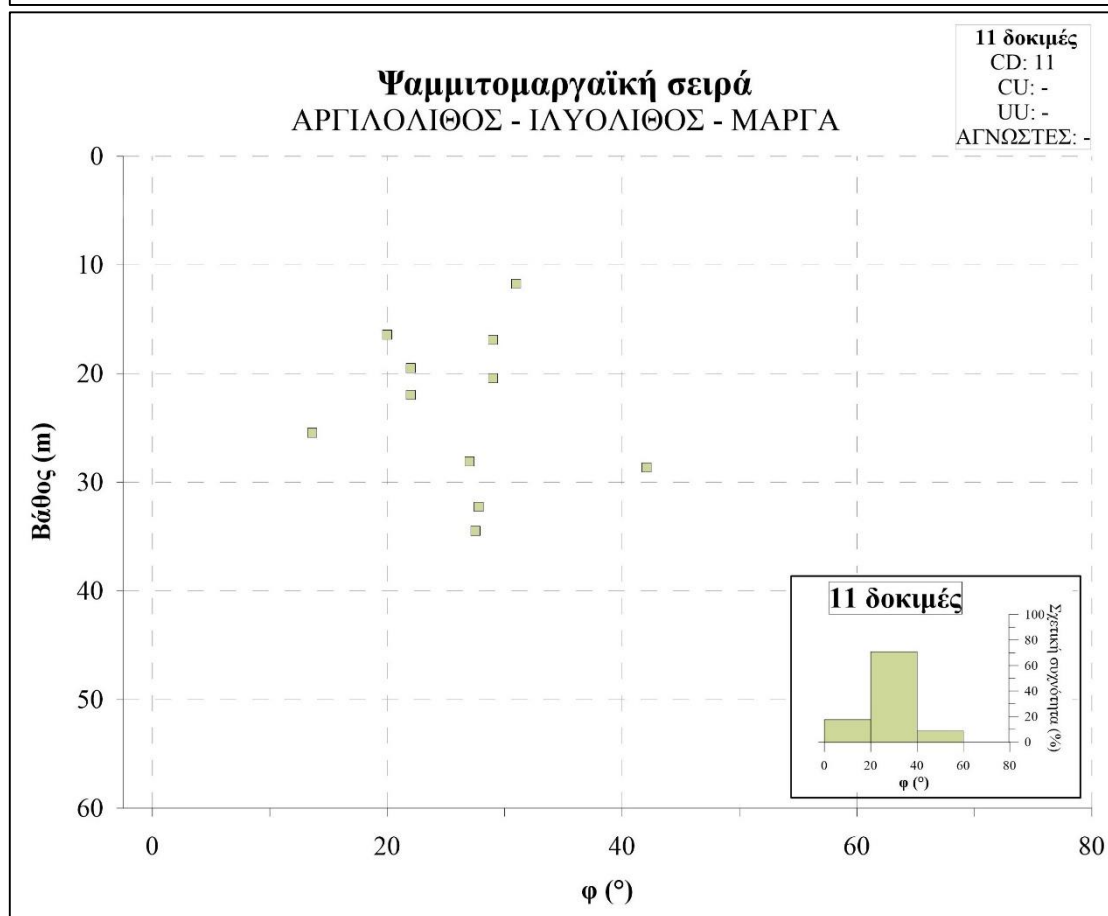
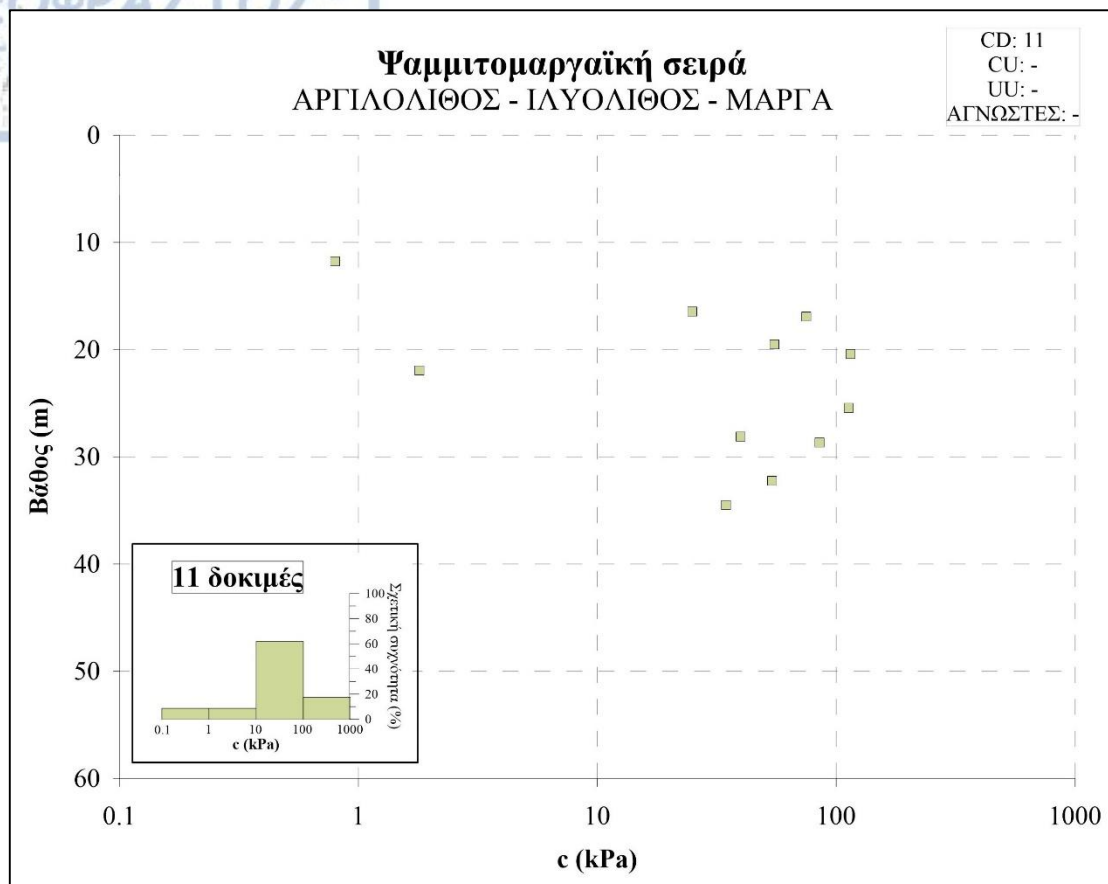


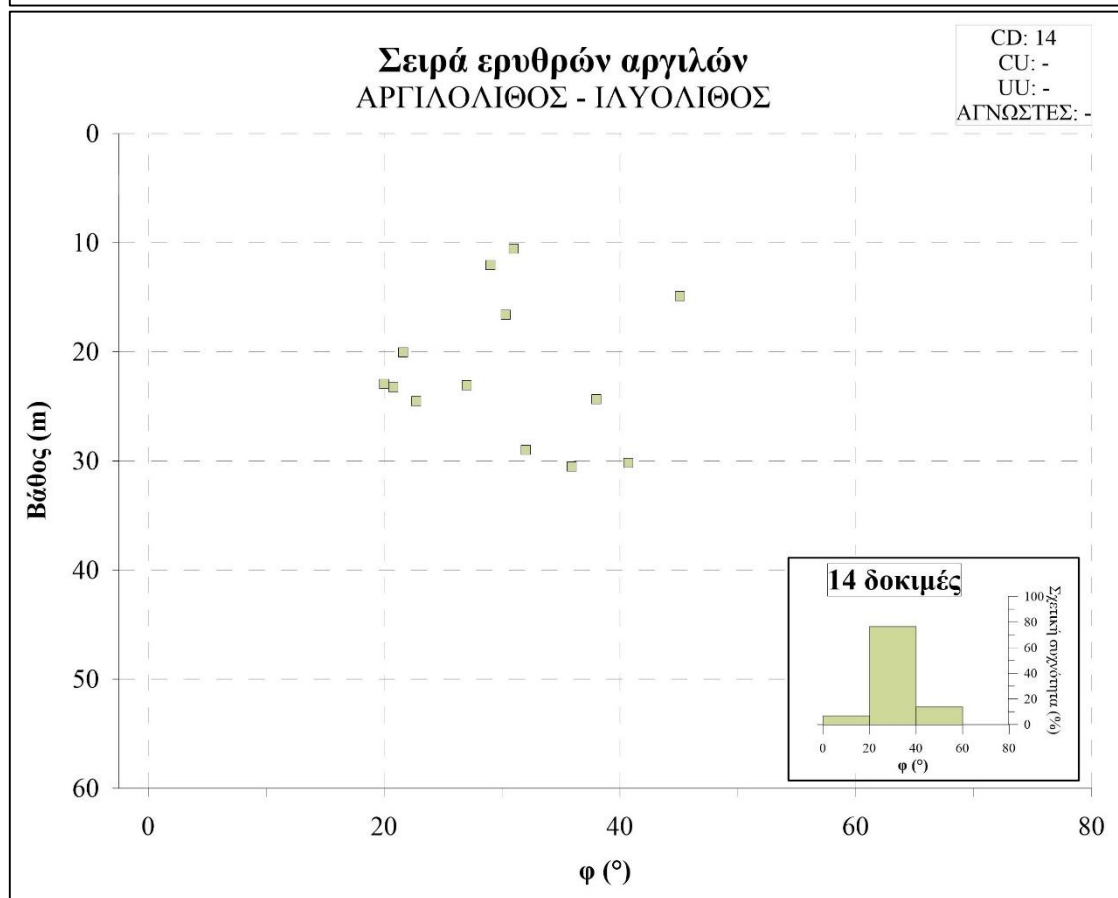
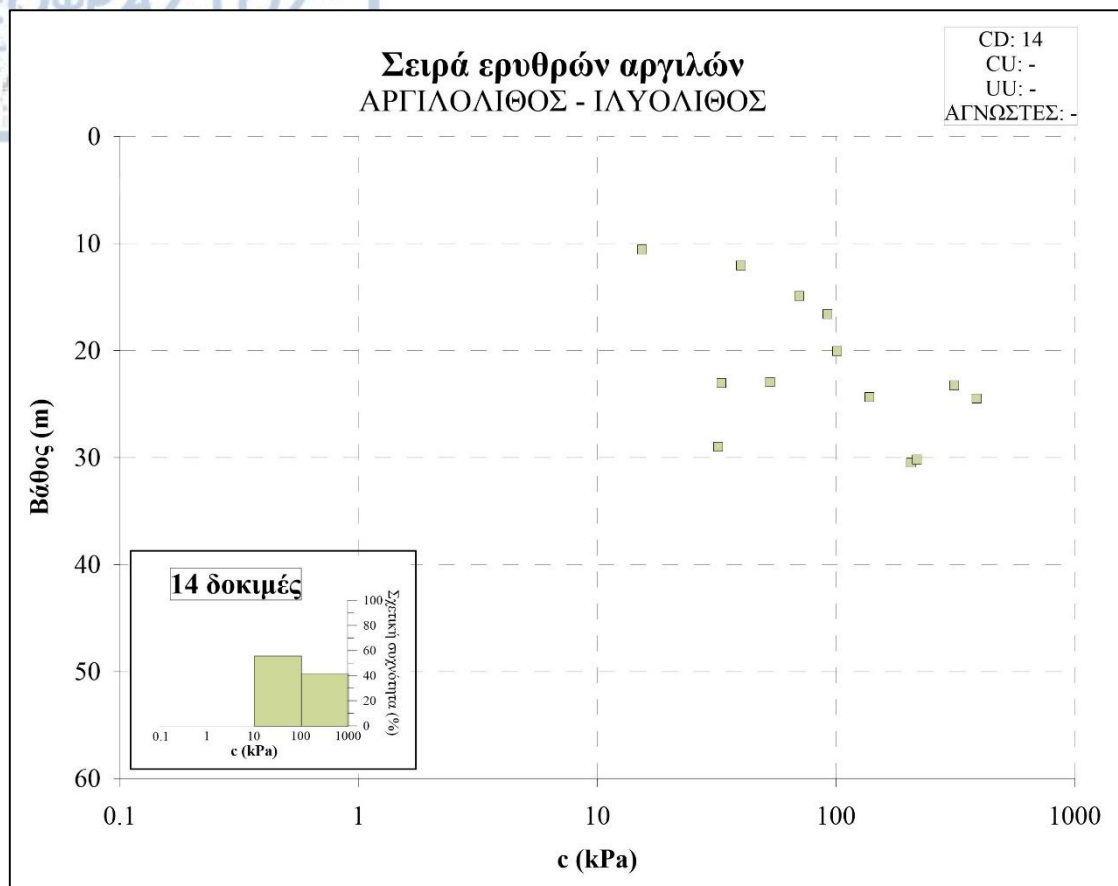


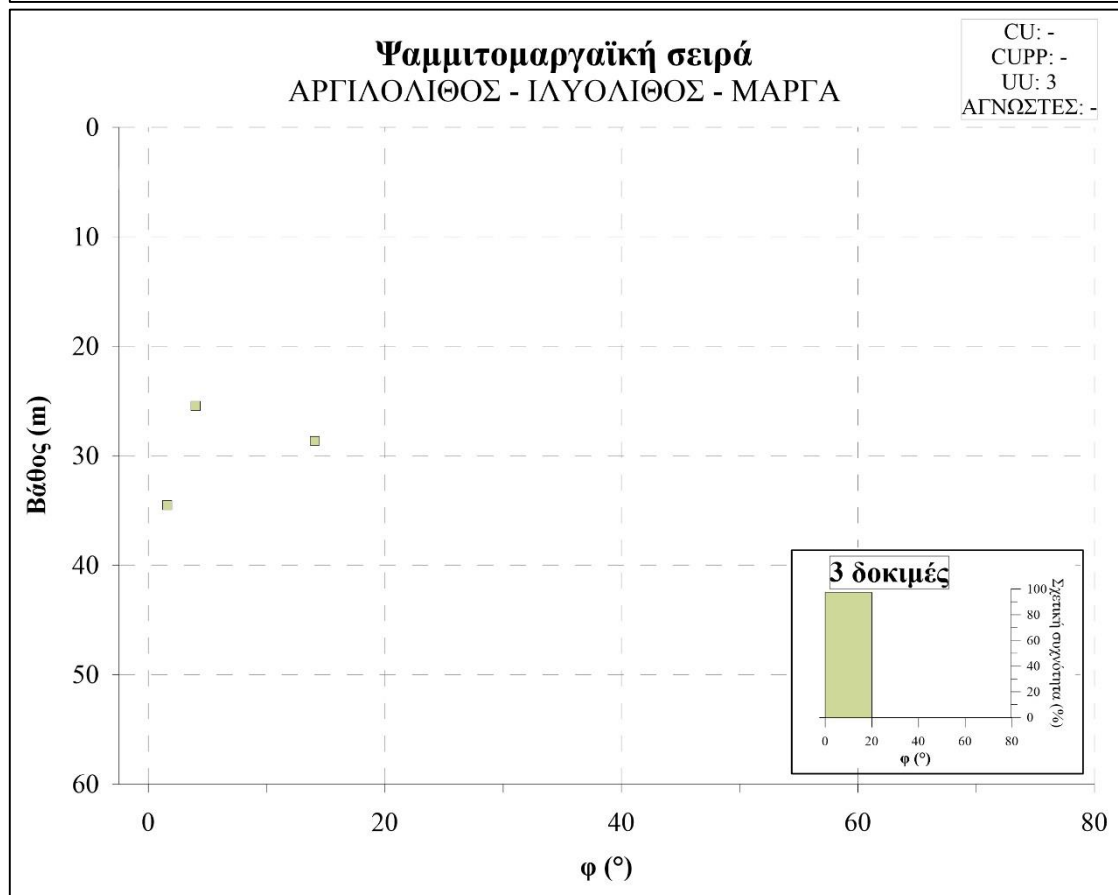
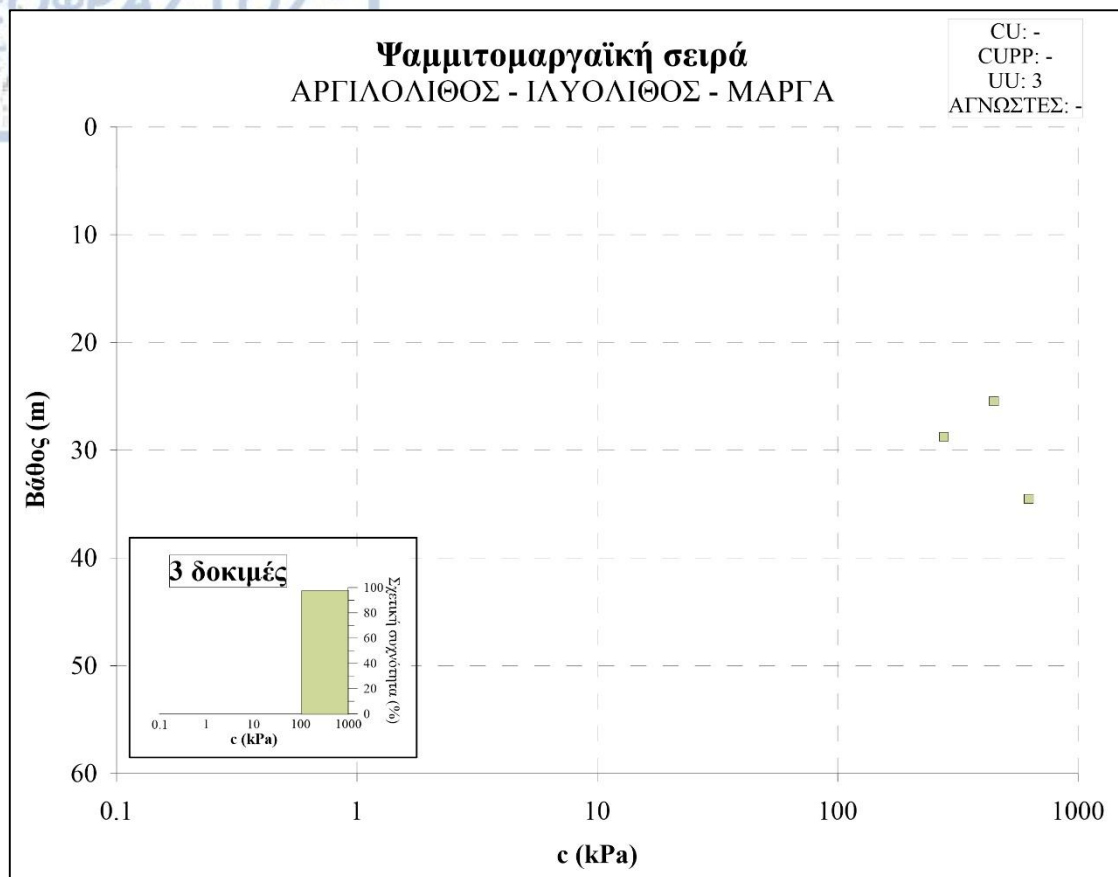


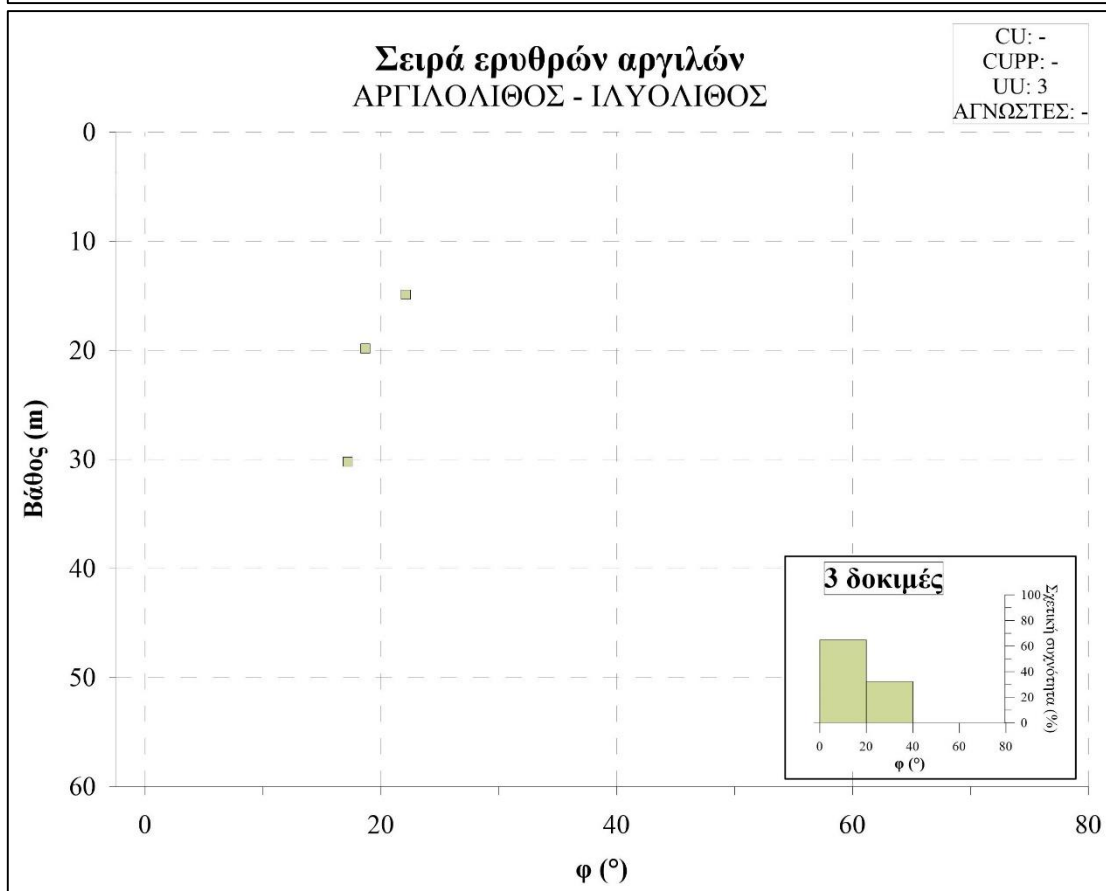
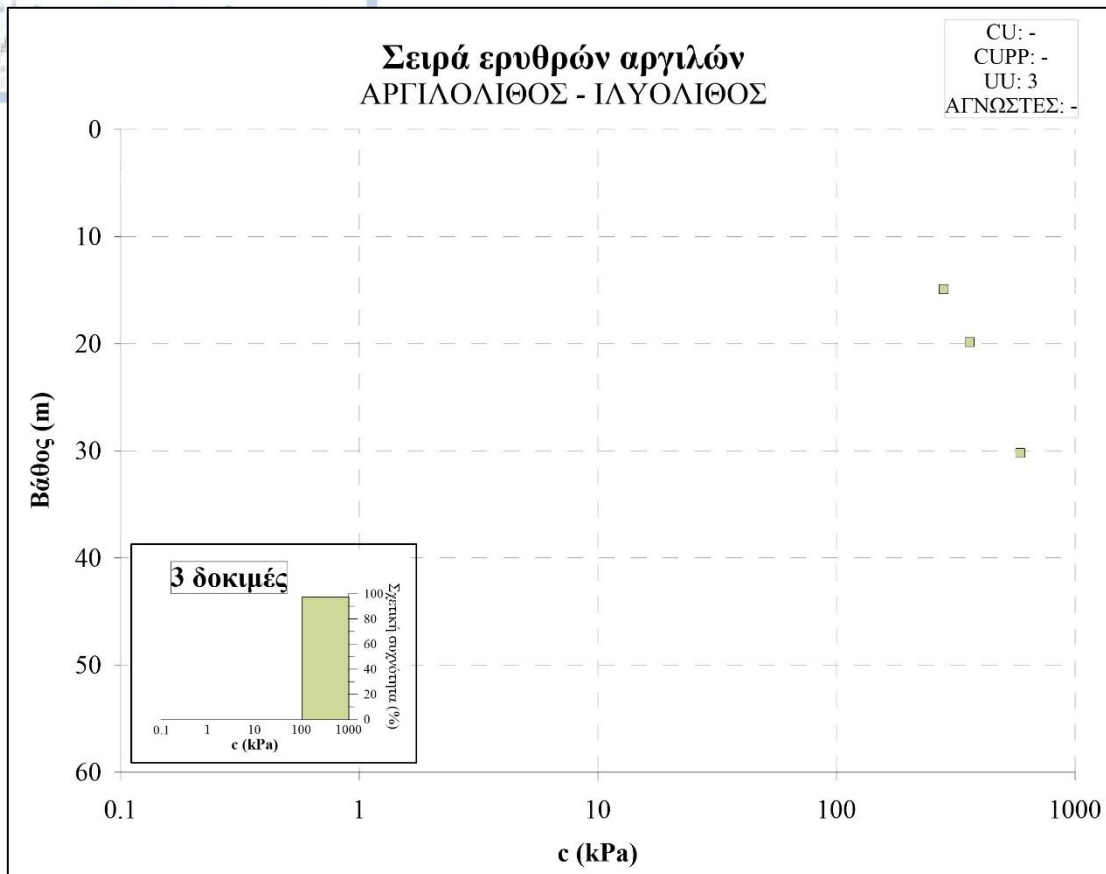






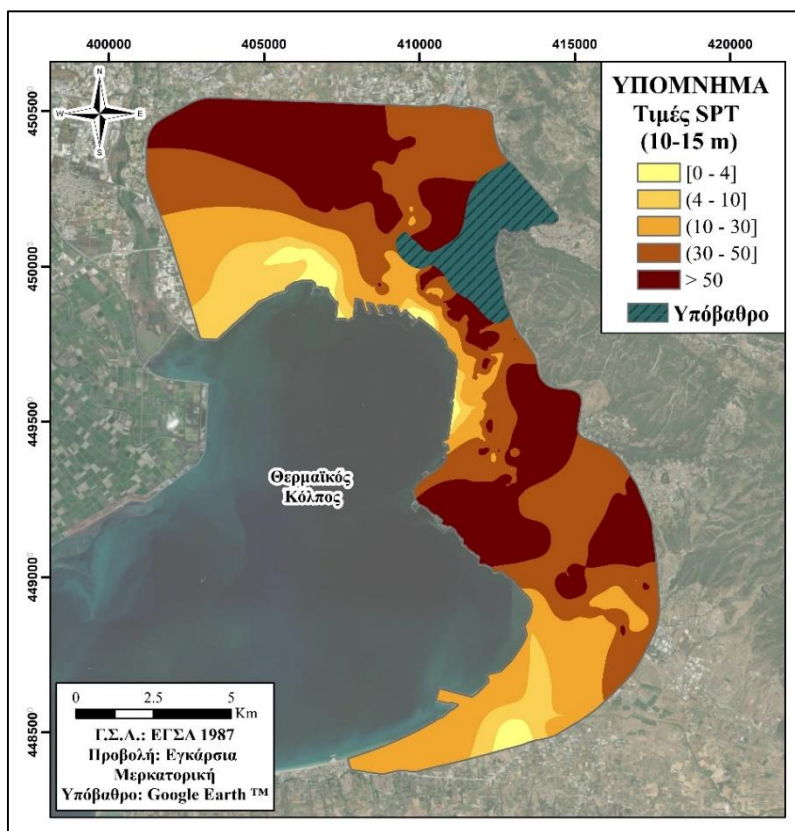
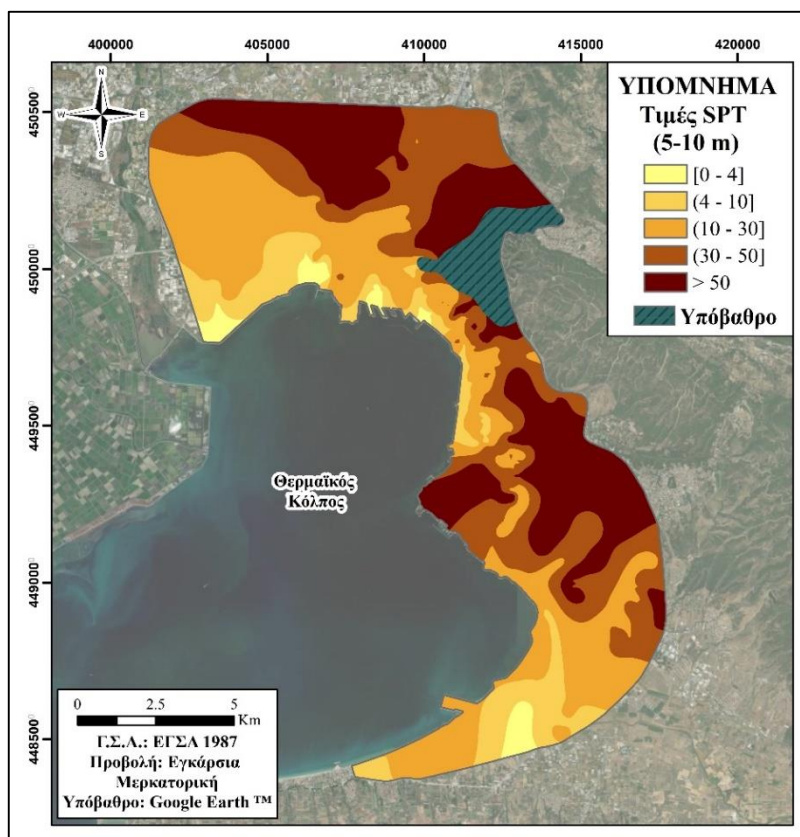


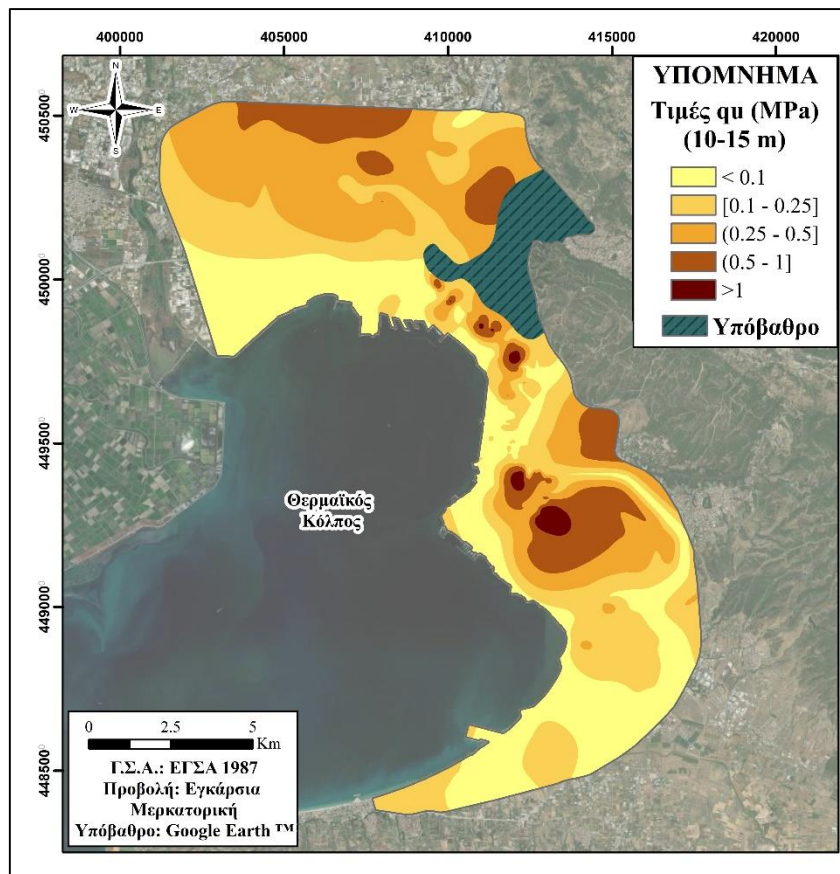
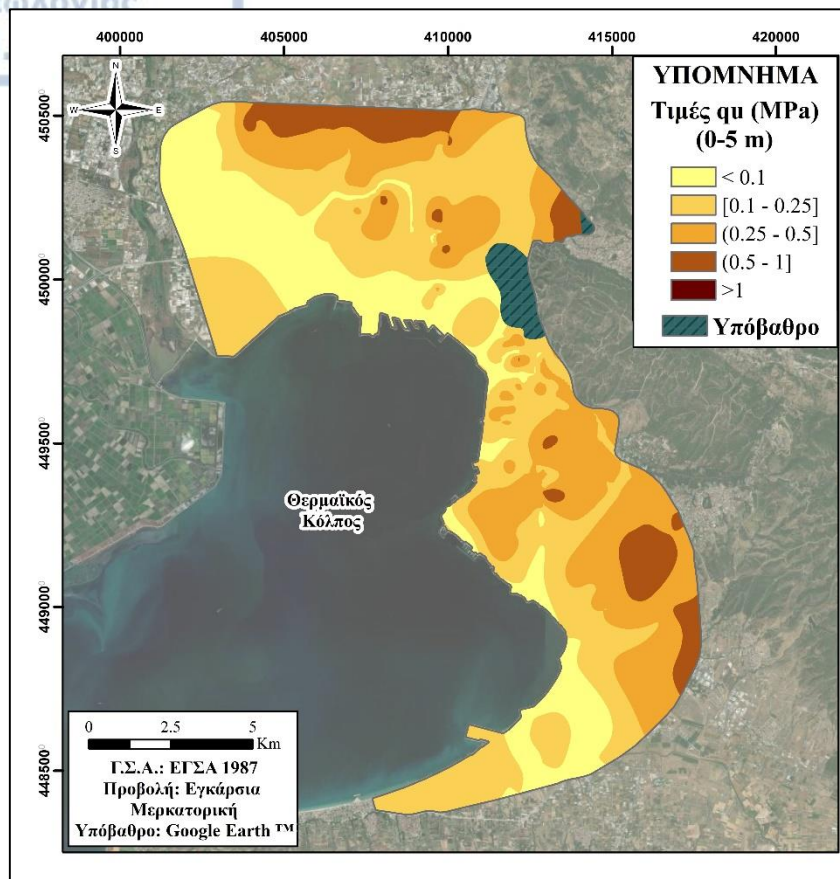


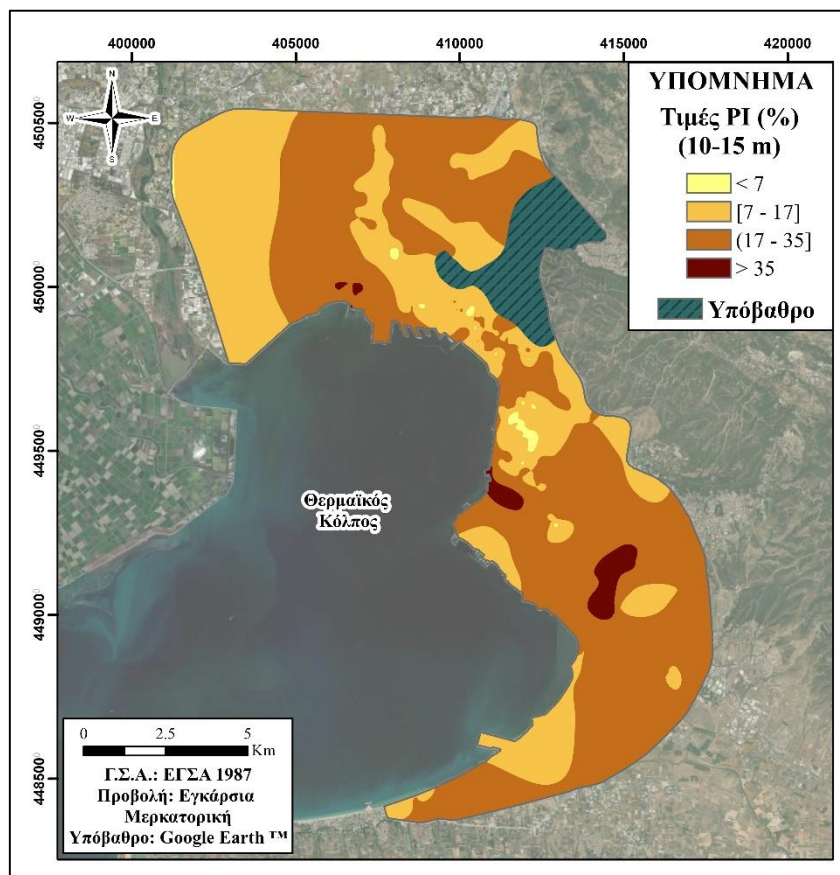
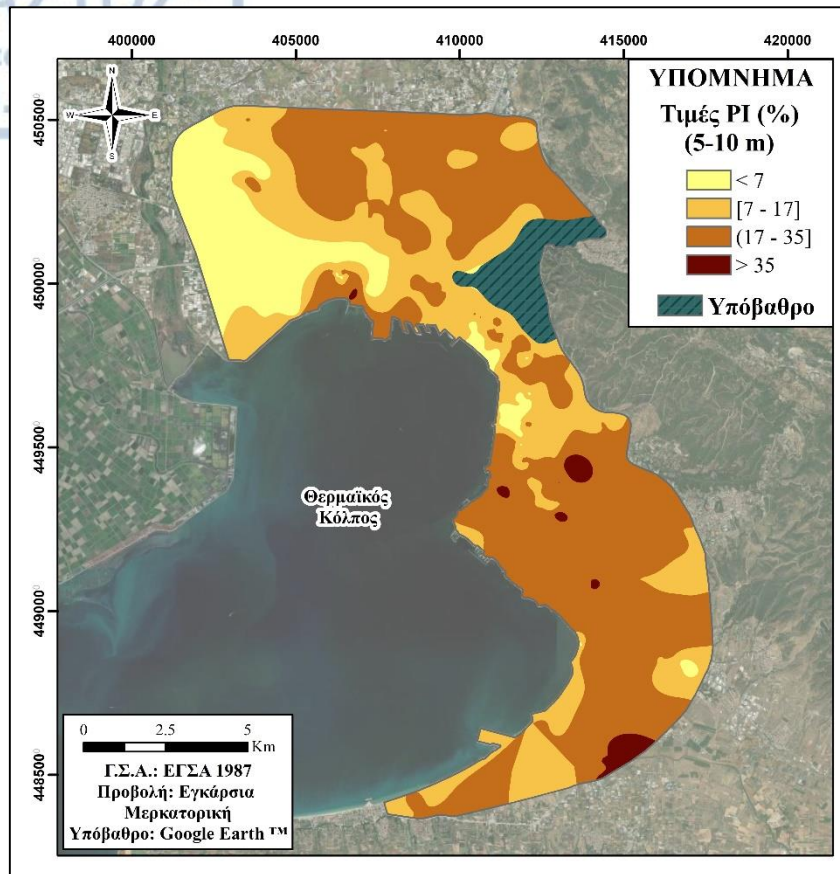


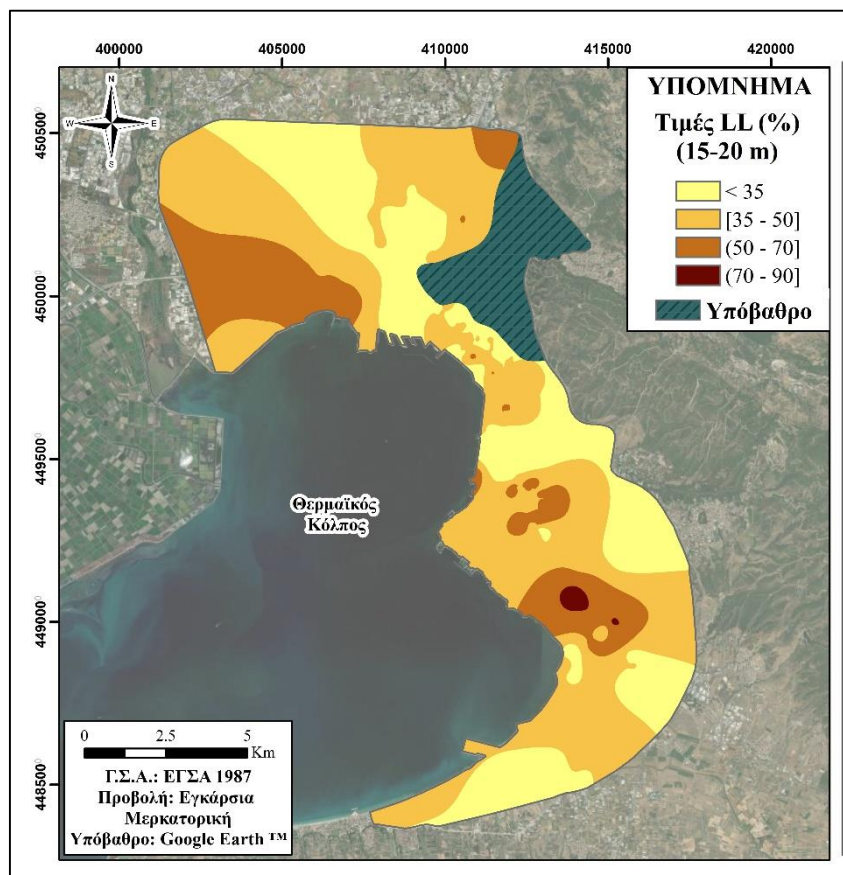
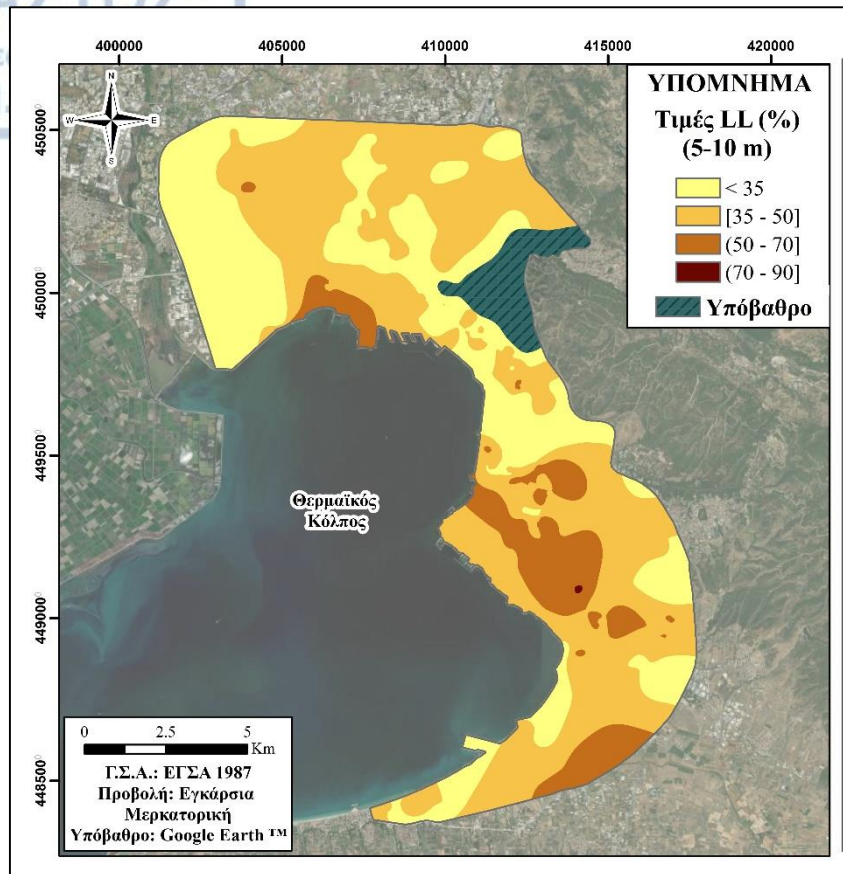
Παράρτημα IV:

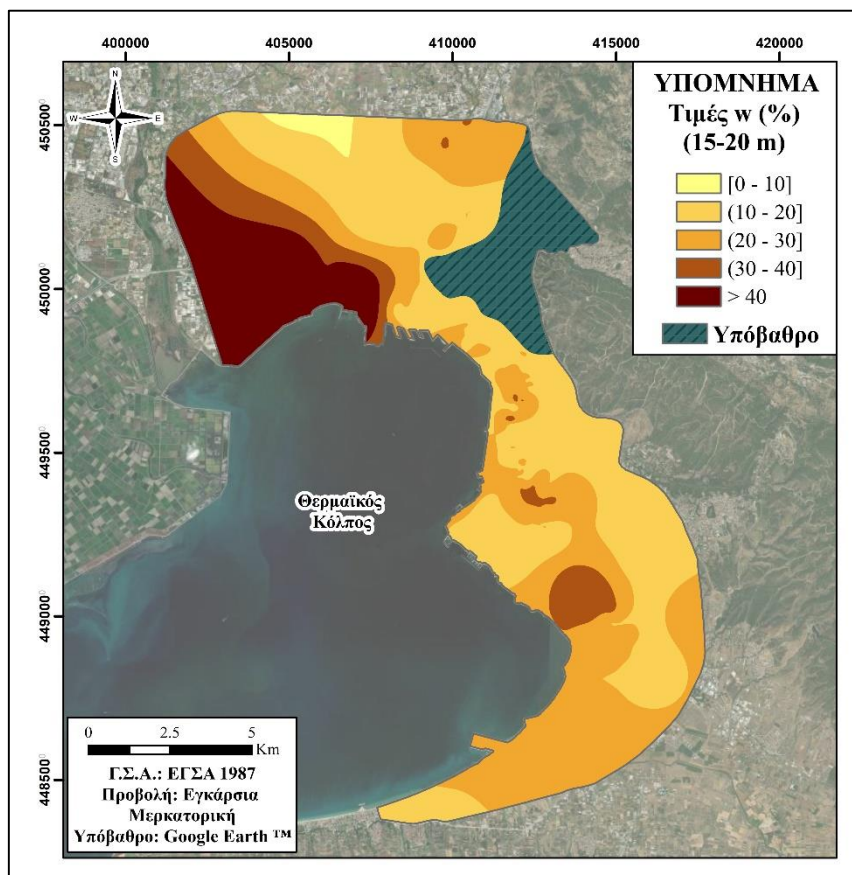
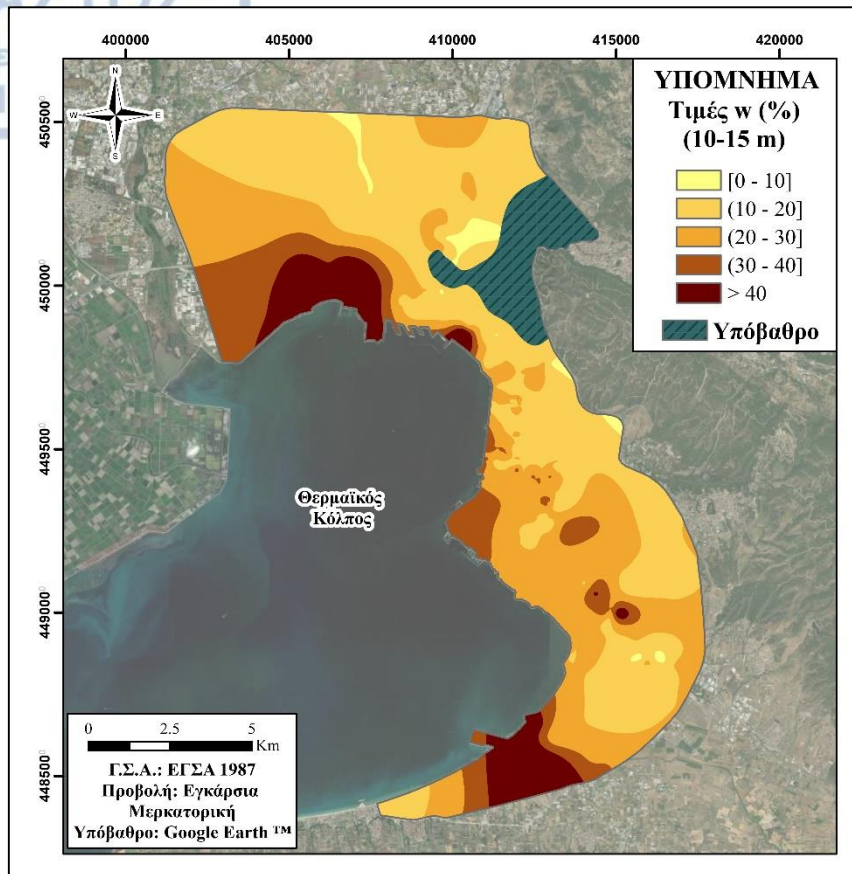
Χάρτες χωρικής κατανομής τιμών εξεταζόμενων τεχνικογεωλογικών παραμέτρων για τα διάφορα βάθη.

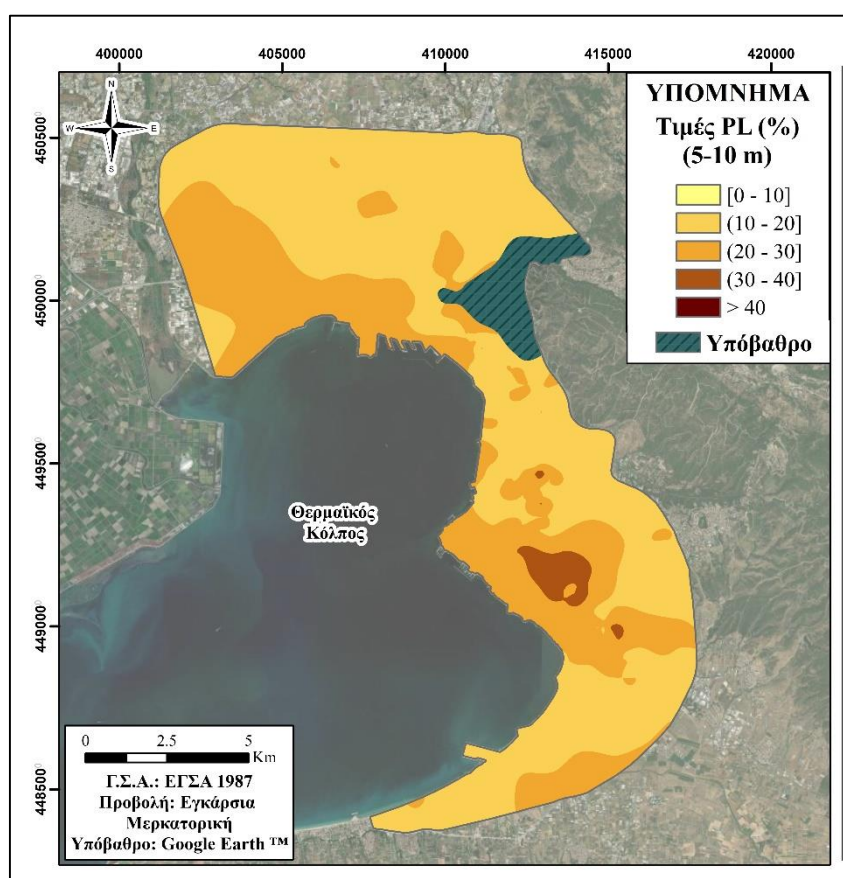
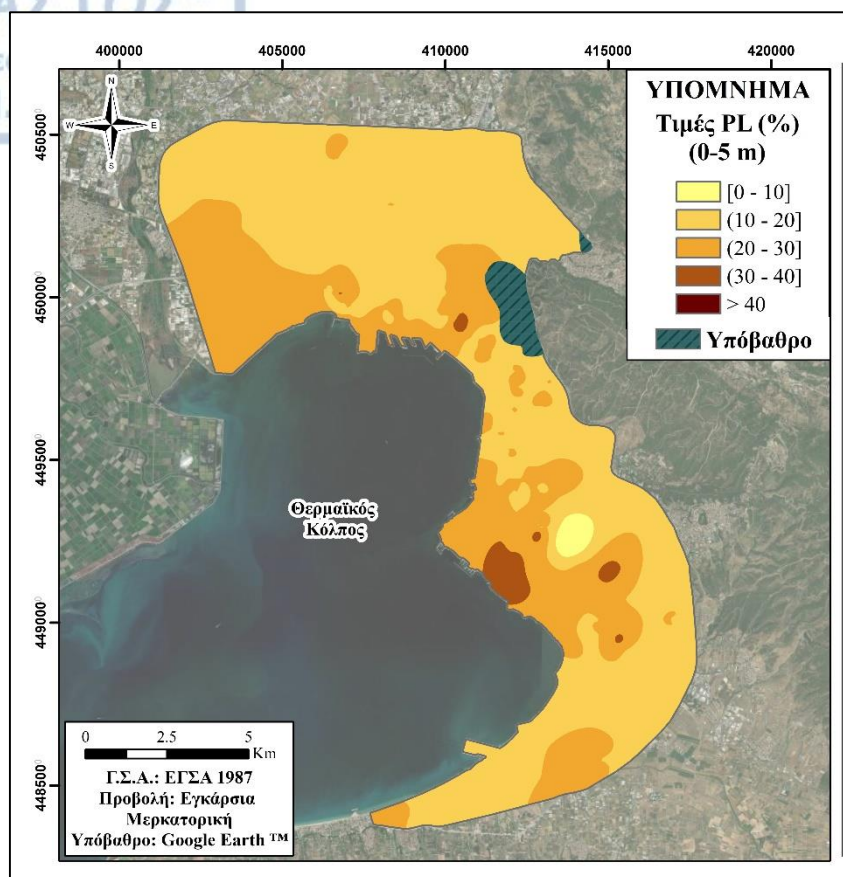


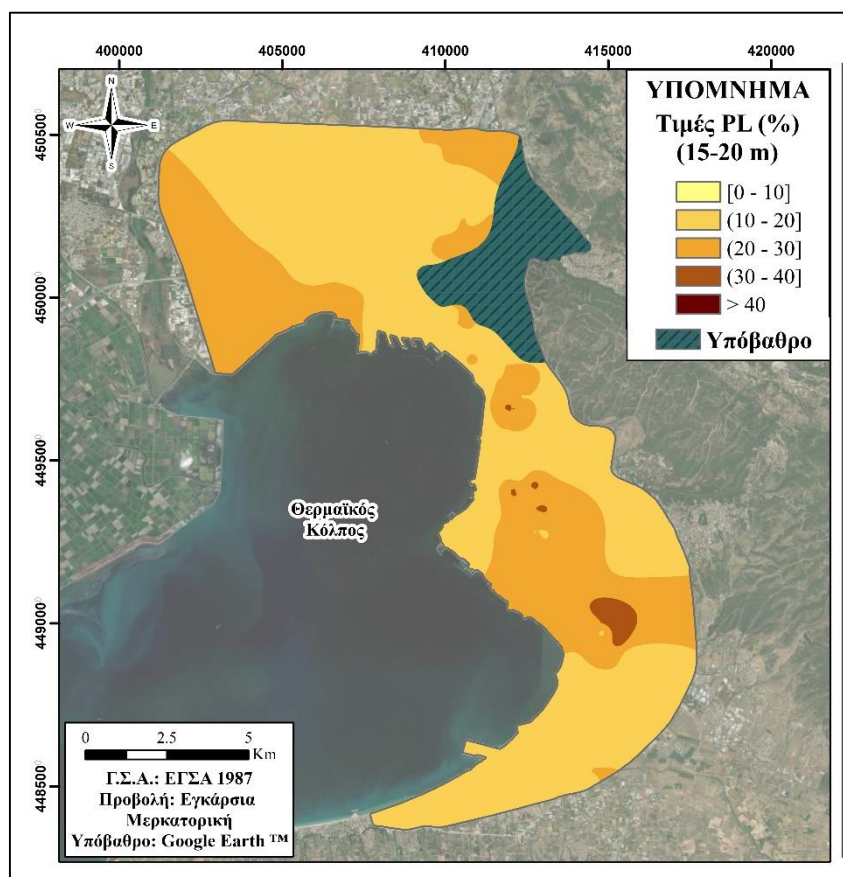
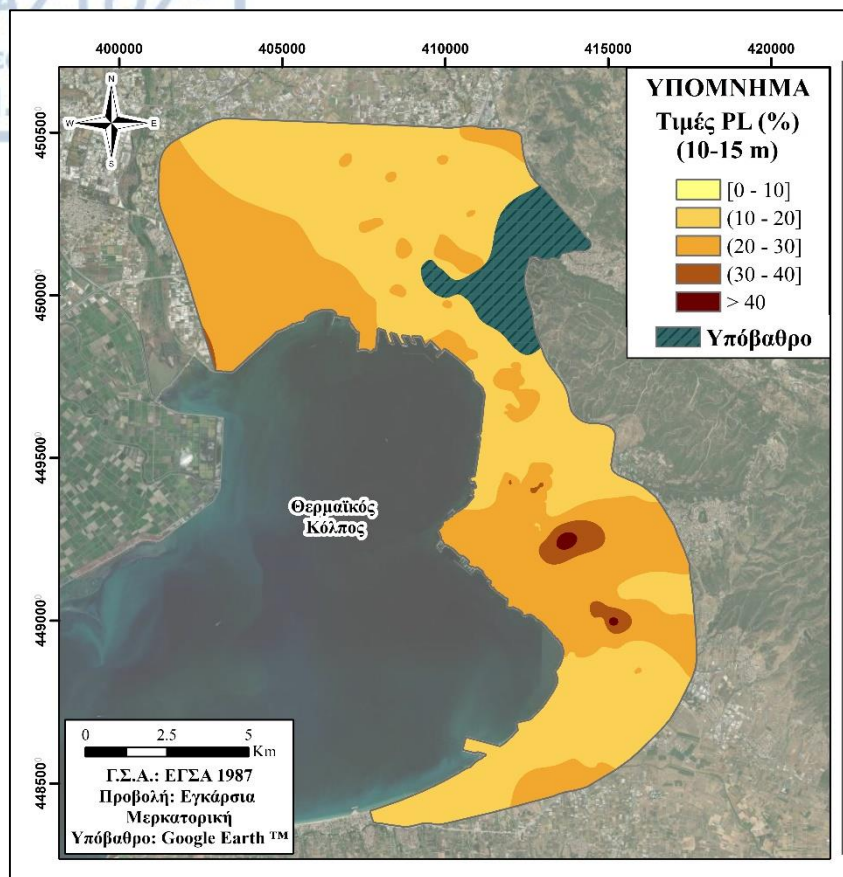


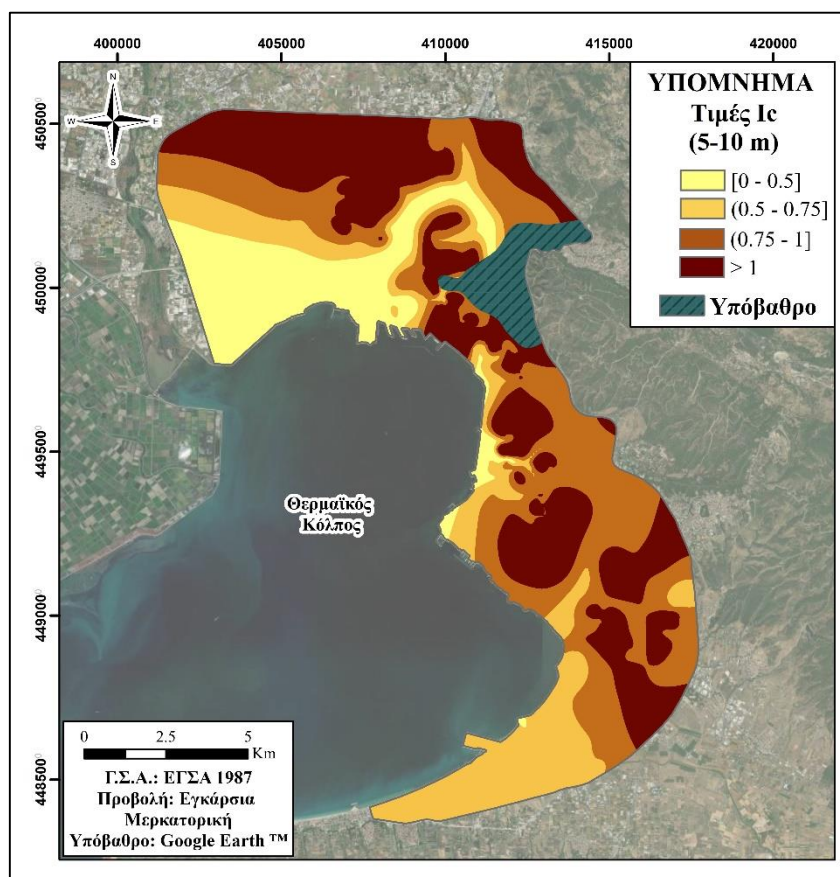
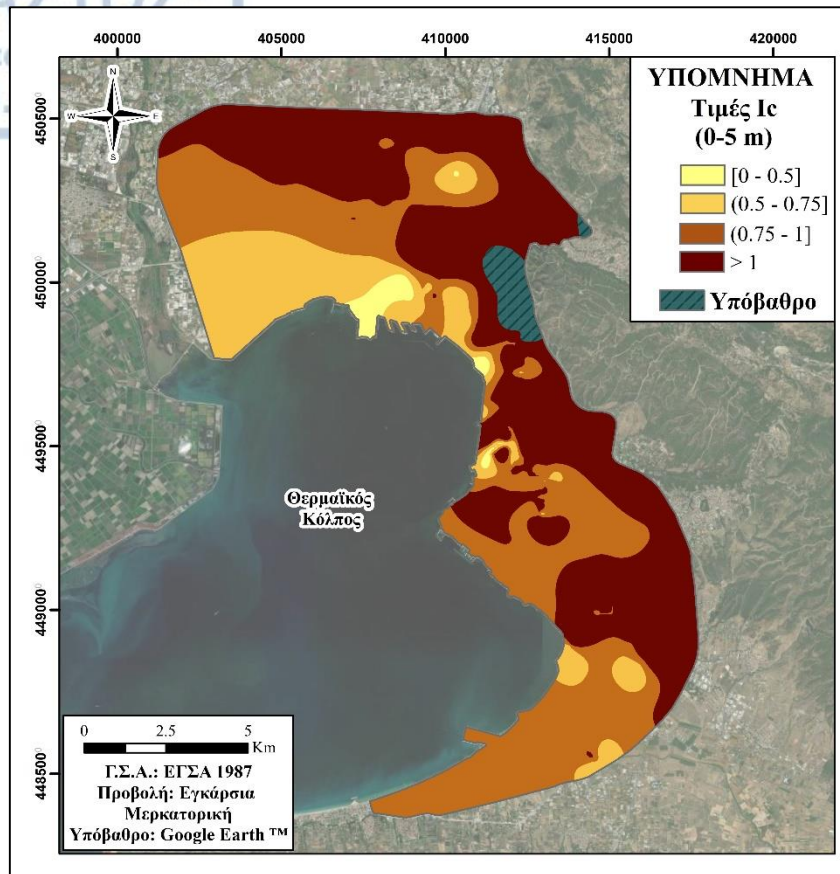


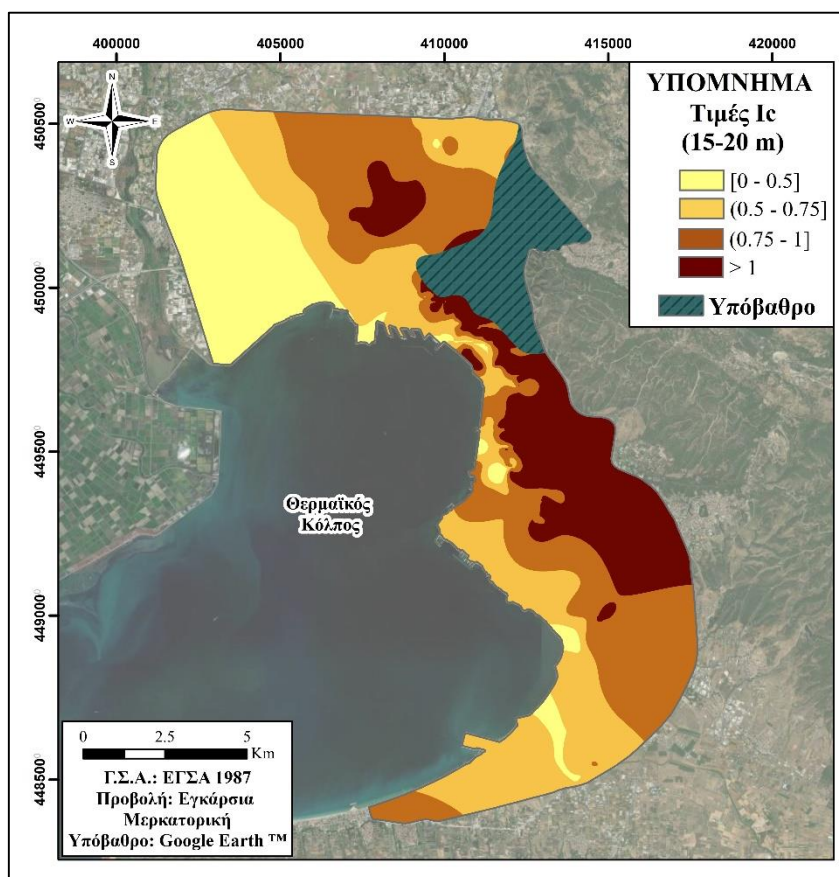
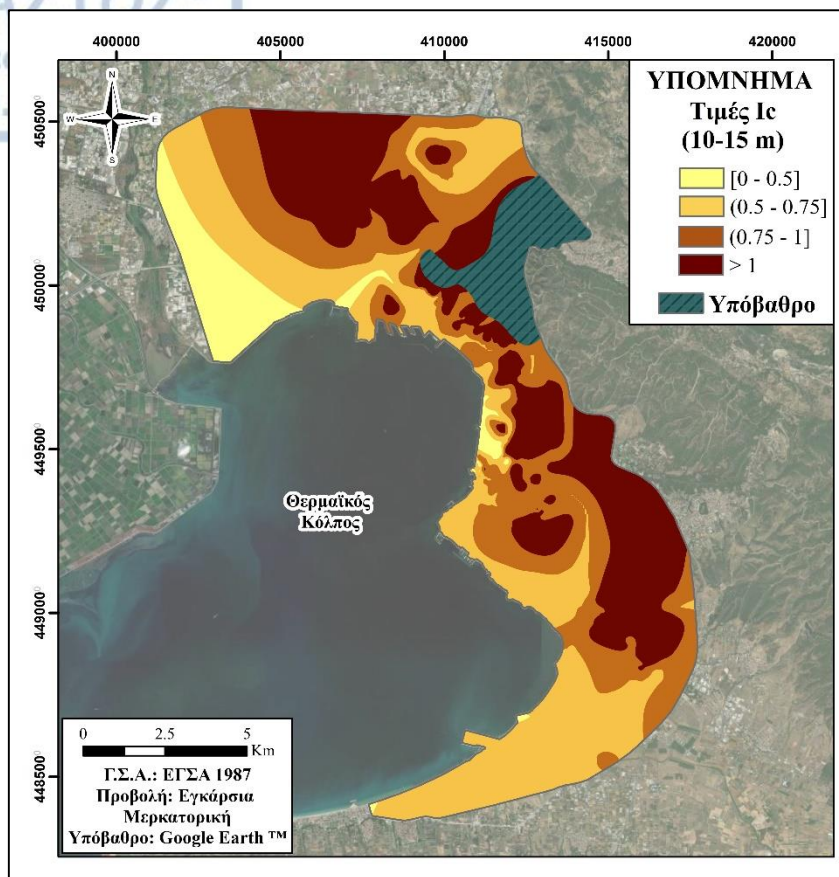


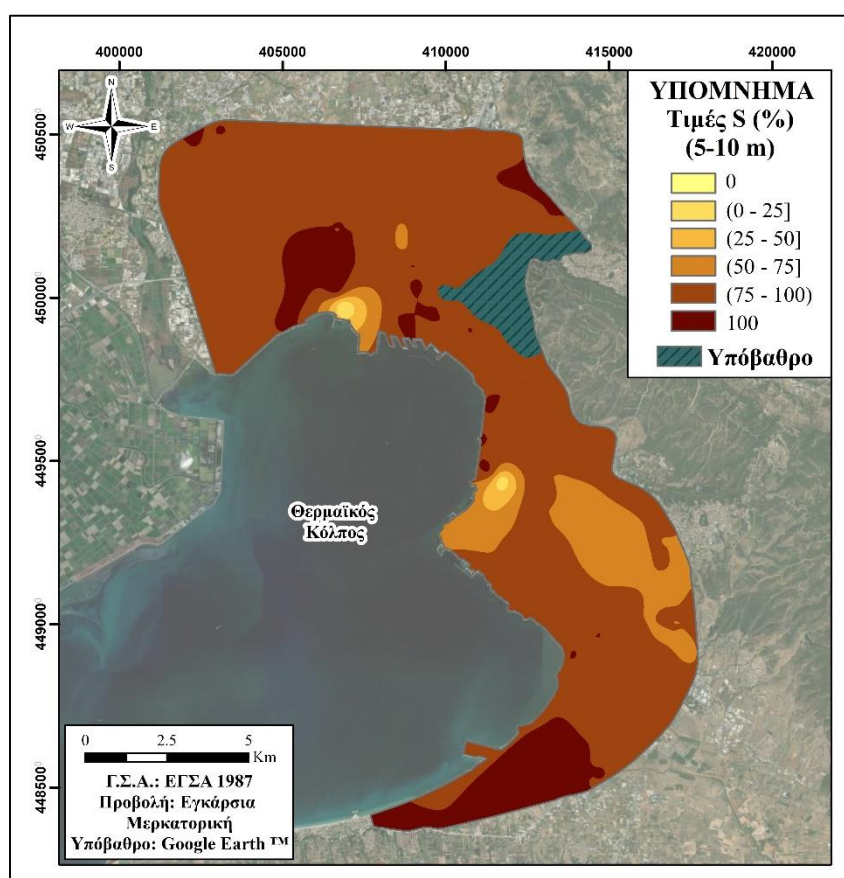
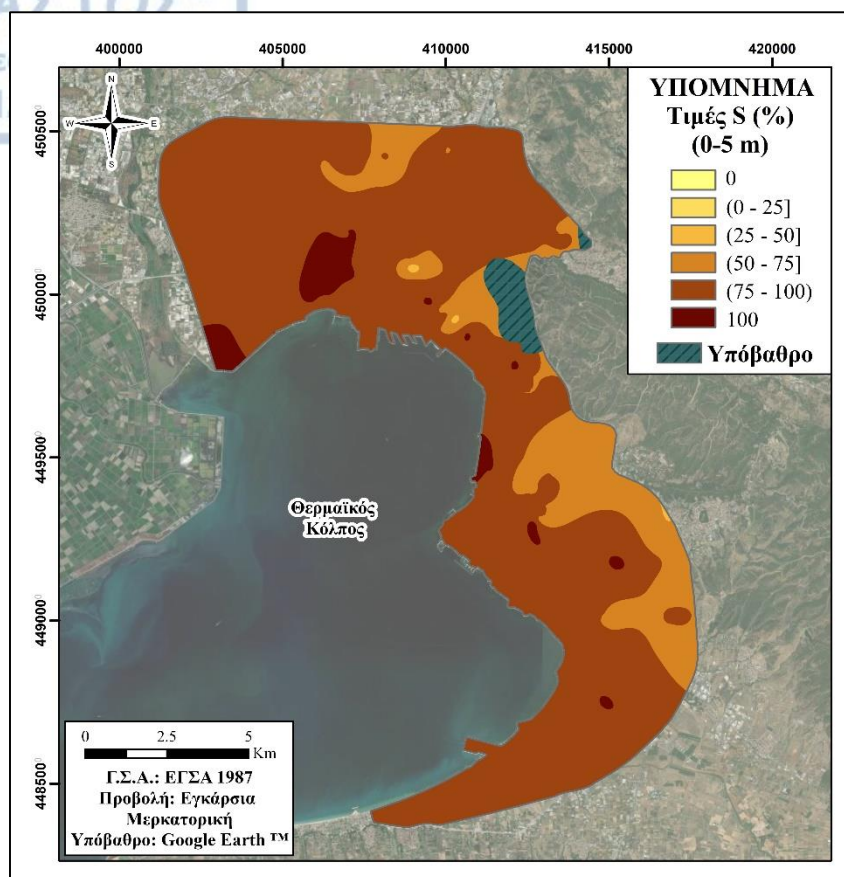


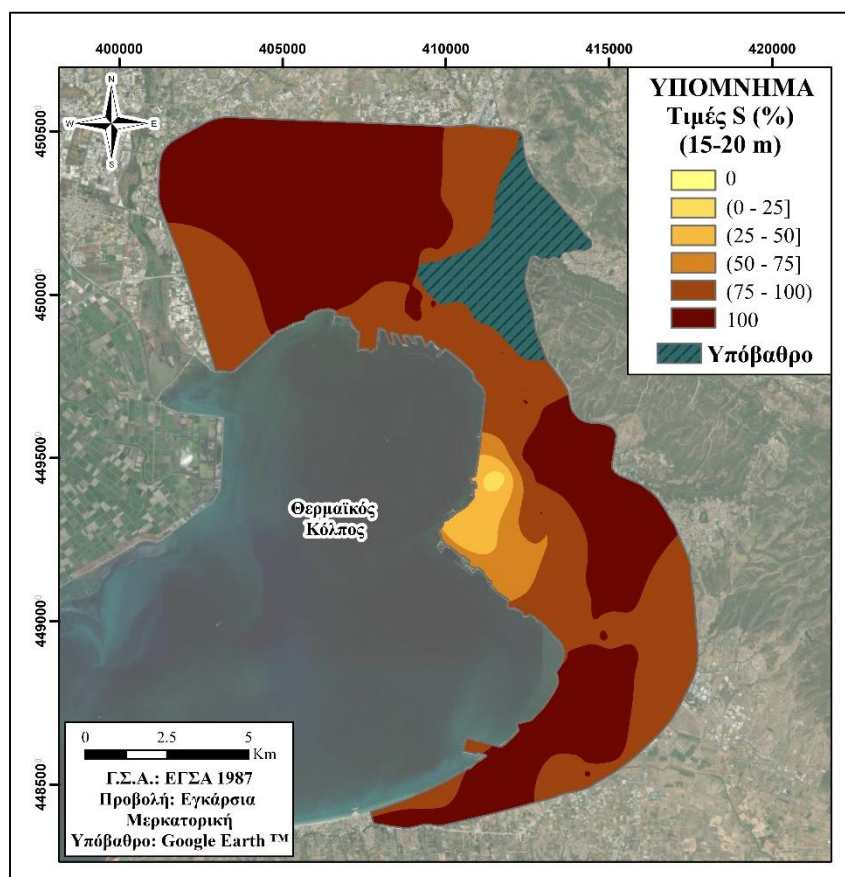
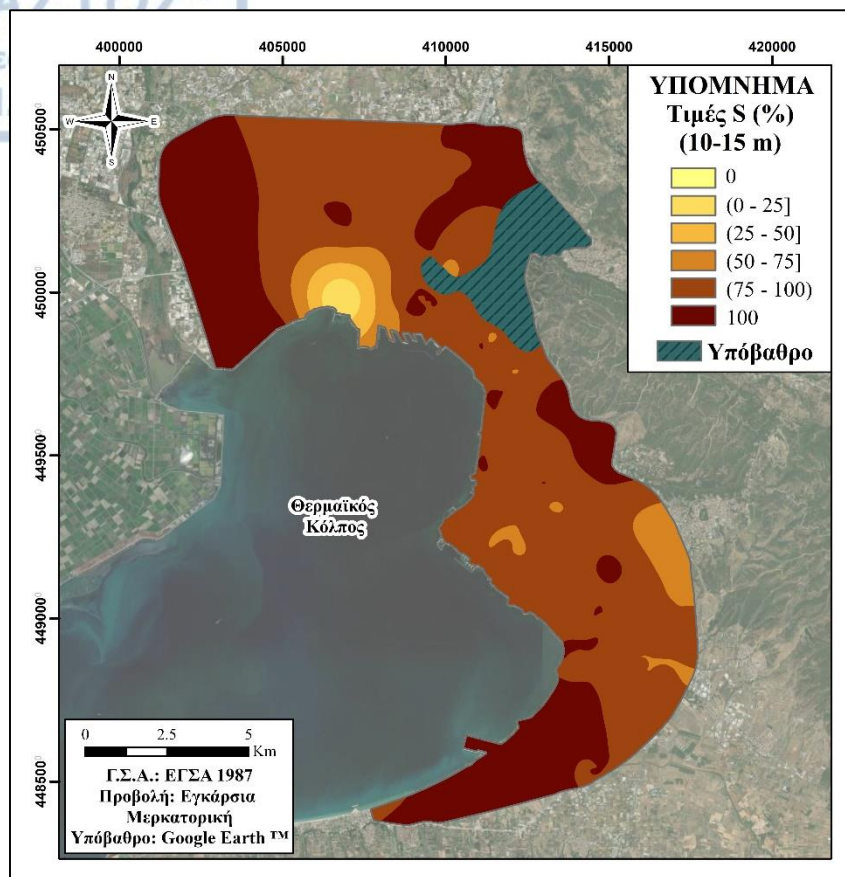


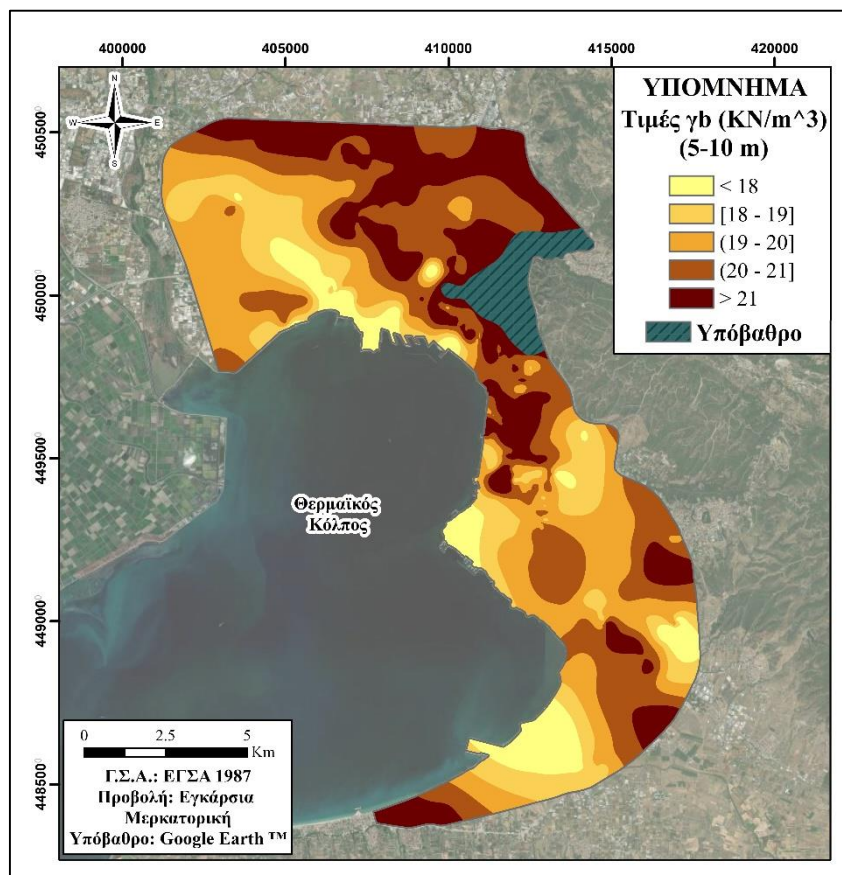
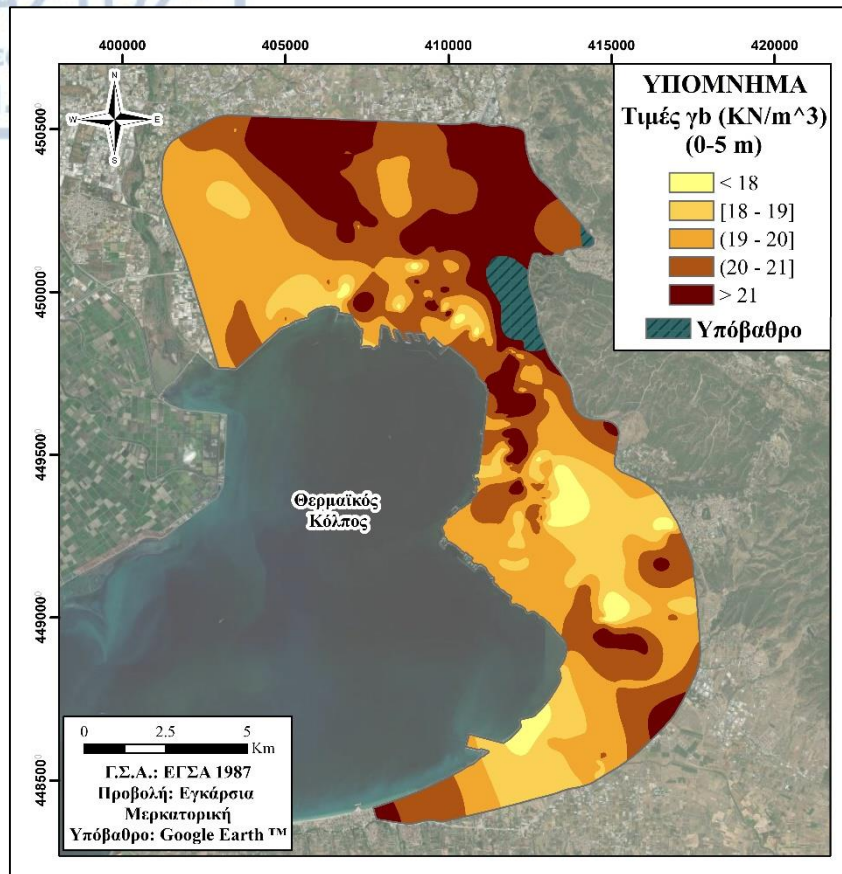


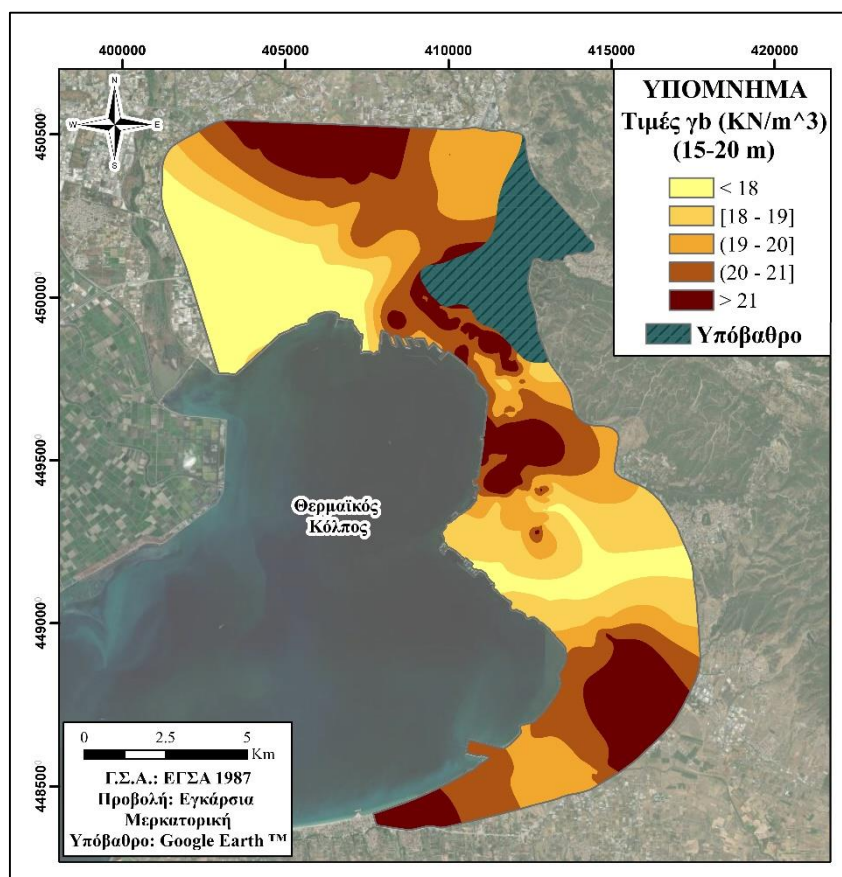
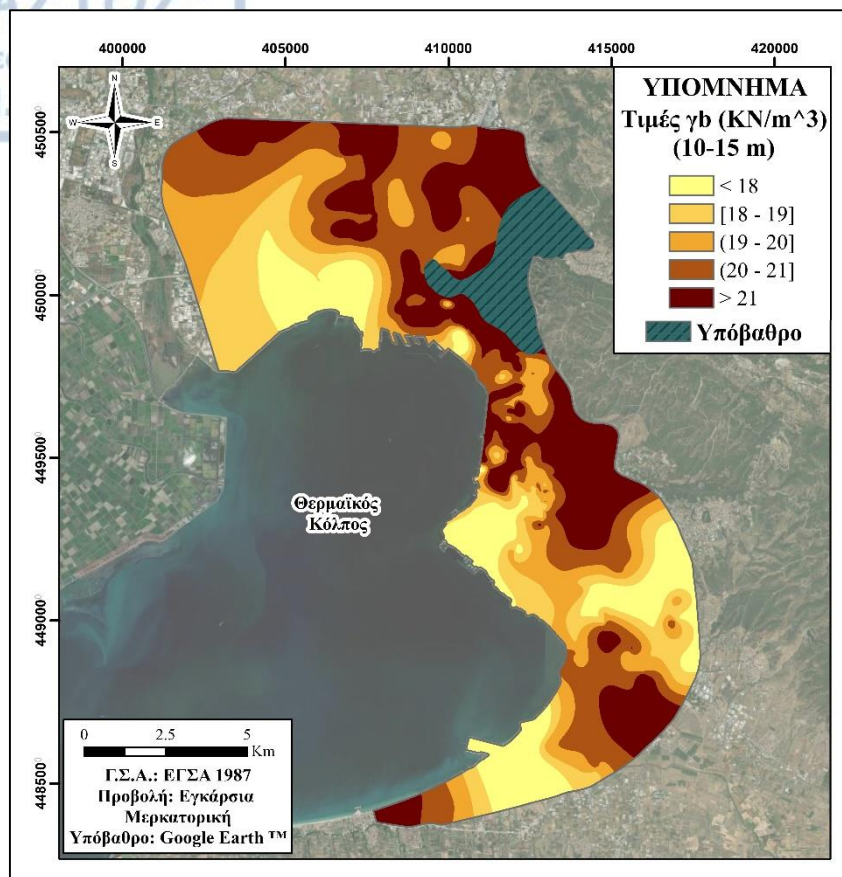


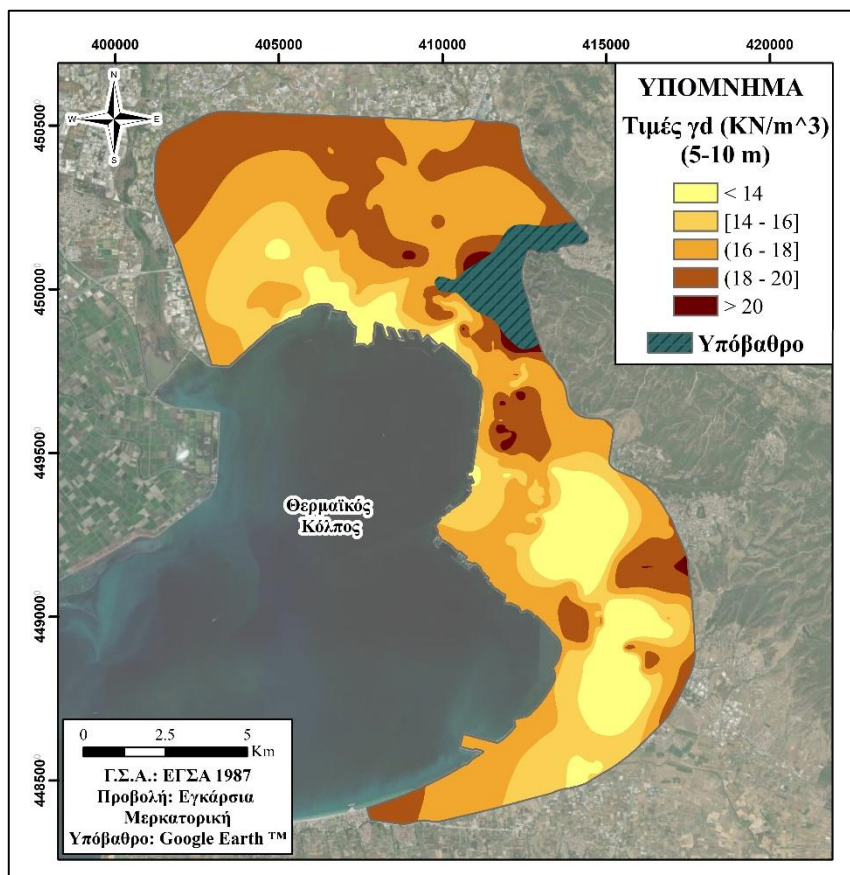
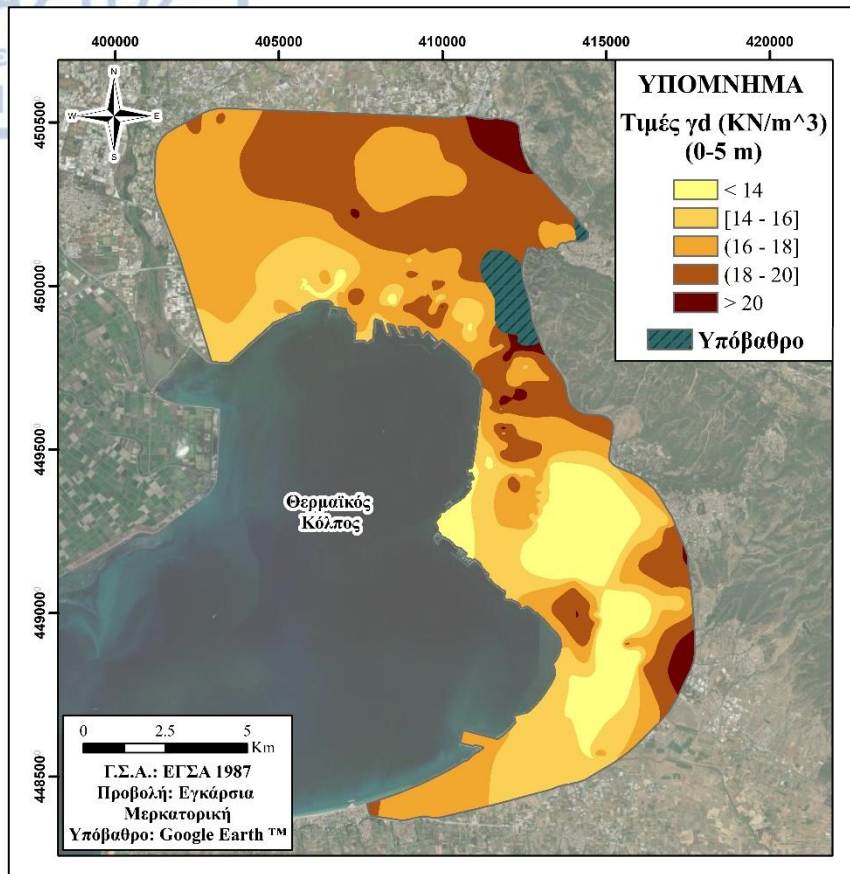


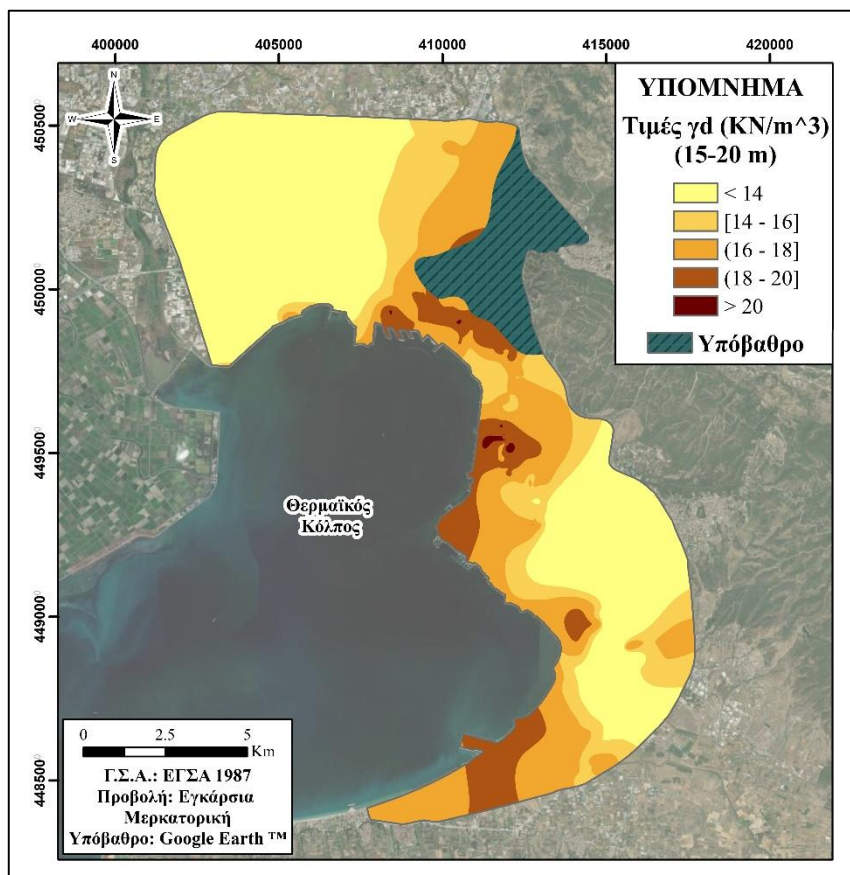
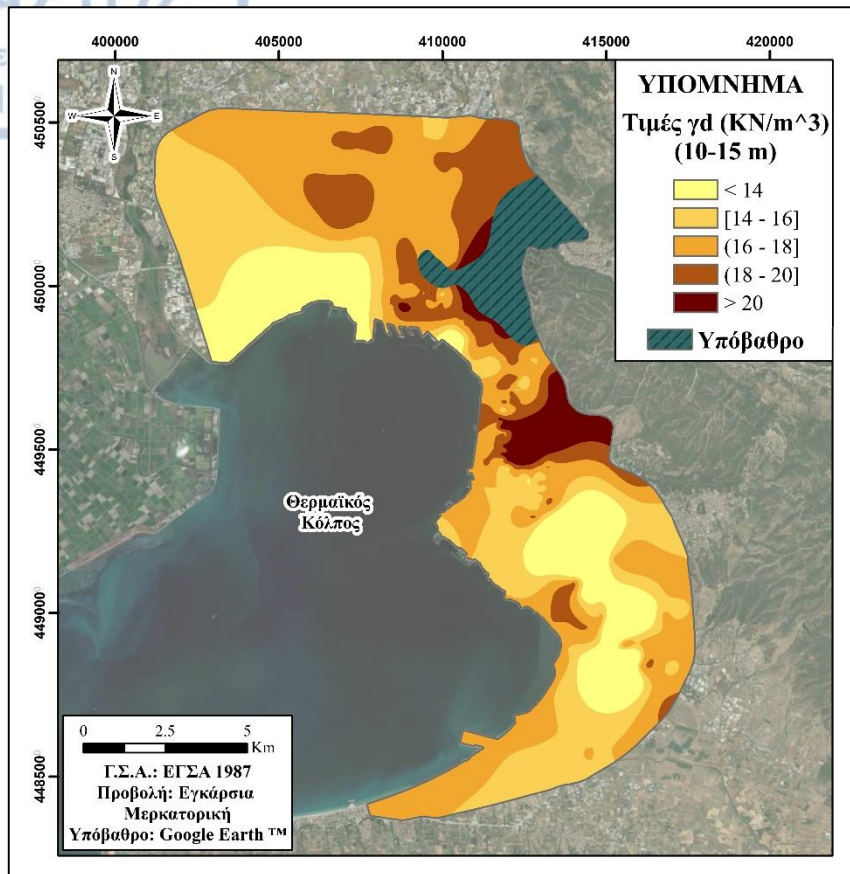












Παράρτημα V:

Ισοβαθείς χάρτες κατανομής τιμών εξεταζόμενων τεχνικογεωλογικών παραμέτρων.

