



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

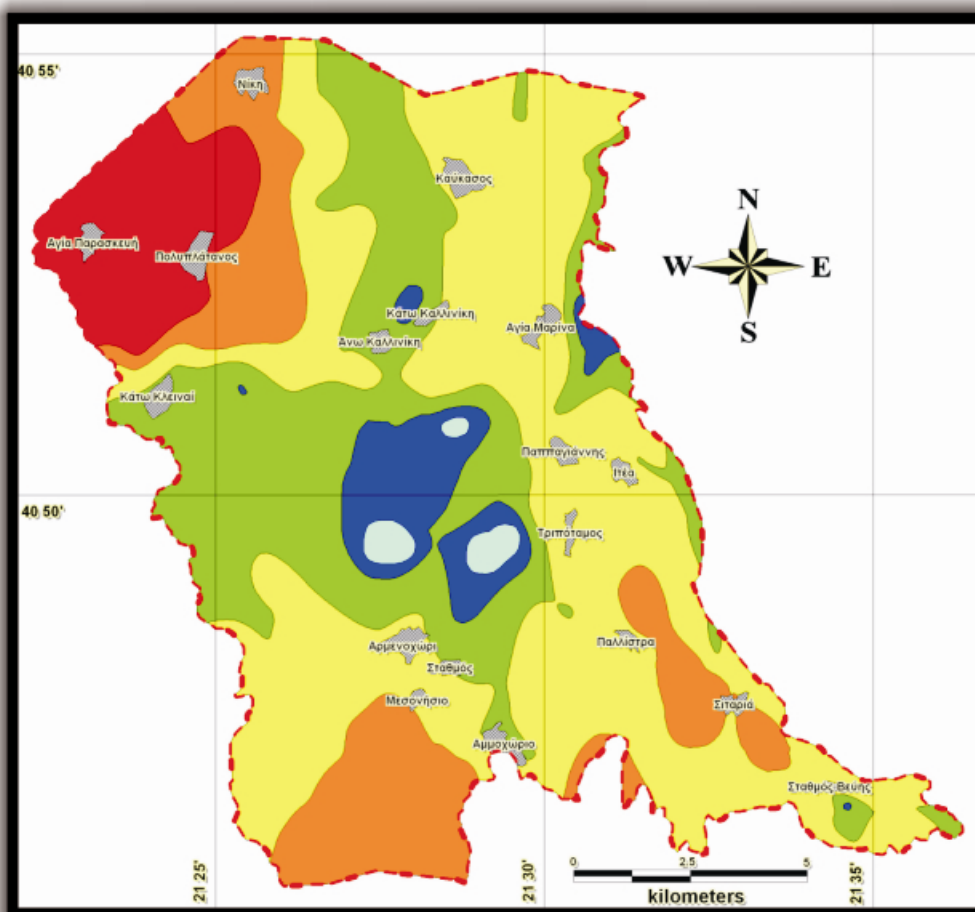


ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών :
“ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία”

Διατριβή Ειδίκευσης

**« ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗΝ
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ »**



ΝΕΡΑΝΤΖΗΣ ΑΘ.ΚΑΖΑΚΗΣ

Γεωλόγος
Υπότροφος Ι.Κ.Υ.

Θεσσαλονίκη 2008



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών :
“ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία”

Διατριβή Ειδίκευσης

**« ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗΝ
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ »**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ
ΜΕΛΟΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΜΕΛΟΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΟΥΛΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΝΕΡΑΝΤΖΗΣ ΑΘ.ΚΑΖΑΚΗΣ

Γεωλόγος
Υπότροφος Ι.Κ.Υ.

Θεσσαλονίκη 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2. ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	7
2.1. Εισαγωγή	7
2.2. Η έννοια της τρωτότητας	8
2.3. Εκτίμηση της τρωτότητας με βάση υδρογεωλογικά κριτήρια	12
2.4.1. Κυριότεροι μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας	16
2.4.1.1. Η μέθοδος AVI	17
2.4.1.2. Η μέθοδος GOD	19
2.4.1.3. Η μέθοδος DRASTIC	19
3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	23
3.1. Γεωγραφική θέση	23
3.2. Μορφολογία της περιοχής	25
3.3. Κλίμα	31
4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	33
4.1. Παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική θέση της Πελαγονικής	33
4.2. Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη και τεκτονική δομή της Πελαγονικής	34
4.3. Τεκτοορογενετική Εξέλιξη της Πελαγονικής	47
4.4. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας	50
4.5. Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης της Φλώρινας	55
4.6. Σεισμικότητα	57
5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	59
5.1. Γενικά	59
5.2. Υδρολιθολογία	59
5.3. Μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού-κατασκευή πειεζομετρικού χάρτη	62
5.4. Κατακρημνίσματα	65
6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC	67
6.1. Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού (D)	69

	Σελ.
6.2. Εμπλουτισμός (R).....	72
6.3. Υλικό Υδροφορέα (A).....	75
6.4. Έδαφος (S).....	78
6.5. Κλίση αναγλύφου (T).....	81
6.6. Επίδραση της ακόρεστης ζώνης (I).....	84
6.7. Υδραυλική Αγωγιμότητα (C).....	87
6.8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	90
7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ GOD	93
7.1. Εμφάνιση του υπογείου νερού (G).....	94
7.2. Λιθολογία των υπερκείμενων στρωμάτων (O)	97
7.3. Βάθος του υπόγειου νερού (D).....	100
7.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	103
8. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ AVI	106
9. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ (DRASTIC, GOD, AVI)	110
9.1. Ποιοτική και στατιστική μεταξύ των χαρτών τρωτότητας.....	110
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	123
11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	127
12. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	131

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Μετά από ενάμιση χρόνο παρουσίας μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών της Εφαρμοσμένης και Περιβαλλοντικής Γεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας ολοκληρώνω αυτή τη διαδρομή με την παρούσα εργασία. Το πιο δύσκολο κομμάτι αυτής της πορείας όσο παράξενο κι αν ακούγεται είναι ο πρόλογος της Διπλωματικής εργασίας. Μοιάζει σαν ένα στερνό αντίο με γλυκιά γεύση. Ένα αντίο που αφήνει πίσω τόσο ευχάριστες όσο και δυσάρεστες αναμνήσεις. Σίγουρα οι ευχάριστες στιγμές είναι πολύ περισσότερες και αποτελούν τα εφόδια για τη μετέπειτα σταδιοδρομία μου.

Η συμβουλή μου σ'αυτούς που ενδιαφέρονται να ασχοληθούν με την έρευνα είναι να ακολουθήσουν αυτό το δρόμο μόνο αν έχουν όρεξη να δημιουργήσουν από το μηδέν. Να εισάγουν καινούργιες ιδέες ώστε να εμπλουτίσουν και να βελτιώσουν τα προϋπάρχοντα κακώς κείμενα που θα συναντήσουν. Ακούγεται δύσκολο αλλά αν έχουν πίστη στον εαυτό τους είναι σίγουρο ότι θα πετύχουν. Τα παραπάνω όπλισαν και μένα με υπομονή και ταπεινότητα, στοιχεία που είναι απολύτως απαραίτητα για την υλοποίηση της Διατριβής μου και συνάμα την ολοκλήρωση του Π.Μ.Σ.

Τις ευχαριστίες θα ήθελα να τις ξεκινήσω από το φίλο και συνάδελφο Θανάση Παύλου τόσο για τη βοήθεια που μου έδωσε όσο και για τις συμβουλές του.

Ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου τους γονείς μου και την αρραβωνιαστικιά μου για την ανάλογη υπομονή και κατανόηση που έδειξαν όλο αυτό το διάστημα και έπαιξαν καταλυτικό ρόλο στην ολοκλήρωση αυτής της πορείας.

Ευχαριστώ το Κέντρο Περιβάλλοντος Κοζάνης για τη συνεργασία και τα στοιχεία που μου παρείχαν και ιδιαίτερα τη συνάδελφο Πατρικάκη Όλγα.

Σημαντικός παράγοντας για τη μέχρι τώρα επιστημονική μου κατάρτιση ήταν η άριστη συνεργασία που είχα με όλους τους καθηγητές του Π.Μ.Σ. Ιδιαίτερως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημόπουλο και κ. Σούλιο αφενός για την υπομονή και την κατανόηση που έδειξαν στο πρόσωπο μου καθώς πολλές φορές ήμουν επίμονος, αφετέρου για τις γνώσεις και την εμπειρία που μου μετέφεραν.

Για τον υπεύθυνο καθηγητή μου, τον κ. Βουδούρη, θα μπορούσα να γράψω πολλές σελίδες για τα χαρίσματα που έχει σαν άνθρωπος και σαν επιστήμονας, επειδή το έργο που προσφέρει καθημερινά μιλάει από μόνο του απλά θέλω να τον ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη που μου δείχνει καθημερινά, εμπιστοσύνη που την έχουν

ανάγκη όλοι οι νέοι επιστήμονες. Εύχομαι η άριστη συνεργασία που έχουμε να συνεχιστεί και στο μέλλον ώστε να έχω μία ανάλογη πορεία με τον καθηγητή μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (Ι.Κ.Υ.) για την υποτροφία που μου παρείχε και με στήριξε οικονομικά σε σημαντικό βαθμό σε αυτή την πορεία μου.

Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στη γιαγιά Δήμητρα που αφιέρωσε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής της για να με μεγαλώσει και να μου δώσει κάποιες αρχές. Αρχές που υπόσχομαι να τις τηρώ για το υπόλοιπο της ζωής μου και να τις μεταφέρω τόσο στους μαθητές μου όσο και στους ανθρώπους που έχω γύρω μου. Δυστυχώς η γιαγιά μου έφυγε περνώντας το δικό της Γολγοθά σε περιβάλλον που δεν αρμόζει σε κανέναν άνθρωπο. Είναι ευθύνη όλων μας να ανοίξουμε τα μάτια μας ώστε να δούμε τις συνθήκες που ζούν οι ηλικιωμένοι που είχαν την τύχη να αρρωστήσουν ή να μείνουν μόνη τους. Μπορεί κι εμείς να βρεθούμε στη θέση τους και τότε θα είναι αργά.

<< Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στη γιαγιά Δήμητρα που με καμαρώνει από ψηλά.... >>

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στον κλάδο Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία. Ο τίτλος της Διατριβής Ειδίκευση είναι : « ***Εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στην εξωτερική ρύπανση. Εφαρμογή στη λεκάνη της Φλώρινας*** ».

Η Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή αποτελείται από τον Επίκουρο Καθηγητή Κωνσταντίνο Βουδούρη, τον καθηγητή Γεώργιο Δημόπουλο και τον καθηγητή Γεώργιο Σούλιο, με επιβλέποντα τον κ. Κ. Βουδούρη.

Στην παρούσα εργασία γίνεται εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών του προσχωματικού υδροφορέα της λεκάνης Φλώρινας. Τα υπόγεια νερά της λεκάνης αυτής δέχονται μεγάλες πιέσεις, λόγω εντατικής γεωργίας και αλλαγών χρήσεων γης. Για την εκτίμηση της τρωτότητας στην εξωτερική ρύπανση, χρησιμοποιήθηκε η διεθνώς χρησιμοποιούμενη μέθοδος DRASTIC σε περιβάλλον GIS, η μέθοδος GOD και η μέθοδος AVI. Οι παραπάνω μέθοδοι εκτιμούν τον κίνδυνο προς ρύπανση των υπόγειων νερών ενός υδροφορέα από εξωτερικά ρυπαντικά φορτία, χρησιμοποιώντας υδρογεωλογικές, εδαφολογικές και υδραυλικές παραμέτρους. Με βάση τις τιμές των δεικτών DRASTIC, GOD και AVI κατασκευάστηκαν τρεις διαφορετικοί χάρτες τρωτότητας, όπου διακρίνονται περιοχές πολύ χαμηλής, χαμηλής, μέσης, υψηλής και πολύ υψηλής τρωτότητας στη ρύπανση των υπόγειων νερών του υδροφορέα της λεκάνης Φλώρινας. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τριών μεθόδων. Ο χάρτης τρωτότητας μπορεί να αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο για τη χάραξη ζωνών προστασίας, το σχεδιασμό χρήσεων γης και τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Είναι ένα εργαλείο που δεν μπορεί αντικαταστήσει σε καμία περίπτωση την έρευνα πεδίου, αλλά είναι ένας γενικός οδηγός για τους επιστήμονες, τους διοικητικούς και τους διαχειριστές νερών.

Για την υλοποίηση της παρούσας Διατριβής Ειδίκευσης, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες :

- Συλλογή ελληνικών και διεθνών εργασιών με κύριο γνωστικό αντικείμενο την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση. Συλλογή

προγενέστερων μελετών και εργασιών που αφορούσαν τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης της Φλώρινας.

- Συλλογή λιθολογικών τομών από προϋπάρχουσες γεωτρήσεις, υδρολογικών δεδομένων, μετεωρολογικών δεδομένων, γεωλογικών και τοπογραφικών χαρτών καθώς και χάρτες κατανομής εδαφών της ευρύτερης περιοχής έρευνας.
- Συλλογή ψηφιακού υλικού : δορυφορικών εικόνων, ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου (SRTM) και αεροφωτογραφιών της περιοχής.
- Επεξεργασία των συλλεχθέντων στοιχείων για το σχεδιασμό των εργασιών πεδίου.
- Απογραφή υδρογεωτρήσεων και πηγαδιών στην εξεταζόμενη περιοχή, προσδιορισμός της θέσης τους με GPS, λήψη φωτογραφιών από την περιοχή μελέτης και μετρήσεις στάθμεων του υπόγειου νερού.
- Ψηφιοποίηση γεωτρητικών, γεωλογικών, τοπογραφικών, μετεωρολογικών και λιθολογικών δεδομένων με τη χρήση των παρακάτω προγραμμάτων: Map Info Professional v. 8.0, Arc Map v. 9.2 και Global Mapper v. 7.4 για τη σύνταξη των θεματικών χαρτών, Microsoft Excel για την επεξεργασία των μετεωρολογικών-υδρολογικών δεδομένων καθώς και για τους συσχετισμούς, Corel Draw 11 για την επεξεργασία φωτογραφιών, εικόνων και χαρτών, Google Earth για τη λήψη δορυφορικών εικόνων και Coord GR 1.6 για τη μετατροπή συντεταγμένων.
- Παραγωγή των θεματικών χαρτών και των τελικών χαρτών τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση.

2. ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.1. Εισαγωγή

Η ανάγκη εκτίμησης της τρωτότητας και επικινδυνότητας μιας περιοχής όσο αφορά διάφορα φαινόμενα και ιδιαίτερα φυσικές καταστροφές (ρύπανση υπόγειου νερού, πλημμύρες, διάβρωση εδαφών, κτλ.) υπήρχε από πολύ παλιά αλλά άρχισε να εφαρμόζεται σαν πρακτική στην δεκαετία του 60 με την ισχυροποίηση των υπολογιστών και την εμφάνιση εξειδικευμένου λογισμικού χαρτογραφίας (Dixon, 2005). Αρχικά εφαρμόστηκε για την εκτίμηση επικινδυνότητας ρύπανσης του υπόγειου νερού και μετέπειτα εξαπλώθηκε σε άλλες διεργασίες με έμφαση τις φυσικές καταστροφές (σεισμούς, πλημμύρες, διάβρωση εδαφών, κ.λπ.). Η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η εκτίμηση της τρωτότητας είναι η ταξινόμηση των μοναδιαίων τμημάτων της υπό μελέτη περιοχής σε κατηγορίες τρωτότητας ως προς την εξεταζόμενη παράμετρο (πολύ υψηλή, υψηλή, μέτρια, χαμηλή και πολύ χαμηλή). Η ταξινόμηση αυτή γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες που διαμορφώνουν και επηρεάζουν την διεργασία που αποτιμάται και δίδοντας σχετικούς συντελεστές βαρύτητας σε αυτούς. Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιείται συνήθως σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) από όπου παράγονται θεματικοί χάρτες για κάθε μια παράμετρο που εξετάζεται. Η αλγεβρική συνένωση των θεματικών χαρτών και η κατάλληλη κατηγοριοποίηση τιμών βαρύτητας δίδει τον χάρτη τρωτότητας για την εξεταζόμενη διεργασία. Οι σύγχρονες επιστημονικές, διαχειριστικές αλλά και νομοθετικές πρακτικές επιβάλλουν την εκτίμηση τρωτότητας σαν μια σημαντική προσέγγιση για την αποτελεσματικότερη διαχείριση και προστασία του ανθρωπογενούς και φυσικού περιβάλλοντος.

2.2. Η έννοια της τρωτότητας

Τρωτότητα ή ρυπαντική επιδεκτικότητα ή ευαλωσιμότητα (vulnerability) υπόγειων νερών ή υδροφορέων είναι η ευαισθησία ή η επιδεκτικότητα απέναντι στους ρύπους. Η έννοια της τρωτότητας βασίζεται στην παραδοχή ότι το φυσικό περιβάλλον μπορεί να προστατεύσει σε κάποιο βαθμό το υπόγειο νερό. Συνεπώς κάποιες περιοχές είναι πιο ευάλωτες από κάποιες άλλες.

Η έννοια της τρωτότητας εισήχθη για πρώτη φορά από τον **Margat** το 1968 στη Γαλλία για να εκφράσει τον βαθμό προστασίας που προσφέρει το φυσικό περιβάλλον εναντίον της ρύπανσης των υπόγειων νερών. Οι βασικές παράμετροι που έλαβε υπόψη ο Margat ήταν το βάθος του υπόγειου νερού, η διαπερατότητα, η ταχύτητα του υπόγειου νερού και η σχέση υπόγειων και επιφανειακών νερών.

Έκτοτε ο ορισμός της τρωτότητας άλλαξε. Οι **Olmer & Rezac** (1974) ορίζουν την τρωτότητα «ως τον βαθμό έκθεσης των υπόγειων νερών σε κίνδυνο υποβάθμισης από φυσικές ουσίες». Οι **Villumsen et al.** (1983) θεωρούν την ποιότητα των υπόγειων νερών ως δείκτη τρωτότητας και δίνει έμφαση στη δυναμική των διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν αυτή. Οι **Bachmat & Collin** (1987) όρισαν την τρωτότητα ως «την ευαισθησία της ποιότητας των υπόγειων νερών σε επιπτώσεις από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως καταδεικνύεται από τις αλλαγές της ποιότητας των υπόγειων νερών». Βέβαια, όπως προκύπτει παρακάτω, οι έννοιες ευαισθησία και τρωτότητα δεν ταυτίζονται, αν και υπάρχει κάποια σύγχυση στη βιβλιογραφία όσον αφορά στη χρήση τους.

- **Ευαισθησία** του υδροφορέα (aquifer sensitivity) είναι η ευκολία με την οποία ένας ρύπος μεταναστεύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφορέα και είναι χαρακτηριστικό των γεωλογικών συνθηκών, της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης και ανεξάρτητη των χρήσεων γης και των χαρακτηριστικών του ρύπου.
- **Η τρωτότητα** σχετίζεται με την ευκολία με την οποία ένας ρύπος, που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να φθάσει στον υδροφορέα κάτω από συγκεκριμένες πρακτικές διαχείρισης των χρήσεων γης σε μια περιοχή, με καθορισμένα χαρακτηριστικά του ρύπου και της ευαισθησίας του υδροφορέα.

Έτσι η τρωτότητα του υπόγειου νερού είναι συνάρτηση τόσο των χαρακτηριστικών του υδροφορέα, όσο και της απόστασης από την πηγή ρύπανσης, των χαρακτηριστικών του ρύπου και άλλων παραγόντων που μπορεί πιθανά να αυξήσουν το ρυπαντικό φορτίο του συγκεκριμένου ρυπαντή.

Η τρωτότητα διακρίνεται σε : **ειδική** (specific) που αναφέρεται σε συγκεκριμένο ρυπαντή ή ομάδα ρυπαντών και σε **γενική** ή **ιδιοτρωτότητα** (intrinsic) που σχετίζεται αποκλειστικά με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και του υπερκείμενου εδάφους, χωρίς εξειδίκευση σε κάποιο ρυπαντή.

Με βάση τους ανωτέρω ορισμούς προκύπτει ότι, η τρωτότητα δεν ταυτίζεται με την ευαισθησία (τρωτότητα $\neq$ ευαισθησία). Σύμφωνα με τους **Rao & Alley** (1996) η ευαισθησία του υδροφορέα (aquifer sensitivity) ταυτίζεται με τη γενική τρωτότητα (intrinsic vulnerability).

Πρέπει να τονισθεί ότι η έννοια της τρωτότητας δεν συνδέεται αποκλειστικά μόνο με τη ρύπανση ή τη μόλυνση των υπόγειων νερών, αλλά και με την ποσότητα αυτών, καθώς και με την επίδραση ακραίων καιρικών φαινομένων π.χ. ξηρασιών στη διαίτα των υδροφορέων (Βουδούρης, 2008).

Η ακόρεστη ζώνη παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης, λόγω της βραδείας κίνησης του νερού και λόγω διαφόρων διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτήν, όπως: προσρόφηση και ανταλλαγή κατιόντων, χημικές αντιδράσεις, μείωση παθογόνων μικρο-οργανισμών κ.ά. Ο βαθμός εξασθένησης των ρύπων στην ακόρεστη ζώνη εξαρτάται από τη λιθολογία της, την κοκκομετρία, το πάχος, τα χαρακτηριστικά του ρύπου και τη συγκέντρωσή του κ.λπ. Στην εδαφική ζώνη και ιδιαίτερα στη ζώνη των ριζών μεγάλες ποσότητες χημικών στοιχείων εξασθενούν και αποδομούνται από μικροοργανισμούς.

Η έννοια της τρωτότητας πρέπει να αντιμετωπίζεται σε τρία στάδια (Στουρνάρας, 1997):

- 1)** Το στάδιο της δυνητικής εισόδου του ρύπου στο υδατικό σύστημα, που συνδέεται με τις υδρογεωλογικές συνθήκες και τη συμπεριφορά του ρύπου.
- 2)** Το στάδιο της παραμονής του ρύπου στο υδατικό σύστημα που συνδέεται με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ρύπου και τις υδρογεωλογικές και υδραυλικές συνθήκες του υδροφορέα.
- 3)** Το στάδιο της άφιξης του ρύπου στο υδροληπτικό έργο, αν γίνεται εκμετάλλευση του υδροφορέα.

Σε πολλές χώρες συντάσσονται χάρτες τρωτότητας σε κλίμακα νομού ή περιφερειακή κλίμακα ή σε ολόκληρη τη χώρα, στους οποίους φαίνονται οι περιοχές με αυξημένη ή μη πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων. Οι χάρτες αυτοί είναι μια ειδική κατηγορία υδρογεωολογικών χαρτών και επειδή είναι χρονοεξαρτώμενοι απαιτούν ενημέρωση σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι βασικές πληροφορίες που απαιτούνται για τη χαρτογράφηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οι πληροφορίες για την ποιότητα των νερών συλλέγονται κυρίως από σταθμούς ελέγχου (monitoring stations), που εγκαθίστανται κατόπιν υδρογεωολογικής έρευνας και αναγνώρισης των αιτιών ρύπανσης.

Οι χάρτες τρωτότητας συνδυάζονται με χάρτες χρήσεων γης, ποιότητας νερού, πυκνότητας πληθυσμού κ.ά και αποτελούν πολύτιμα εργαλεία στη λήψη αποφάσεων, τη διαχείριση και τη νομοθεσία σε όλα τα επίπεδα της δημόσιας διοίκησης. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται τελευταία με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και του διεθνούς κώδικα χρωμάτων, όπου οι επιμέρους χάρτες είναι τα θεματικά επίπεδα. Η συλλογή δεδομένων τροφοδοτεί τη βάση και η επεξεργασία γίνεται με τα λογισμικά Arc/Info, Map/Info κ.ά.

Πίνακας 1: Πληροφορίες που απαιτούνται για τη χαρτογράφηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών (Καλλέργης, 2000).

ΠΕΔΙΑ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	Υψόμετρα, μεταβολές μορφολογικών κλίσεων, πυκνότητα και κατανομή υδρογραφικού δικτύου.
ΒΛΑΣΤΗΣΗ	Χρήσεις γης, διαδρομές υπεδαφικού νερού, περιοχές τροφοδοσίας και εκφόρτισης, ιχνογράφιση ασυνεχειών και γραμμικών στοιχείων, ρυπογόνα δυναμικά.
ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	Βροχομετρικά δεδομένα, μέση θερμοκρασία αέρα, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, εξατμισοδιαπνοή, εκτίμηση της ενεργής βροχόπτωσης.
ΕΔΑΦΗ	Πάχη, ιστός, δομή, ορυκτολογική σύσταση, χημικές και φυσικές ιδιότητες, πορώδες, διαπερατότητα, υγρασία, ικανότητα κατείσδυσης.
ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ	Παροχές υδρορευμάτων, ανάλυση υδρογραφημάτων, βασική ροή, λόγος ροής, ανταλλαγές νερού με υποκείμενα υδροφόρα συστήματα.
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ i) Ακόρεστη ζώνη ii) Κορεσμένη ζώνη	Βάθος υπόγειου νερού, πάχος, λιθοστρωματογραφία, κοκκομετρία, ορυκτολογία, γεωμετρία, δείκτης ρωγμών, δείκτης ανάπτυξης καρστ, ενεργό πορώδες και βαθμός κορεσμού, ρυθμός κατείσδυσης, τροφοδοσία. Λιθοστρωματογραφία, γεωλογική δομή, γεωμετρία υδροφορέα, ενεργό πορώδες, τύπος διαπερατότητας (πρωτογενές ή δευτερογενές πορώδες), μεταβιβαστικότητα, αποθηκευτικότητα και υδραυλική αγωγιμότητα των υδροφορέων, τύπος υδροφορέα (ελεύθερος, υπό πίεση), μεταβολές της στάθμης του υπόγειου νερού, υδραυλική κλίση, κατεύθυνση ροής, ενεργή ταχύτητα ροής και εκφόρτιση, τύποι υπόγειου νερού, ανταλλαγές με επιφανειακά σώματα νερού ή άλλα υδροφόρα συστήματα.
ΧΡΗΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ	Σημεία υδροληψίας (πηγές, γεωτρήσεις) και θέσεις υδροληπτικών έργων, επιφανειακοί και υπόγειοι υδατικοί πόροι, κατανομή τους και χρήση, παροχή και πτώσεις στάθμης των υδροφόρων πεδίων, θέση και ρυθμοί τροφοδοσίας των διαφόρων συστημάτων.
ΧΗΜΕΙΑ i) Υδροχημεία ii) Χαρακτηριστικά ρύπων	Φυσικές και χημικές ιδιότητες επιφανειακών και υπόγειων νερών, χημικοί δείκτες, ισότοπα, ηλικία υπόγειου νερού και χρόνος παραμονής του στα υδροφόρα στρώματα, χαρακτηριστικοί λόγοι, κατανομή ποιότητας επιφανειακών και υπόγειων νερών. Αλλαγές στην ποιότητα του υπόγειου νερού, παρουσία ρύπων, φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά ρύπων, συγκέντρωση, ημιζωή, κινητικότητα, ικανότητα ιοντοανταλλαγής, προσρόφησης, βιοαποδόμησης κ.ά.
ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	Έκταση αστικών περιοχών, θέση και τύπος των βιομηχανιών, παρουσία και δυναμικότητα ρυπογόνων πηγών, δυνητικοί εισοδοί ρύπων.

2.3. Εκτίμηση της τρωτότητας με βάση υδρογεωλογικά κριτήρια

Για την ποσοτικοποίηση της τρωτότητας έχουν εισαχθεί διάφορα πρότυπα που βασίζονται σε διάφορα υδρογεωλογικά κριτήρια όπως: είδος υδροφορέων, πάχος ακόρεστης ζώνης, ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού, κοκκομετρία, συντελεστή υδροπερατότητας, τοπογραφία κ.ά. Τα κυριότερα πρότυπα για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδροφόρων οριζόντων που έχουν εισαχθεί είναι των: LeGrand, Evans και Dienemann.

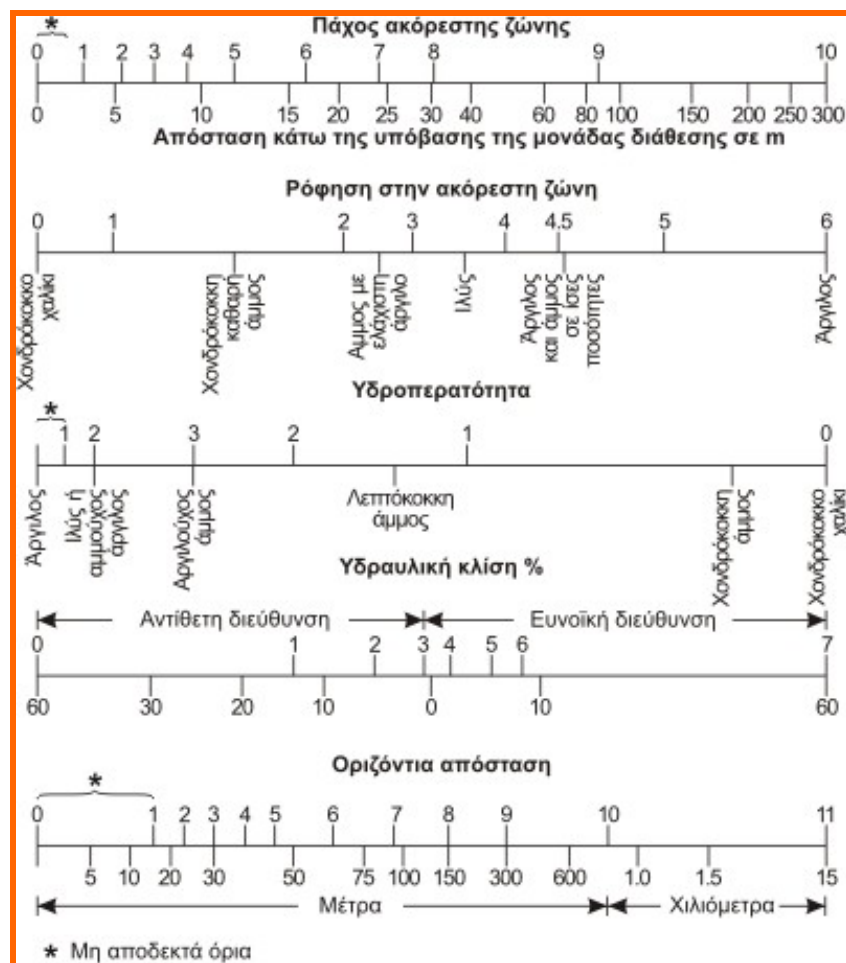
Ο **LeGrand** (1964) εισήγαγε την έννοια του δυναμικού ρύπανσης των υδροφόρων οριζόντων με κριτήρια: πάχος ακόρεστης ζώνης, υδροπερατότητα, υδραυλική κλίση της πιεζομετρικής επιφάνειας, οριζόντια απόσταση από την πηγή ρύπανσης, προσρόφηση και απορρόφηση στην ακόρεστη ζώνη. Σύμφωνα με το διάγραμμα LeGrand (Σχήμα 1), καθώς και το σύνολο της βαθμολογίας σε μια περιοχή, αυτή χαρακτηρίζεται:

- πολύ χαμηλής τρωτότητας (>12 βαθμοί)
- μέτριας τρωτότητας (8-12 βαθμοί)
- μεγάλης τρωτότητας (4-8 βαθμοί) και
- πολύ μεγάλης τρωτότητας (<4 βαθμοί).

Ο LeGrand το έτος 1983 πρότεινε ένα πιο σύνθετο πρότυπο για την εκτίμηση της τρωτότητας, που λαμβάνει υπόψη και το είδος της πηγής ρύπανσης.

Ο **Evans** (1987) εισήγαγε τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information System, GIS) στην αξιολόγηση της τρωτότητας. Για το λόγο αυτόν πολλαπλασιάζεται κάθε παράγοντας που επιδρά στην πιθανή ρύπανση (χαρακτηριστικά ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης, λιθοφασικά χαρακτηριστικά των υλικών της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης, υδραυλική αγωγιμότητα, φυτοκάλυψη, τοπογραφία κ.λπ.) με ένα συντελεστή βαρύτητας.

Έτσι προκύπτει ένας τελικός **δείκτης δραστηκότητας** (drastic index), η τιμή του οποίου καθορίζει το δυναμικό ρύπανσης για τον εξεταζόμενο υδροφόρο ορίζοντα. Όσο μεγαλύτερες τιμές έχει ο δείκτης δραστηκότητας, τόσο υψηλότερο είναι το δυναμικό ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα.



Σχήμα 1: Διάγραμμα εκτίμησης της τρωτότητας ελεύθερων αλλουβιακών υδροφόρων (LeGrand, 1964, από Καλλέργη, 2000).

Οι σχηματισμοί της ακόρεστης ζώνης, που καλύπτουν τον υδροφόρο ορίζοντα, συμβάλλουν σημαντικά στην προστασία του υδροφορέα. Οι κατεισδύοντες ρύποι φιλτράρονται και αποδομούνται εντός αυτής. Η σπουδαιότητα της ακόρεστης ζώνης κρίνεται ανάλογα με το πάχος, τη λιθολογική σύσταση, την πλευρική εξάπλωση και την υδροπερατότητα των υλικών της.

Με βάση τα χαρακτηριστικά της ακόρεστης ζώνης διακρίνονται:

α) ενοϊκές συνθήκες προστασίας, όταν επικρατούν υλικά με μεγάλη ικανότητα αυτοκαθαρισμού και πλευρική εξάπλωση, όπως: άργιλοι, πηλοί, λεπτόκοκκοι άμμοι, ελάχιστου πάχους 2,5 m, με συντελεστή υδροπερατότητας

μικρότερο από αυτόν της λεπτόκοκκης άμμου, καθώς επίσης μεσόκοκκοι και χονδρόκοκκοι άμμοι και αμμοχάλικες ελάχιστου πάχους 4 m με συντελεστή υδροπερατότητας μικρότερο από αυτό της μεσόκοκκης άμμου (DVGW, Arbeitsblatt W 101, 1995, Καλλέργης, 2000).

β) μέτριες συνθήκες προστασίας, όταν τα υλικά της προαναφερόμενης περίπτωσης εμφανίζονται στην ακόρεστη ζώνη με μικρότερα πάχη και ο υδροφορέας παρουσιάζει καλές ιδιότητες αυτοκαθαρισμού, δηλ. το ενεργό μέγεθος των κόκκων είναι <0,4 mm, η ταχύτητα ροής <3 m/d και ο χρόνος παραμονής του νερού στον υδροφόρο >30 ημέρες.

γ) δυσμενείς συνθήκες προστασίας, όταν δεν πληρούνται οι προδιαγραφές των δύο προαναφερόμενων περιπτώσεων, όπως αυτό συμβαίνει σε υδροφόρους με δευτερογενές πορώδες, καρστικοί και μη υδροφορείς, καθώς επίσης και σε χαλαρούς αδρομερείς υδροφόρους σχηματισμούς, έστω και αν υπάρχουν εμφανίσεις αργιλικών φακών

Το πρότυπο του **Dienemann** (1956) στηρίζεται κυρίως στην **ικανότητα αυτοκαθαρισμού** της ακόρεστης ζώνης και λαμβάνει υπόψη το πάχος, τη λιθολογία και την κοκκομετρική της σύσταση. Μεγάλη ικανότητα αυτοκαθαρισμού έχουν τα λεπτόκοκκα υλικά (ενεργό μέγεθος κόκκων <0,4 mm) μεγάλου πάχους (>6 m). Αντίθετα ασήμαντη ικανότητα αυτοκαθαρισμού έχουν τα υλικά με ενεργό μέγεθος κόκκων >0,4 mm και ταχύτητα του νερού >3 m/d (καρστικοί υδροφόροι, ελεύθεροι υδροφόροι αδρομερών υλικών κ.λπ.).

Κατά **Rehse** (1977) το δυναμικό αυτοκαθαρισμού της ακόρεστης ζώνης στους αλλουβιακούς σχηματισμούς εκτιμάται με βάση το δείκτη καθαρισμού, ο οποίος προκύπτει από το πάχος των διαφόρων οριζόντων. Βασική προϋπόθεση είναι η παρουσία αργιλικών οριζόντων ή λεπτόκοκκων σχηματισμών με έντονη συμμετοχή του αργιλικού υλικού. Εναλλαγές υδροπερατών και υδατοστεγανών στρωμάτων ακόμα και μικρού πάχους, αυξάνουν το βαθμό ικανότητας αυτοκαθαρισμού.

Έτσι ο δείκτης αυτοκαθαρισμού (MI) προκύπτει από τη σχέση:

$$MI = D_1 \cdot I_1 + D_2 \cdot I_2 + D_3 \cdot I_3 + \dots + D_n \cdot I_n$$

όπου $D_1, D_2, \dots, D_n$ τα πάχη των διαφόρων οριζόντων της ακόρεστης ζώνης και $I_1, I_2, \dots, I_n$ ο αντίστοιχος δείκτης, που ισούται με $1/D$ (Πίνακας 2).

Αν $MI \geq 1,0$ ο αυτοκαθαρισμός στην ακόρεστη ζώνη είναι πλήρης και ταυτίζεται με αυτόν που γίνεται στον υδροφόρο ορίζοντα εντός 50 ημερών. Όταν $MI < 1,0$ τότε ο καθαρισμός δεν έχει ολοκληρωθεί και απαιτείται επιπλέον χρόνος παραμονής στον υδροφόρο ορίζοντα ίσος με: $T \text{ (ημέρες)} = 50 (1 - MI)$. Στους υπολογισμούς συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη οι ανώτεροι ορίζοντες από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθους 5 m.

Πίνακας 2: Δείκτες αυτοκαθαρισμού διαφόρων σχηματισμών (Σταμάτης, 2001).

Είδος σχηματισμού	Πάχος D (m)	Δείκτης $I=1/D$
Εδαφικός ορίζοντας με 5-10% humus και 5-10% άργιλο	1,2	0,8
Άργιλος, άμμος με υψηλό ποσοστό αργίλου	2,0	0,5
Αργιλώδης πηλός, πηλός	2,5	0,4
Πηλώδης άμμος, άμμος με χαμηλό ποσοστό αργίλου	3,0-4,5	0,33-0,22
Άμμος λεπτόκοκκη έως μεσόκοκκη	6,0	0,17
Άμμος μεσόκοκκη έως χονδρόκοκκη	10,0	0,1
Άμμος χονδρόκοκκη	15,0	0,07
Χαλίκια με συμμετοχή άμμου και αργίλου	8,0	0,13
Χαλίκια με υψηλή περιεκτικότητα άμμου	12,0	0,08
Χαλίκια λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα και πολύ άμμο	25,0	0,04
Χαλίκια μεσόκοκκα έως χονδρόκοκκα και χαμηλή περιεκτικότητα άμμου	35,0	0,03
Κροκάλες, λίγα χαλίκια και άμμος	50,0	0,02

2.4. Μέθοδοι για την εκτίμηση της τρωτότητας

Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για την εκτίμηση της τρωτότητας διακρίνονται σε (Βουδούρης 2008):

- Μέθοδοι βαθμονόμησης (rating methods).

Περιλαμβάνουν μεθόδους δεικτών (index methods) και υβριδικές μεθόδους (hybrid methods), που συνδυάζουν μεθόδους δεικτών με στατιστικές μεθόδους.

- Στατιστικές μέθοδοι (statistical methods) και
- Μέθοδοι προσομοίωσης (simulating models).

Οι στατιστικές μέθοδοι περιλαμβάνουν απλή περιγραφική στατιστική των συγκεντρώσεων διαφόρων επιλεγμένων ρυπαντών (NO_3 , As), καθώς και ανάλυση συσχέτισης (π.χ. συγκέντρωση νιτρικών ιόντων με το βάθος). Μπορεί επίσης να εφαρμοσθεί σύνθετη ανάλυση συσχέτισης (λογιστική ανάλυση συσχέτισης, logistic regression analysis), που ενσωματώνει τα αποτελέσματα μερικών παραμέτρων και προβλέπει τις πιθανότητες εμφάνισης της ρύπανσης.

Οι μέθοδοι προσομοίωσης επιλύουν αριθμητικά τις εξισώσεις κίνησης του υπόγειου νερού (νόμος Darcy και εξίσωση της συνέχειας). Το MODFLOW και το MT3D είναι αρκετά δημοφιλείς κώδικες που επιλύουν τις εξισώσεις ροής και τις εξισώσεις εξέλιξης των ρύπων, αντίστοιχα, και συχνά χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της τρωτότητας.

2.4.1. Κυριότεροι μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας

Οι κυριότερες τεχνικές και μέθοδοι βαθμονόμησης είναι οι εξής : **DRASTIC** (Aller et al., 1987), **GOD** (Foster, 1987), **AVI** (Van Stempvoort et al., 1992), **SINTACS** (Civita, 1994), **ISIS** (Civita & Regibus, 1995), **DASTI** (Ben Kabbour et al., 2004).

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μία περιγραφή των τριών μεθόδων εκτίμησης της τρωτότητας των υπογείων νερών στη ρύπανση που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία.

2.4.1.1. Η μέθοδος AVI

Η μέθοδος **AVI** εφαρμόστηκε πρώτη φορά από τους Van Stempvoort et al. (1992). Η μέθοδος **AVI** (Aquifer Vulnerability Index) για την εκτίμηση της τρωτότητας βασίζεται στον υπολογισμό ενός παράγοντα υδραυλικής αντίστασης. Ο παράγοντας υδραυλικής αντίστασης αντιστοιχεί σε ένα κατά προσέγγιση χρόνο ταξιδιού του νερού που ξεκινάει από την επιφάνεια του εδάφους και κινείται κατακόρυφα προς τα κάτω περνώντας από τα διαδοχικά στρώματα της ακόρεστης ζώνης μέχρι να φτάσει στο υπόγειο νερό. Ο παράγοντας της υδραυλικής αντίστασης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$c = \sum_1^i \frac{d_i}{K_i} \quad (1)$$

Όπου d είναι το πάχος κάθε στρώματος της ακόρεστης ζώνης και K η κατά προσέγγιση τιμή του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας κάθε στρώματος.

Στη μέθοδο AVI το πάχος κάθε στρώματος της ακόρεστης ζώνης και ο υπολογισμός του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας για κάθε στρώμα, βασίζεται στη λιθολογική περιγραφή που έχουμε από τις στρωματογραφικές στήλες των γεωτρήσεων.

Η παράμετρος K παίρνει τιμές από 10^{-3} μέχρι $10^{-11} m/s$. Οι τιμές προκύπτουν από τη βιβλιογραφία και χωρίζονται σε 8 κλάσεις από το Α έως το Η (Πίνακας 3).

Μετά από τον υπολογισμό του παράγοντα της υδραυλικής αντίστασης για κάθε γεώτρηση υπολογίζουμε το $\text{Log}(c)$. Κάθε τιμή αντιστοιχεί σε ένα ποιοτικό δείκτη τρωτότητας του υπογείου νερού(Πίνακας 4). Στη συνέχεια με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) και με την εφαρμογή Γεωστατικών μεθόδων κατασκευάζουμε το χάρτη τρωτότητας.

Πίνακας 3: Τιμές του παράγοντα K (συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας) της μεθόδου AVI.

Υλικό	Τιμή της AVI	K (m/s)
Χαλίκια	A	1.00E-02
Αδρομερής Άμμος	B	1.00E-02
Χαλίκια & Άμμος	B	1.00E-03
Άμμος & Χαλίκια	B	1.00E-03
Αμμώδης Χαλίκια	B	1.00E-03
Αλλούβια	B	1.00E-03
Χαλικώδης Άμμος	C	1.00E-04
Μεσόκοκκη Άμμος	C	1.00E-04
Άμμος	C	1.00E-04
Λεπτόκοκκη έως Μεσόκοκκη Άμμος	D	1.00E-05
Τύρφη	D	1.00E-05
Λεπτόκοκκη Άμμος	D	1.00E-05
Λεπτόκοκκη Άμμος με Χαλίκια	D	1.00E-05
Ιλυώδης Χαλίκια	D	1.00E-05
Ιλυώδης Άμμος	D	1.00E-05
Ιλυώδης Άμμος με Χαλίκια	D	1.00E-05
Πολύ λεπτόκοκκη Άμμος	D	1.00E-05
Χαλίκια, Άμμος και Ιλύς	D	1.00E-05
Συνεκτική Άμμος	D	1.00E-05
Χαλικώδης Ιλύς	E	1.00E-06
Αργιλώδης Χαλίκια	E	1.00E-06
Αργιλώδης Άμμος	E	1.00E-06
Αργιλώδης Άμμος & Χαλίκια	E	1.00E-06
Αμμώδης Χαλικώδης Ιλύς	E	1.00E-06
Αμμώδης Ιλύς	E	1.00E-06
Ιλύς	E	1.00E-06
Χαλικώδης Τιλλίτης	F	1.00E-08
Άμμοδης Χαλικώδης Τιλλίτης	F	1.00E-08
Αμμώδης Τιλλίτης	F	1.00E-08
Ιλύς, Άμμος, Αργίλλος	F	1.00E-08
Ιλύς, Χαλίκια, Αργίλλος	F	1.00E-08
Πηλός	F	1.00E-08
Αργιλώδης Τιλλίτης	G	1.00E-10
Αργιλώδης Ιλύς	G	1.00E-10
Χαλικώδης Αργίλος	G	1.00E-10
Αμμώδης Αργίλος	G	1.00E-10
Αργίλος	H	1.00E-11
Ιλυώδης Αργίλος	H	1.00E-11

Πίνακας 4: Τιμές του Δείκτη της μεθόδου AVI.

Log(c)	Τρωτότητα
<-2	Πολύ υψηλή
-2 έως 0	Υψηλή
0 έως 2	Μέση-Υψηλή
2 έως 4	Χαμηλή-Μέση
4 έως 5	Χαμηλή
>5	Πολύ Χαμηλή

2.4.1.2. Η μέθοδος GOD

Η μέθοδος **GOD** αναπτύχθηκε από τον Foster (1987). Αποτελεί μια εμπειρική μέθοδο βαθμονόμησης για τη γρήγορη εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση. Για τον υπολογισμό του δείκτη GOD λαμβάνονται υπόψη τρεις παράμετροι. Η εμφάνιση του υπόγειου νερού (**G**roundwater occurrence) που έχει να κάνει με το είδος του υδροφορέα, τη λιθολογία των υπερκείμενων στρωμάτων του υδροφόρου (**O**verlying Lithology), δηλαδή τη λιθολογία των στρωμάτων της ακόρεστης ζώνης και τέλος το βάθος του υπόγειου νερού (**D**epth to water), τόσο για ελεύθερο υδροφόρο όσο και για υπό πίεση υδροφόρο. Η παράμετρος της λιθολογίας των υπερκείμενων στρωμάτων συμβάλλει στον δείκτη τρωτότητας μόνο στην περίπτωση ελεύθερων υδροφορέων. Τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του δείκτη GOD λαμβάνονται από λιθολογικές τομές γεωτρήσεων.

Η τελική τιμή τρωτότητας για κάθε γεώτρηση προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τις τρεις παραμέτρους μεταξύ τους αφού πρώτα γίνει η βαθμονόμηση τους. Η τιμή του δείκτη GOD προκύπτει από την παρακάτω σχέση :

$$I = G \cdot O \cdot D \quad (2)$$

Οι τρεις παράμετροι παίρνουν τιμές από 0 έως 1. Συνεπώς η τιμή του δείκτη GOD μπορεί να λάβει τιμές από 0 έως 1. Με βάση τις τιμές αυτές κάθε σημείο παίρνει τις αντίστοιχες τιμές τρωτότητας (Πολύ υψηλή, υψηλή, μέση υψηλή, μέση χαμηλή, χαμηλή και πολύ χαμηλή) (Πίνακας 5).

Πίνακας 5: Τιμές του Δείκτη της μεθόδου GOD.

ΤΙΜΗ	Δείκτης GOD
Πολύ Υψηλή	0.75 - 1.00
Υψηλή	0.60 - 0.75
Μέση Υψηλή	0.45 - 0.60
Χαμηλή Μέση	0.30 - 0.45
Χαμηλή	0.15 - 0.30
Πολύ Χαμηλή	0.00 - 0.15

2.4.1.3. Η μέθοδος DRASTIC

Η μεθοδολογία **DRASTIC** (Aller et al., 1987) ανήκει στις μεθόδους δεικτών και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την εκτίμηση του κινδύνου ρύπανσης των υπόγειων νερών με βάση υδρογεωλογικές παραμέτρους. Το μοντέλο DRASTIC

θεωρεί ότι: 1) κάθε ρύπος εισάγεται από την επιφάνεια του εδάφους, 2) ο ρύπος εισάγεται στο υπόγειο νερό από την κατείσδυση του νερού της βροχόπτωσης και 3) ο ρύπος έχει την ταχύτητα του νερού.

Η λέξη **DRASTIC** προκύπτει από τα ακρωνύμια των: D (**Depth**) βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού, R (**Recharge**) ενεργή κατείσδυση, A (**Aquifer**) υδροφορέας, S (**Soil**) έδαφος, T (**Topography**) κλίση αναγλύφου, I (**Impact of the vadose zone**) επίδραση της ακόρεστης ζώνης, C (**Hydraulic Conductivity of the aquifer**) συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατότητας.

Ο δείκτης **DRASTIC** (DI) υπολογίζεται από την κάτωθι σχέση:

$$DI = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw \quad (3)$$

Όπου ο δείκτης **r** εκφράζει την τιμή της παραμέτρου και ο δείκτης **w** τη βαρύτητα καθεμιάς. Για κάθε παράμετρο υπάρχουν δύο τιμές βαρύτητας. Η πρώτη είναι για την εφαρμογή της μεθόδου στην περίπτωση οικιακών και βιομηχανικών ρύπων (γενική, Typical DRASTIC) και η δεύτερη είναι για τη χρήση φυτοφαρμάκων σε αρδευόμενες περιοχές (ειδική, Pesticide DRASTIC).

Η βαρύτητα κάθε παραμέτρου φαίνεται στον κάτωθι Πίνακα 6, απ' όπου προκύπτει ότι οι παράμετροι με τη μεγαλύτερη βαρύτητα (5) είναι το βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού, η επίδραση της ακόρεστης ζώνης και το έδαφος (στην ειδική περίπτωση των φυτοφαρμάκων), γιατί θεωρούνται οι πλέον σημαντικοί.

Οι τιμές των παραμέτρων κυμαίνονται από 1 (ελάχιστο δυναμικό ρύπανσης) έως 10 (μέγιστο δυναμικό ρύπανσης). Η τεχνική DRASTIC είναι ευέλικτη και ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να την τροποποιήσει προσθέτοντας παραμέτρους ή αλλάζοντας τις τιμές βαρύτητας (Al-Adamat et al., 2003).

Πίνακας 6: Βαρύτητα κάθε παραμέτρου στη μεθοδολογία DRASTIC.

Παράμετρος	Βαρύτητα (Γενική)	Βαρύτητα (Ειδική)
D Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού	5	5
R Ενεργή κατείσδυση	4	4
A Υδροφορέας	3	3
S Έδαφος	2	5
T Κλίση αναγλύφου	1	3
I Επίδραση της ακόρεστης ζώνης	5	3
C Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας	3	2

Ο δείκτης DRASTIC για τη γενική βαρύτητα κυμαίνεται από 23 έως 230, ενώ για την ειδική Βαρύτητα κυμαίνεται από 25 έως 250.

Οι Aller et al (1987), πρότειναν την παρακάτω κατηγοριοποίηση (Πίνακας 7) για τις επιμέρους τιμές της τρωτότητας, αν και αυτές δεν ορίζονται ως πρότυπες.

Πίνακας 7: Κατηγοριοποίηση της τρωτότητας για την τυπική μέθοδο DRASTIC

Τιμή δείκτη DRASTIC	Χρώμα	Τρωτότητα
<79	Βιολετί	Πολύ χαμηλή
80-99	Λουλακί	Χαμηλή
100-119	Μπλέ	
120-139	Σκούρο Πράσινο	Ενδιάμεση
140-159	Ανοιχτό Πράσινο	
160-179	Κίτρινο	Υψηλή
180-199	Πορτοκαλί	
>200	Κόκκινο	Πολύ υψηλή

Οι Aller et al. (1987), τόνισαν τα παρακάτω σημεία που αφορούν την εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC και τα οποία πρέπει κάθε μελετητής να λαμβάνει υπόψη:

- Η μεθοδολογία που ακολουθείται δεν έχει ως σκοπό, ούτε σχεδιάστηκε να αντικαταστήσει την έρευνα πεδίου.
- Η DRASTIC δίνει στο χρήστη ένα μέτρο σχετικής τρωτότητας ενός υδροφορέα στη ρύπανση και κατά συνέπεια πρέπει να αποτελεί ένα από τα πολλά κριτήρια για τη λήψη περαιτέρω αποφάσεων ή ακόμη προστατευτικών μέτρων, αλλά σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να αποτελεί το μοναδικό.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προληπτικούς σκοπούς, για την κατηγοριοποίηση περιοχών, όπου η προστασία των υπόγειων νερών και η διασφάλιση των υπόγειων νερών είναι μείζονος σημασίας. Επίσης, η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό περιοχών στις οποίες απαιτούνται άμεσα προστατευτικά μέτρα. Όταν συνδυαστεί και με άλλους παράγοντες, όπως π. χ. τις εφαρμοζόμενες μεθόδους καλλιέργειας σε μια περιοχή, μπορεί να διαχωρίσει τις περιοχές όπου η

αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και η αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων αποτελούν άμεση απειλή για το υπόγειο νερό.

- Η μέθοδος DRASTIC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση περιοχών στις οποίες υπάρχουν ελλιπή δεδομένα, οπότε και επηρεάζεται το τελικό αποτέλεσμα της εκτίμησης της τρωτότητας. Για παράδειγμα, η προσπάθεια αιτιολόγησης των αποτελεσμάτων, από την εφαρμογή της μεθόδου και οι κατά θέσεις πιθανή αδυναμία ασφαλούς αιτιολόγησης, μπορεί να οδηγήσει τον ερευνητή στον προσδιορισμό περιοχών, στις οποίες οφείλουν να γίνουν περισσότερες έρευνες για την αποσαφήνισή των επικρατούντων υδρογεωλογικών και γεωλογικών συνθηκών. Καθ' αυτόν τον τρόπο θα δημιουργηθεί μια πληρέστερη βάση δεδομένων, η οποία επακόλουθα θα οδηγήσει στην εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.
- Όπως συμβαίνει με κάθε μοντέλο και κάθε μέθοδο βαθμονόμησης, είναι πιθανή η εισαγωγή εσφαλμένων δεδομένων, τα οποία θα επηρεάσουν αρνητικά την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Εσφαλμένα συμπεράσματα εξάγονται και με την εφαρμογή της μεθόδου σε περιπτώσεις για τις οποίες δεν έχει σχεδιαστεί. Για παράδειγμα, η χρήση της μεθόδου για τον υπολογισμό της τρωτότητας του υπόγειου νερού στη ρύπανση, η οποία προκαλείται από την άμεση έγχυση ρυπασμένου νερού διαμέσου μιας γεώτρησης, δεν είναι αποδεκτή. Με την άμεση εισαγωγή ενός ρυπαντή στον υδροφορέα, αναιρούνται αυτόματα όλοι εκείνοι οι φυσικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη από τη μέθοδο DRASTIC.
- Η μέθοδος δίνει την ευχέρεια στον υδρογεωλόγο να λάβει υπόψη του συγκεκριμένους παράγοντες και να εκτιμήσει τη σημαντικότητα κάποιων άλλων. Για την εξαγωγή ορθότερων συμπερασμάτων, θα πρέπει να συνυπολογιστούν τόσο οι ιδιαίτεροι παράμετροι που ανταποκρίνονται στο φυσικό σύστημα του υδροφορέα, όσο και οι ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στην κάθε περιοχή (λόγω ανθρωπίνων παρεμβάσεων και δραστηριοτήτων).
- Η μέθοδος έχει χαμηλό κόστος εφαρμογής και μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλης έκτασης περιοχές.

3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

3.1. Γεωγραφική θέση

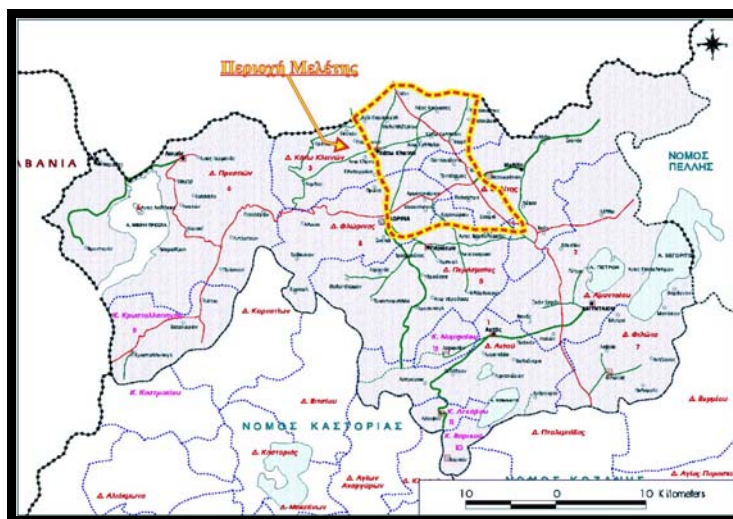
Η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στο νομό Φλώρινας που έχει έκταση 184,1 km² και αποτελεί τμήμα της λεκάνης της Φλώρινας. Η λεκάνη της Φλώρινας εντοπίζεται στη Δυτική Μακεδονία, και έχει συντεταγμένες: N 40° 49.100' – E 21° 28.100' (Χάρτης 1).



Χάρτης 1: Τοποθεσία της περιοχής έρευνας στην Ελλάδα (Δορυφορική φωτογραφία).

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τους παρακάτω Δήμους (Χάρτης 2) :

- Δήμος Φλώρινας
- Δήμος Μελίτης
- Δήμος Κάτω Κλεινών
- Δήμος Περάσματος



Χάρτης 2: Χάρτης του Νομού Φλώρινας με τα δημοτικά διαμερίσματα.

Ο Νομός Φλώρινας έχει συνολικά 54.571 κατοίκους με βάση την απογραφή του 2001 ενώ το 1991 είχε 53.147 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 1991. Παρατηρούμε μία αύξηση της τάξης του 3% στον πληθυσμό της περιοχής που είναι ενδεικτική της ανάπτυξης της περιοχής. Στον Πίνακα 8 δίνονται αναλυτικά τα δημογραφικά στοιχεία της περιοχής.

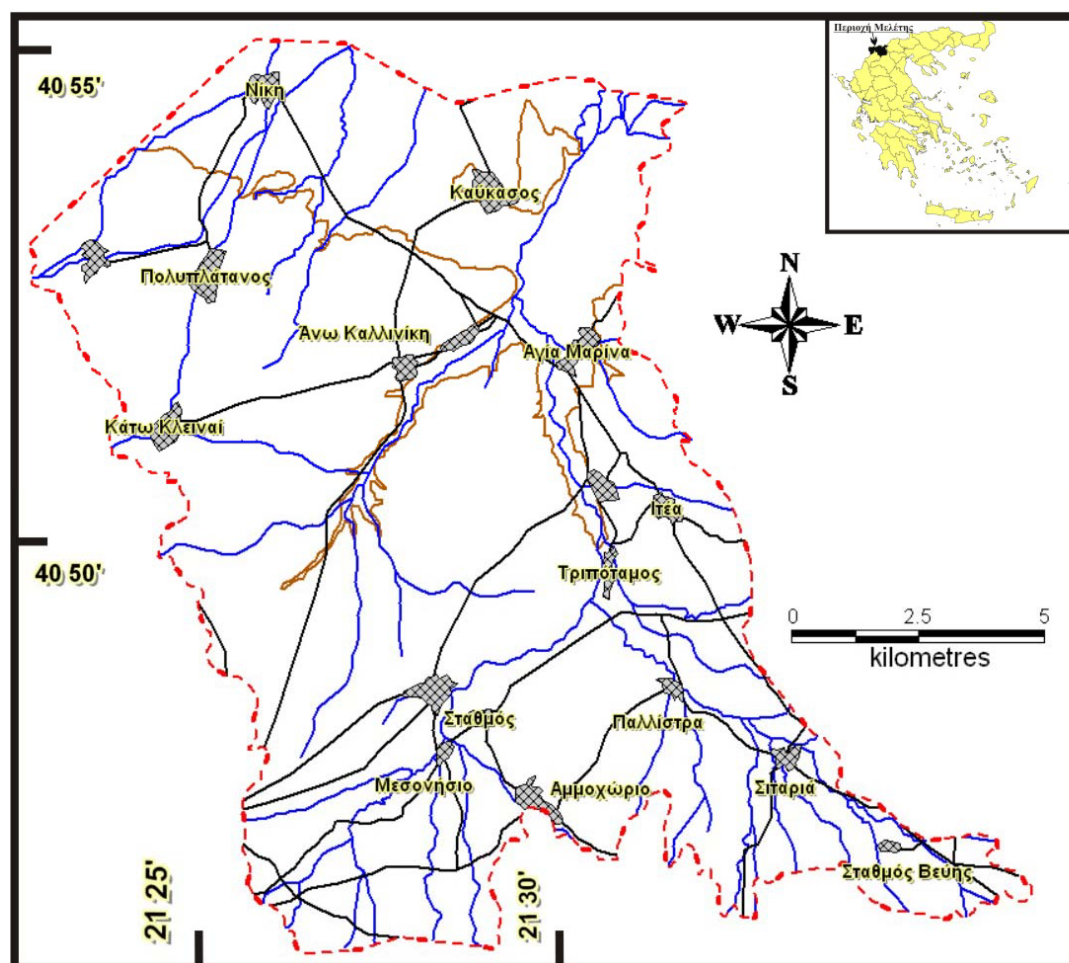
Πίνακας 8: Δημογραφικά στοιχεία της περιοχής (Πηγή: ΕΣΥΕ).

Δήμος ή Κοινότητα**	2001*			1991			Μεταβολή %		
	Άρνες	Θήλειες	Σύνολο	Άρνες	Θήλειες	Σύνολο	Άρνες	Θήλειες	Σύνολο
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	5.424.089	5.515.516	10.939.605	5.051.553	5.201.027	10.252.580	7,4	6,0	6,7
Ν. ΦΛΩΡΙΝΗΣ	27.939	26.812	54.751	26.668	26.479	53.147	4,8	1,3	3,0
Δ. ΦΛΩΡΙΝΑΣ	8.444	8.625	17.069	7.226	7.647	14.873	16,9	12,8	14,8
Δ. ΑΕΤΟΥ	1.920	1.814	3.734	1.851	1.828	3.679	3,7	-0,8	1,5
Δ. ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	4.458	3.864	8.322	4.084	3.754	7.838	9,2	2,9	6,2
Δ. ΚΑΤΩ ΚΛΕΙΝΩΝ	1.957	1.942	3.899	2.118	2.163	4.281	-7,6	-10,2	-8,9
Δ. ΜΕΛΙΤΗΣ	3.629	3.461	7.090	3.647	3.473	7.120	-0,5	-0,3	-0,4
Δ. ΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ	2.749	2.709	5.458	2.952	2.952	5.904	-6,9	-8,2	-7,6
Δ. ΠΡΕΣΠΩΝ	1.042	814	1.856	887	845	1.732	17,5	-3,7	7,2
Δ. ΦΙΛΩΤΑ	2.297	2.230	4.527	2.541	2.484	5.025	-9,6	-10,2	-9,9
ΚΟΙΝ. ΒΑΡΙΚΟΥ	355	344	699	407	402	809	-12,8	-14,4	-13,6
ΚΟΙΝ. ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΠΗΓΗΣ	265	193	458	161	152	313	64,6	27,0	46,3
ΚΟΙΝ. ΛΕΧΟΒΟΥ	619	605	1.224	673	656	1.329	-8,0	-7,8	-7,9
ΚΟΙΝ. ΝΥΜΦΑΙΟΥ	204	211	415	121	123	244	68,6	71,5	70,1

3.2. Μορφολογία της περιοχής

Η εξεταζόμενη περιοχή έχει έκταση $E = 184,1 \text{ km}^2$ και περίμετρο **82,04 km** (Χάρτης 3). Το μέσο υψόμετρο αυτής είναι **622 m** (Χάρτης 4). Το μέγιστο υψόμετρο είναι **660 m** και το ελάχιστο που βρίσκεται στην έξοδο της υπό μελέτη λεκάνης είναι **580 m**. Έχει έντονο ανάγλυφο και μέση κλίση περίπου $P = 3,12\%$. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής (Εικόνα 1).

Τα βασικότερα προϊόντα της περιοχής είναι: μαλακό και σκληρό σιτάρι, κριθάρι, σίκαλη, καλαμπόκι, φασόλια (εξαιρετικής ποιότητας), ζαχαρότευτλα, μηδική, πατάτες, φράουλες, σταφύλια (από τα οποία παράγονται τα Ονομασίας Προέλευσης Ανώτερης Ποιότητας κρασιά του Αμυνταίου), κουνουπίδια, πράσα, λάχανα, ντομάτες, κρεμμύδια και οι πιπεριές, μήλα, αχλάδια, κάστανα, καρύδια κ.ά.



Χάρτης 3: Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής.

Ακολουθούν οι υπολογισμοί των παραπάνω παραμέτρων :

➡ Για τον υπολογισμό του μέσου υψομέτρου χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος τύπος:

$$\bar{H} = \frac{H_1 E_1 + H_2 E_2 + \dots + H_n E_n}{E_{ολ}}$$

Συνεπώς **H = 622 m**

➡ Η μέση κλίση του εδάφους υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P = \frac{dL_{ολ}}{E_{ολ}}$$

όπου d = ισοδιάσταση των κύριων ισοϋψών, που είναι d=100m ή 0,1Km.

L_{ολ}= το ολικό μήκος των ισοϋψών που είναι 57,604 km

και E_{ολ}= το ολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής.

Άρα,

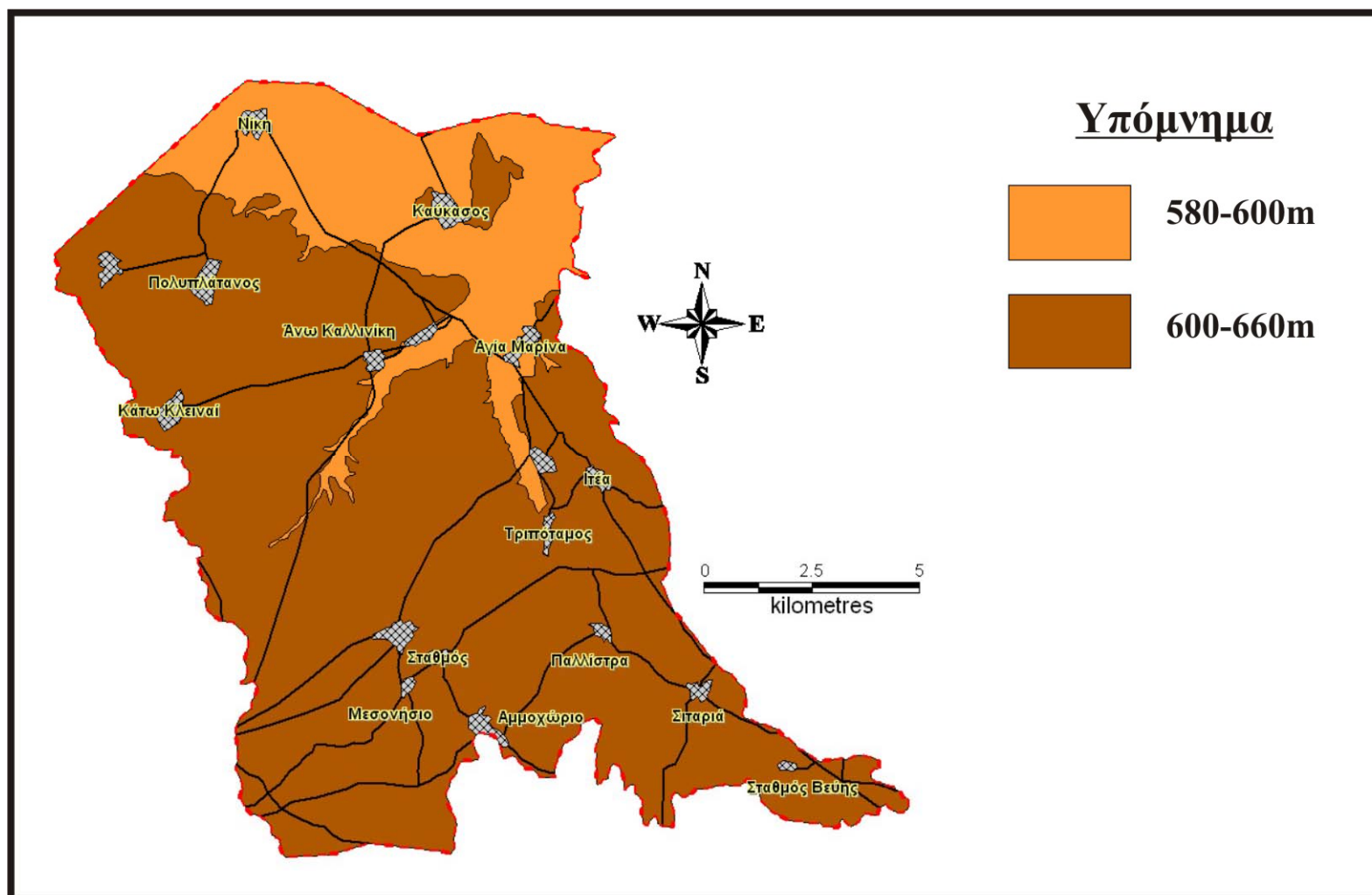
$$P = \frac{dL_{ολ}}{E_{ολ}} = \frac{0,1Km \cdot 57.604Km}{184,1Km^2} = 0,0312$$

Συνεπώς **P = 3,12 ‰**

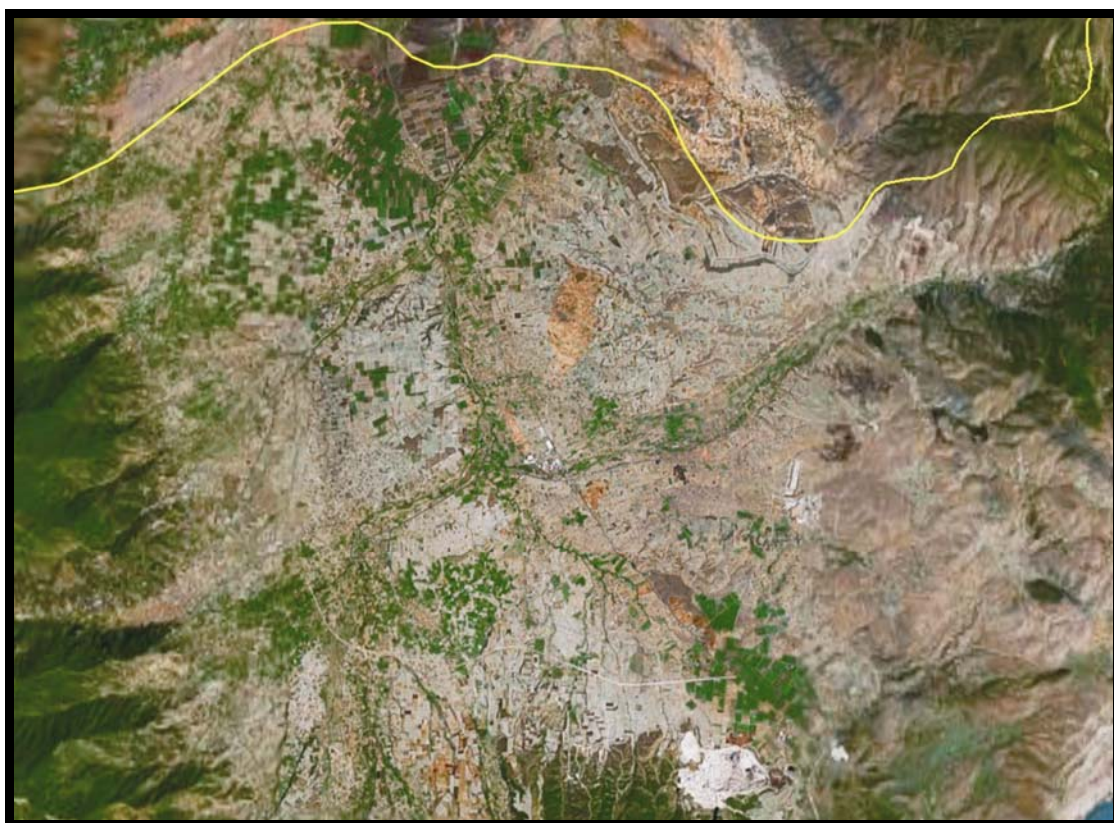
Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στον παρακάτω πίνακα 9 :

Πίνακας 9: Μορφολογικά στοιχεία της περιοχής.

α/α	(m)	H _n (m)	E _n (km ²)	H _n E ₁	Ισοϋψείς (m)	Μήκος(m)
1	580-600	590	36.53	21552.7	600	57.604
2	600-660	630	147.6	92988		
Σ _{ολ}			184.1	114540.7		57.604



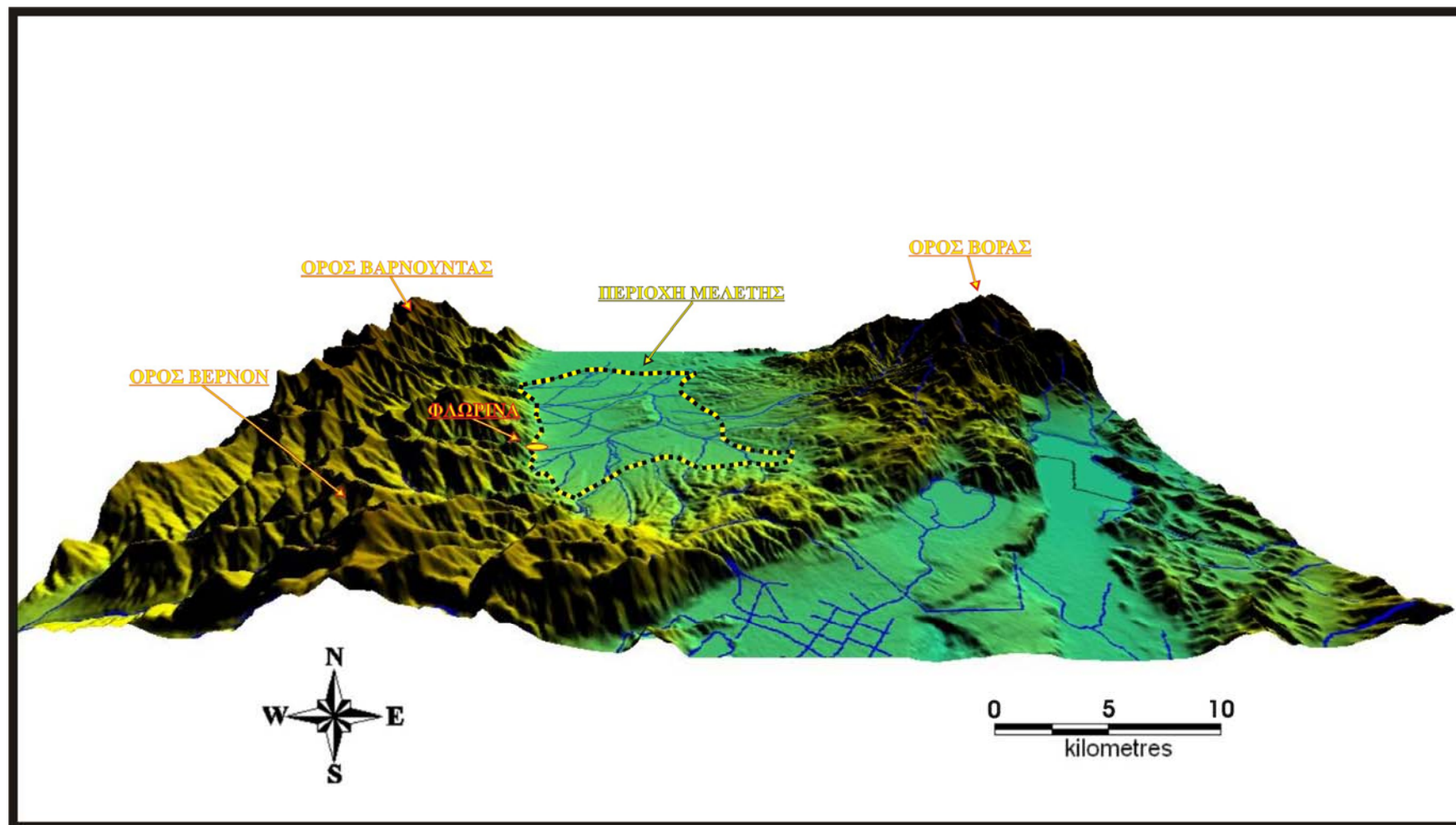
Χάρτης 4:Μορφολογικός χάρτης της περιοχής.



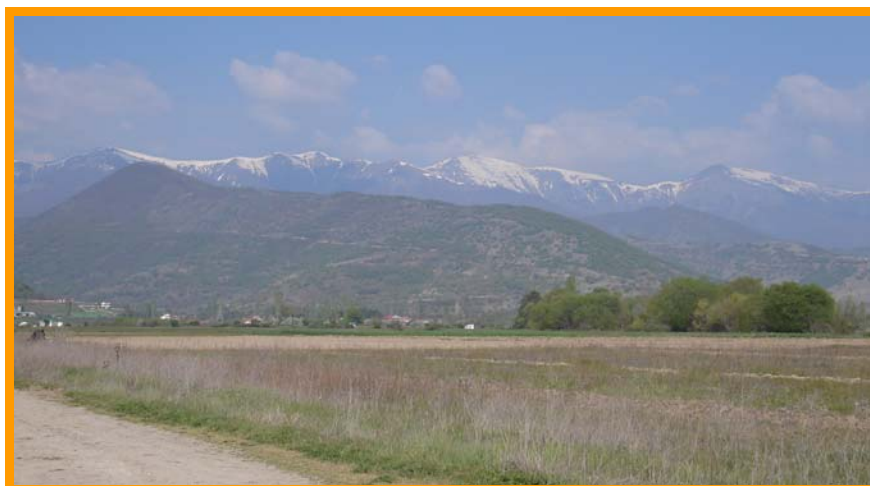
Εικόνα 1: Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής (Google earth).

Η πεδιάδα της Φλώρινας περιβάλεται από τρεις σημαντικούς ορεινούς όγκους. Τα βουνά Βαρνούντα, Βέρνον και Βόρας (Χάρτης 5).

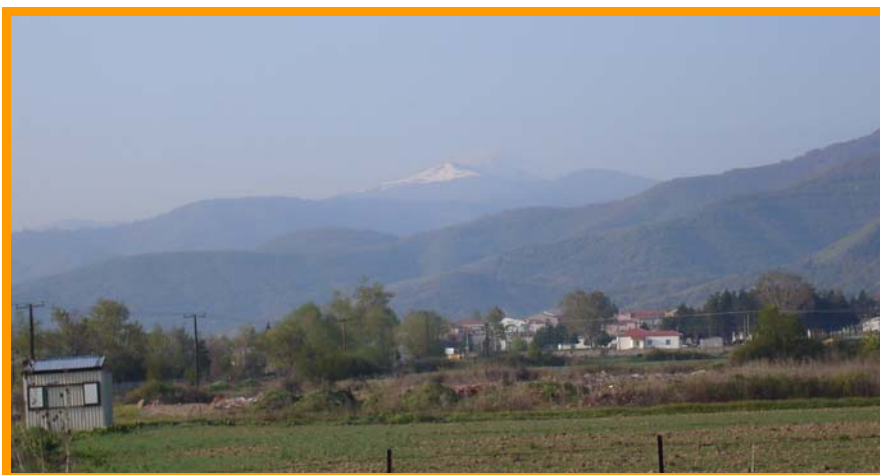
Στο ΒΔ τμήμα της περιοχής στα σύνορα με τα Σκόπια συναντάμε το όρος Βαρνούντα ή Περιστέρι με υψόμετρο 2334 m (κορυφή Όρυζα) που είναι συνέχεια του βουνού Περιστέρι Μοναστηρίου (Εικόνα 2). Στο ΝΔ τμήμα της περιοχής στα σύνορα με το νομό Καστοριάς βρίσκετε το όρος Βέρνον με υψόμετρο 2.128 m (κορυφή Βίτσι). Αποτελεί τη νοτιοανατολική συνέχεια του βουνού Βαρνούντα. Τα δύο βουνά χωρίζονται από τη διάβαση του Πισόδεργου. Στο Βέρνο υπάρχουν πολλές πηγές και πλούσια βλάστηση από οξιές και βελανιδιές (Εικόνα 3). Στο ΒΑ τμήμα της περιοχής βρίσκετε το όρος Βόρας γνωστό ως Καϊμακτσαλάν πού είναι το τρίτο πιο ψηλό βουνό της Ελλάδος με υψόμετρο 2524 m (Εικόνα 4).



Χάρτης 5: Τρισδιάστατος χάρτης της περιοχής.



Εικόνα 2: Όρος Βαρνούντας στο ΒΔ τμήμα της λεκάνης της Φλώρινας.



Εικόνα 3: Όρος Βέρνον στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης της Φλώρινας.



Εικόνα 4: Όρος Βόρας (Καϊμακτσαλάν) στο ΒΑ τμήμα της λεκάνης της Φλώρινας.

3.3. Κλίμα

Όπως στους περισσότερους νομούς της Μακεδονίας το κλίμα της περιοχής είναι Κεντροευρωπαϊκό ηπειρωτικό και χαρακτηρίζεται από μια ξηρή-θερμή και μια υγρή-ψυχρή εποχή. Από θερμομετρικής άποψης η περιοχή ανήκει στα ψυχρότερα τμήματα της Ελληνικής Χερσονήσου, γεγονός που οφείλεται κυρίως στα βόρεια ψυχρά ρεύματα της Βαλκανικής.

Το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι μεγάλο με θερμοκρασίες του χειμώνα που πέφτουν συχνά κάτω από τους 0° C, ενώ το καλοκαίρι μερικές φορές υπερβαίνουν τους 40° C κάτι που χαρακτηρίζει το ηπειρωτικό κλίμα. Η μέση θερμοκρασία από το 1973 μέχρι το 1998 είναι 16,6 C° (Μετεωρολογικός Σταθμός Τροπαιούχου).

Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του αέρα με βάση τις μετρήσεις θερμοκρασίας των τελευταίων τριάντα ετών του σταθμού του Τροπαιούχου παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις την άνοιξη και το φθινόπωρο, ελάχιστη τιμή τον Ιανουάριο και μέγιστη τον Ιούλιο. Παρακάτω αναφέρονται οι μέσες μηνιαίες και μέσες ετήσιες θερμοκρασίες κατά την περίοδο (1973 - 1998) (Πίνακας 10).

Η μέση ετήσια σχετική υγρασία για τα έτη 2000 - 2004 (ετήσια δελτία μετεωρολογικών παρατηρήσεων) κυμαίνεται μεταξύ 68,7% και 79,3% που σημαίνει ότι η περιοχή είναι από τις υγρότερες περιοχές της Ελλάδας.

Σύμφωνα με τα στοιχεία των τελευταίων ετών του Σταθμού Α. Καλλινίκης (Πίνακας 11) οι πλέον βροχεροί μήνες είναι ο Μάιος και ο Οκτώβριος, ενώ μικρότερες βροχοπτώσεις εμφανίζουν ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Ο μέσος όρος των βροχοπτώσεων κατά τα έτη 1973-1998 είναι 467,3 mm.

Στην ευρύτερη περιοχή την μεγαλύτερη συχνότητα παρουσιάζουν οι βόρειοι και οι νότιοι άνεμοι. Οι ξηρότεροι άνεμοι τον χειμώνα είναι οι βόρειοι, ενώ οι ανατολικοί είναι ξηρότεροι των δυτικών ανέμων.

Πίνακας 10: Μηνιαίες Θερμοκρασίες για την περίοδο 1973-1998.

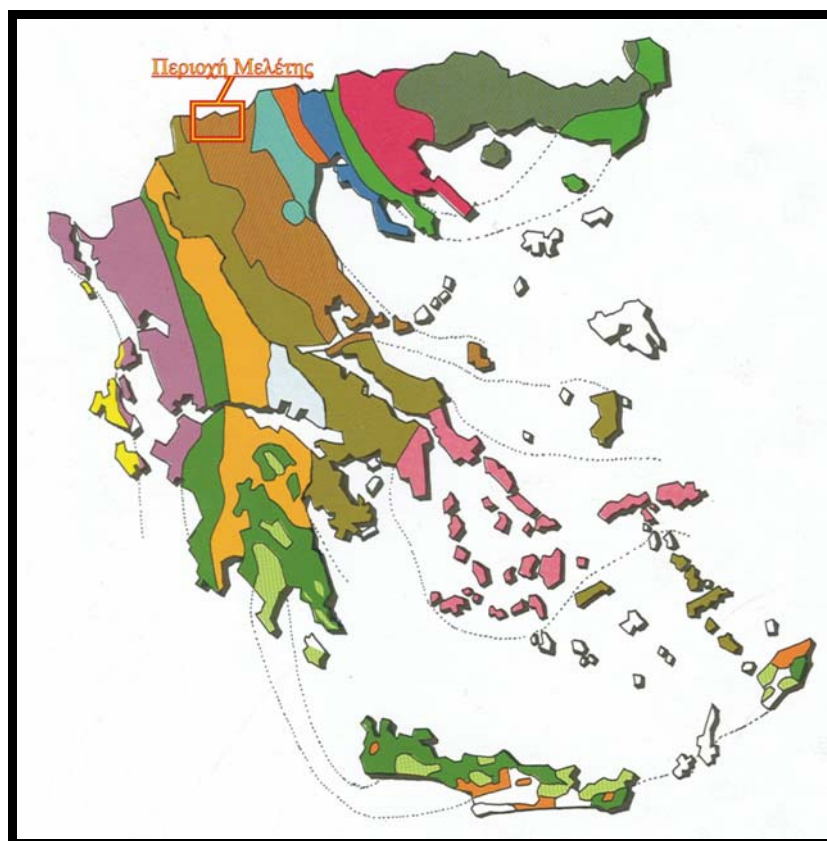
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ : Τροπαιούχος Απ. Υψόμετρο: 685m															
Μηνιαίες μέγιστοβάρθμιες Θερμοκρασίες σε °C															
ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΙΝ	ΜΑΧ	Μ.Ο.
Μ.Ο.	5.3	7.4	10.7	15.3	20.3	25.2	28.0	27.5	24.0	17.9	10.9	7.0			16.6
ΜΑΧ	9.3	13.1	16.5	20.0	23.6	28.9	32.8	31.5	29.2	21.8	15.2	11.6		32.8	
ΜΙΝ	0.7	3.0	5.3	7.7	13.5	19.7	22.2	21.7	15.7	11.1	2.7	1.1	0.7		
1973	3.1	7.1	5.3	14.1	23.6	25.6	28.7	26.4	23.9	18.8	11.2	8.8	3.1	28.7	16.4
1974	7.2	8.0	11.8	12.8	18.6	24.7	28.5	28.5	24.7	19.1	10.3	5.5	5.5	28.5	16.6
1975	1.0	4.3	12.0	16.9	21.3	24.6	28.2	26.7	27.0	17.5	11.9	6.2	1.0	28.2	16.5
1976	6.8	6.2	10.6	16.0	20.1	23.8	26.8	24.9	23.0	19.0	12.0	11.6	6.2	26.8	16.7
1977	5.6	13.1	14.2	16.7	23.1	21.2	24.6	22.7	16.3	12.4	9.2	1.1	1.1	24.6	15.0
1978	0.7	4.6	6.6	8.0	13.5	19.7	22.2	21.7	15.7	11.1	2.7	5.7	0.7	22.2	11.0
1979	1.3	3.2	8.5	7.7	14.7	23.6	27.0	27.4	24.5	16.6	10.7	8.2	1.3	27.4	14.5
1980	0.7	5.3	9.0	13.3	17.0	24.2	28.8	27.9	24.1	17.7	13.0	5.9	0.7	28.8	15.6
1981	0.7	6.9	13.9	15.8	19.1	27.2	26.4	26.9	23.5	20.5	7.6	7.6	0.7	27.2	16.3
1982	7.0	5.5	9.4	14.0	20.3	26.9	26.8	27.5	25.4	17.8	10.0	8.4	5.5	27.5	16.6
1983	6.7	6.3	11.5	18.4	22.7	22.8	26.2	26.1	22.8	17.0	10.6	6.5	6.3	26.2	16.5
1984	6.7	6.4	7.7	17.6	21.3	24.5	27.0	25.2	23.7	21.5	11.9	5.1	5.1	27.0	16.6
1985	5.2	3.0	8.4	17.3	22.4	25.5	28.3	24.8	25.0	17.1	12.8	8.7	3.0	28.3	16.5
1986	7.4	7.2	9.9	19.6	20.4	24.2	26.2	29.3	25.3	17.5	10.5	7.0	7.0	29.3	17.0
1987	6.9	8.6	5.9	15.7	19.6	25.7	30.7	29.1	28.9	15.5	10.3	7.8	5.9	30.7	17.1
1988	7.2	8.2	6.0	10.2	21.9	26.3	32.8	31.0	25.0	18.0	7.4	5.6	5.6	32.8	16.6
1989	4.0	8.9	13.5	20.0	19.0	22.8	26.0	28.0	24.0	16.9	12.4	8.7	4.0	28.0	17.0
1990	4.0	12.2	16.5	18.5	20.7	26.3	29.6	28.7	23.8	20.5	14.2	5.0	4.0	29.6	18.3
1991	3.0	3.8	13.2	12.7	17.8	26.2	28.9	27.1	24.7	18.9	11.9	4.5	3.0	28.9	16.1
1992	5.9	8.3	13.7	16.2	20.2	25.6	26.7	31.3	25.9	21.5	14.8	6.4	5.9	31.3	18.0
1993	6.7	7.0	12.1	17.1	21.6	28.9	30.3	31.5	26.5	21.8	8.5	10.9	6.7	31.5	18.6
1994	9.1	8.2	16.3	17.2	22.8	26.5	29.2	30.9	29.2	18.9	12.3	7.6	7.6	30.9	19.0
1995	6.6	11.2	12.9	16.6	21.0	26.8	28.4	26.0	22.3	18.6	9.7	8.4	6.6	28.4	17.4
1996	6.6	7.3	7.6	15.5	23.4	27.1	28.7	28.3	21.6	16.3	15.2	9.0	6.6	28.7	17.2
1997	9.3	10.1	11.0	11.6	22.7	27.5	29.6	26.4	23.6	16.7	11.4	8.0	8.0	29.6	17.3
1998	9.1	10.6	9.7	19.2	18.0	27.4	30.6	30.2	22.8	19.1	12.0	4.9	4.9	30.6	17.8

Πίνακας 11: Μηνιαία Βροχόπτωση για την περίοδο 1973-1998.

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ Άνω Καλλινίκης Απ. Υψόμετρο: 627															
Μηνιαία Ύψη Βροχής σε mm															
ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΜΙΝ	ΜΑΧ	ΕΤΗΣΙΟ
Μ.Ο.	52.8	55.2	35.5	27.3	28.0	33.0	49.6	58.6	28.9	25.9	33.4	39.3			467.3
ΜΑΧ	142.0	199.0	112.5	90.0	61.0	78.5	94.0	178.4	114.5	85.5	98.6	87.0		199.0	
ΜΙΝ	2.0	11.2	0.6	0.0	1.2	11.0	8.0	3.7	1.2	0.7	3.4	5.5	0.0		
1973-74	48.9	63.3	29.8	32.3	22.8	35.8	91.4	92.8	72.2	0.7	41.4	87.0	0.7	92.8	618.5
1974-75	60.2	101.4	3.0	0.0	4.0	32.2	65.3	97.9	107.8	48.9	13.6	46.9	0.0	107.8	581.2
1975-76	41.2	30.7	1.8	29.8	44.0	13.0	77.8	143.3	62.0	85.5	33.2	6.8	1.8	143.3	569.1
1976-77	58.6	80.8	17.7	29.2	43.5	34.5	22.8	41.3	29.9	11.9	95.9	80.2	11.9	95.9	546.3
1977-78	6.7	68.4	33.8	45.1	24.5	78.5	48.5	35.0	3.8	1.3	3.4	50.9	1.3	78.5	399.9
1978-79	61.8	14.3	45.0	36.5	39.0	26.8	91.4	99.0	6.3	11.3	98.6	72.6	6.3	99.0	602.6
1979-80	42.0	199.0	26.4	28.0	51.5	46.2	38.9	178.4	53.0	11.1	43.0	22.0	11.1	199.0	739.5
1980-81	142.0	23.8	76.0	39.0	20.0	63.0	47.0	16.0	15.5	22.0	39.0	29.5	15.5	142.0	532.8
1981-82	106.0	38.0	46.0	5.0	16.5	69.8	85.0	57.1	15.8	6.0	38.0	48.0	5.0	106.0	531.2
1982-83	71.0	88.0	65.0	37.0	20.0	60.1	18.0	57.5	114.5	23.7	9.4	57.6	9.4	114.5	621.8
1983-84	21.0	54.0	36.0	53.0	46.0	27.1	51.7	4.2	8.0	7.0	61.1	15.5	4.2	61.1	384.6
1984-85	2.0	35.0	4.0	59.5	1.2	34.0	50.0	40.0	14.0	3.5	9.0	10.0	1.2	59.5	262.2
1985-86	23.0	102.0	15.0	23.5	61.0	19.0	8.0	6.2	3.0	41.0	14.0	6.0	3.0	102.0	321.7
1986-87	31.5	11.2	6.8	13.5	24.2	51.1	51.3	35.4	1.5	11.4	4.5	5.5	1.5	51.3	247.9
1987-88	71.0	62.0	4.0	4.5	10.2	20.5	34.5	4.0	17.0	20.0	4.0	29.5	4.0	71.0	281.2
1988-89	16.0	51.1	14.0	3.0	26.0	34.5	26.4	53.0	4.2	25.1	52.0	82.0	3.0	82.0	387.3
1989-90	41.9	28.9	21.9	4.7	60.0	11.3	33.2	41.1	1.2	18.5	38.1	19.8	1.2	60.0	320.6
1990-91	97.0	41.5	89.0	12.0	44.0	25.0	82.9	61.7	14.0	19.7	43.6	84.5	12.0	97.0	614.9
1991-92	20.4	51.6	0.6	2.0	1.8	11.0	94.0	72.8	61.1	32.5	5.0	8.5	0.6	94.0	361.3
1992-93	66.5	24.4	61.5	13.0	6.5	23.2	27.0	59.0	35.5	9.0	8.5	9.3	6.5	66.5	343.4
1993-94	75.5	52.0	20.5	90.0	21.5	15.0	79.7	3.7	22.3	69.0	25.5	8.0	3.7	90.0	482.7
1994-95	48.8	29.5	52.0	14.0	14.0	30.0	30.5	95.0	12.5	71.5	60.8	54.5	12.5	95.0	513.1
1995-96	60.0	28.8	112.5	67.8	42.0	32.1	35.3	30.1	6.9	33.9	24.0	71.9	6.9	112.5	545.3
1996-97	28.6	46.1	68.4	22.6	2.2	19.1	28.8	34.0	32.2	50.1	34.0	14.0	2.2	68.4	380.1
1997-98	77.4	53.0	37.1	18.0	53.1	11.0	21.2	105.8	7.6	12.2	34.2	63.2	7.6	105.8	493.8

4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η λεκάνη μελέτης ανήκει στην Πελαγονική Ζώνη (Χάρτης 6) και πιο συγκεκριμένα στο βορειότερο τμήμα της επί Ελληνικού Εδάφους.



Χάρτης 6: Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδος με την περιοχή μελέτης (Από Μουντράκη 1985).

4.1. Παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική θέση της Πελαγονικής

Η Πελαγονική καθορίστηκε από τον Kossmat (1924) με την ονομασία «Πελαγονική μάζα και το κάλυμμα της» επειδή συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (μάζα), πάνω στα οποία υπάρχουν Μεσοζωικά ιζήματα (κάλυμμα). Ο όρος «Πελαγονική ζώνη» καθιερώθηκε από τους Brunn (1956) και Aubouin (1957) στα πλαίσια της διαίρεσης της Ελλάδας σε αλπικές ισοπικές ζώνες. Στη διαίρεση αυτή δόθηκε στην Πελαγονική η έννοια του υβώματος που χώριζε την αύλακα της Αλμωπίας στα Ανατολικά από την αύλακα της Πίνδου στα

Δυτικά. Η υποθαλάσσια ράχη της Πελαγονικής πιστεύονταν ότι διακόπτονταν από δυο διαύλους (βυθίσματα), στις περιοχές Κοζάνης και Κεντρικής Εύβοιας, δια μέσου των οποίων επικοινωνούσαν οι δύο αύλακες.

Στη διάρκεια του Μεσοζωικού η ιζηματογένεση στην Πελαγονική ήταν ανθρακική, καθαρά νηριτική με εξαίρεση τις δύο παραπάνω περιοχές όπου εμφανίζονται πελαγικά ιζήματα μαζί με οφειολιθικές μάζες και γιαυτό το λόγο θεωρήθηκαν δίαυλοι.

Οι σύγχρονες απόψεις θεωρούν την Πελαγονική ένα μεγάλο ηπειρωτικό τέμαχος, τμήμα της Κιμμερικής ηπείρου που αποσπάστηκε από την Gondwana και εκατέρωθεν του οποίου αναπτύχθηκαν δυο ωκεάνιες περιοχές της Παλαιο-Τηθύος (ζώνη Αξιού) και Νέο - Τηθύος (Υποπελαγονική Πίνδου) από τις οποίες προήλθαν με επώθηση οι οφειόλιθοι (Μουντράκης 1983).

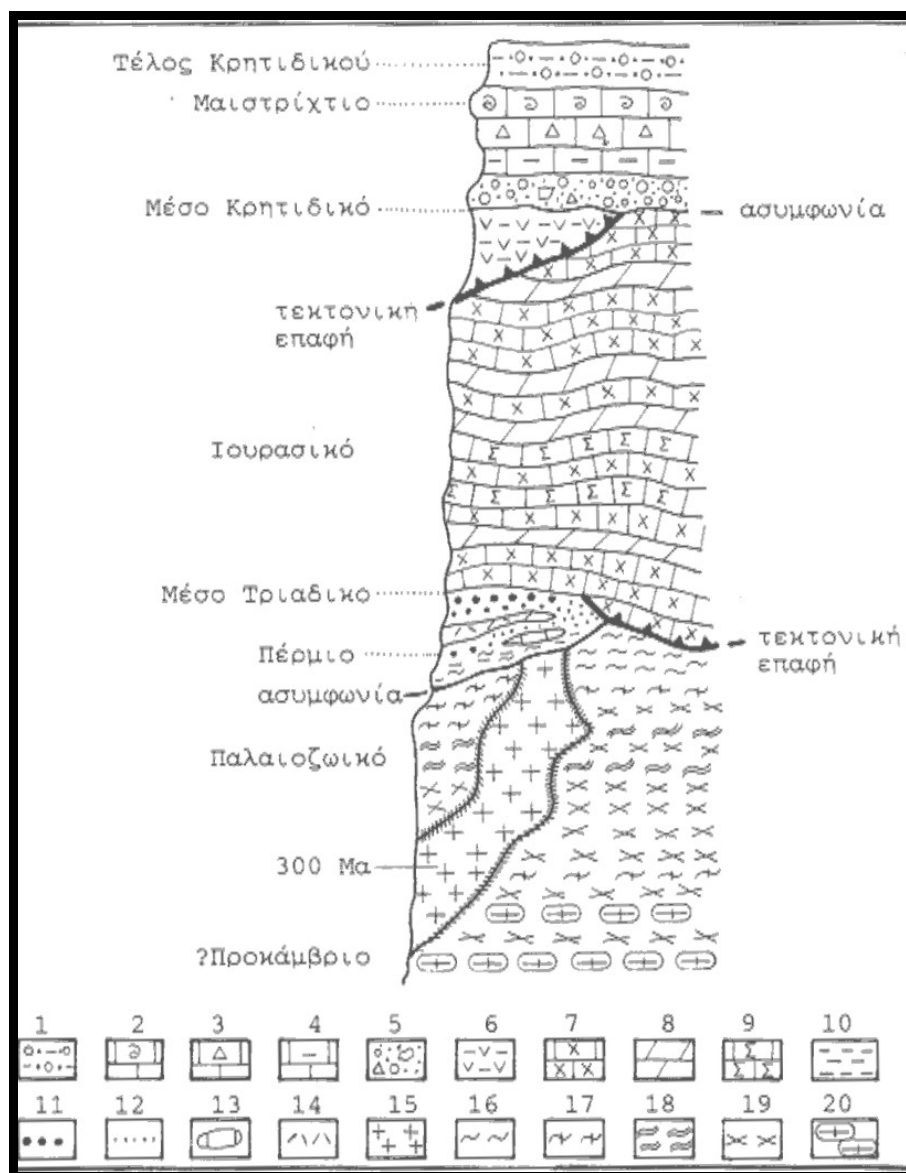
Οι δύο περιοχές που αναφέρθηκαν παραπάνω ως δίαυλοι είναι απλά δυο περιοχές όπου διατηρούνται οι μάζες των οφειολίθων και των συνοδών ιζημάτων που προήλθαν με επώθηση από τους δυο ωκεάνιους χώρους.

Η Πελαγονική ζώνη με διεύθυνση ΒΒΔ - ΝΝΑ εκτείνεται από τη Γιουγκοσλαβία προς τους Ελληνικούς ορεινούς όγκους του Βόρα (Καϊμακτσαλάν 2524m), του Βέρνου (Βίτσι 2128), του Βέρμιου, των Πιερίων, του Ολύμπου, του Πηλίου και της Βόρειας Εύβοιας, στη συνέχεια κάμπτεται προς τις Σποράδες και περιλαμβάνει τα νησιά Σκιάθος, Σκόπελος, Σκύρος. Πιθανή προέκταση της Πελαγονικής στο Αιγαίο είναι τα νησιά Οινούσες (Βόρεια της Χίου) από όπου η ζώνη περνάει στη Βόρεια Μικρά Ασία.

Πάντως η προέκταση της Πελαγονικής μετά την Εύβοια θεωρείται ευρύτερο γεωλογικό πρόβλημα, ενώ είναι πολλοί που πιστεύουν ότι η Πελαγονική προεκτείνεται στην Αττικοκυκλαδική μάζα.

4.2. Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη και τεκτονική δομή της Πελαγονικής

Η Πελαγονική ζώνη συγκροτείται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, τους γνευσιωμένους γρανίτες, τα ημιμεταμορφωμένα Περμο - Τριαδικά πετρώματα, τα δύο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού - Ιουρασικού, τους οφειόλιθους και τα Άνω κρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Συνοπτική λιθοστρωματογραφική - τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. 1 - 5: Επικλυσισγενή ιζήματα Μέσου - Άνω Κρητιδικού. 1: Φλύσχης Άνω Μαιστριχτίου - Κάτω Παλαιοκαίνου, 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλο - λατυποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα. 7-9: πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού- Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίτες, 10-14: πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου - Κάτω Τριαδικού, 10: μετα-πελίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετα - κροκαλοπαγή, 12: μετα - ψαμμίτες, μετα-αρκόζες, 13: φακοί ασβεστολίθων, 14: μετα-ρυσόλιθοι, μετα-τόφφοι, 15: γνευσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, 16-20: πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου Παλαιοζωικής ή και προ. - Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγικοί, αμφιβολιτικοί, επιδοιτικοί), 17: διμαρμαρυγικοί - γρανατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γνεύσιοι, 20: οφθαλμογνεύσιοι. (Από Μουντράκη 1985)

α. Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.

Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου έχουν πολύ μεγάλη εξάπλωση στο χώρο της Πελαγονικής και αποτελούν το κύριο δομικό στοιχείο της ζώνης.

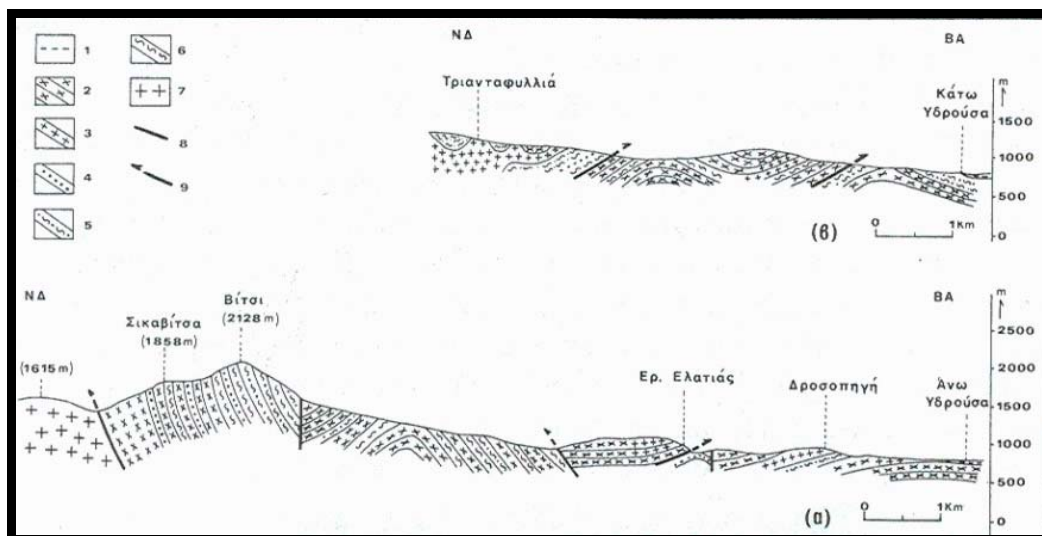
Συστηματικές έρευνες στις διάφορες περιοχές της ζώνης έδειξαν ότι το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο δεν είναι ομογενές αλλά αποτελείται από πολλές ενότητες πετρωμάτων που συνιστούν αλληπάλληλα τεκτονικά λείπια. Τέτοιες ενότητες του κρυσταλλοσχιστώδους έχουν διακριθεί στο Βόρα, στο Βέρνο, στο Λιβάδι των Πιερίων, στα Υψηλά Πιέρια.

Παρ' όλη τη διάκριση τους όλες οι ενότητες αυτές θεωρούνται παράλληλες κρυσταλλοσχιστώδεις ακολουθίες ενός κοινού υποβάθρου, οι οποίες έχουν παρόμοια λιθολογική ανάπτυξη και οι οποίες κρυσταλλώθηκαν σε όμοιες συνθήκες στο Παλαιοζωικό ή και πιο παλιά στο Προκάμβριο(Σχήματα 3 και 4).

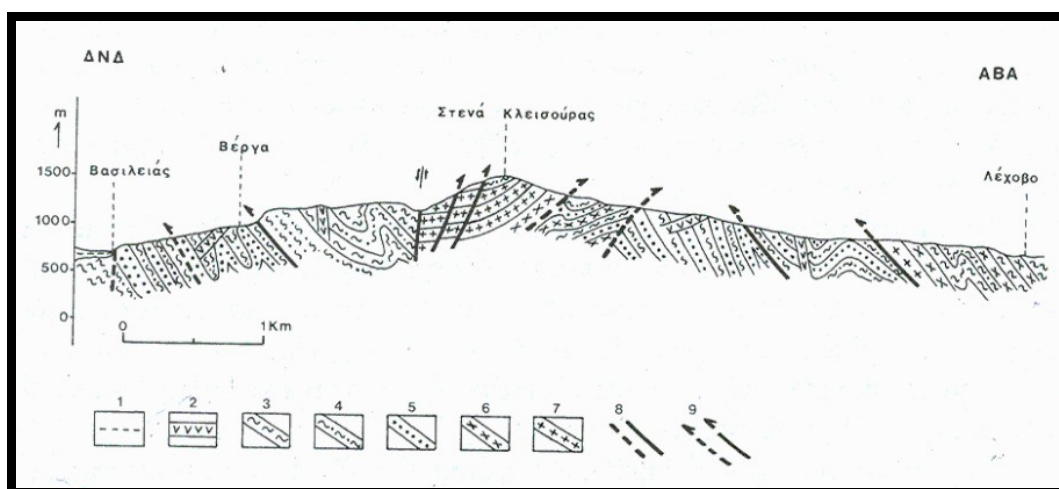
Κάθε μια λοιπόν από τις παραπάνω ενότητες αποτελείται από τους βαθύτερους ορίζοντες προς τους ανώτερους από:

- γνεύσιους βιοτιτικούς οφθαλμοειδείς ορθο - προέλευσης
- γνεύσιους ταινιωτούς, μοσχοβιτικούς πάρα - προέλευσης
- αμφιβολίτες και αμφιβολιτικούς - βιοτιτικούς σχιστόλιθους
- γρανατούχους διμαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους
- εναλλαγές αμφιβολιτικών σχιστολίθων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, επιδοιτιτικών σχιστολίθων με παρεμβολές απλιτογενευσίων.

Η μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου έγινε σε συνθήκες τις βαθύτερες της πρασινοσχιστολιθικής φάσης έως τις ανώτερες της αμφιβολιτικής και έλαβε χώρα στο Παλαιοζωικό πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο.



Σχήμα 3: Σχηματικές γεωλογικές τομές του υποβάθρου της Πελαγονικής στην περιοχή Βέρνου (Βίτσι 2128m) - Φλώρινας. 1: αλλουβιακές προσχώσεις, 2 και 3: γνεύσιοι (κυρίως ορθογνεύσιοι) 4: αμφιβολίτες, 5: αμφιβολιτικοί - βιοτιτικοί σχιστόλιθοι, 6: διμαρμαρυγικοί - γρανατούχοι σχιστόλιθοι. 7: γνευσιωμένος γρανίτης της Καστοριάς (Άνω Λιθανθρακοφόρου), 8: ρήγματα κανονικά. 9: αφιπτεύσεις - επωθήσεις. (Κατά Μουντράκη 1983).



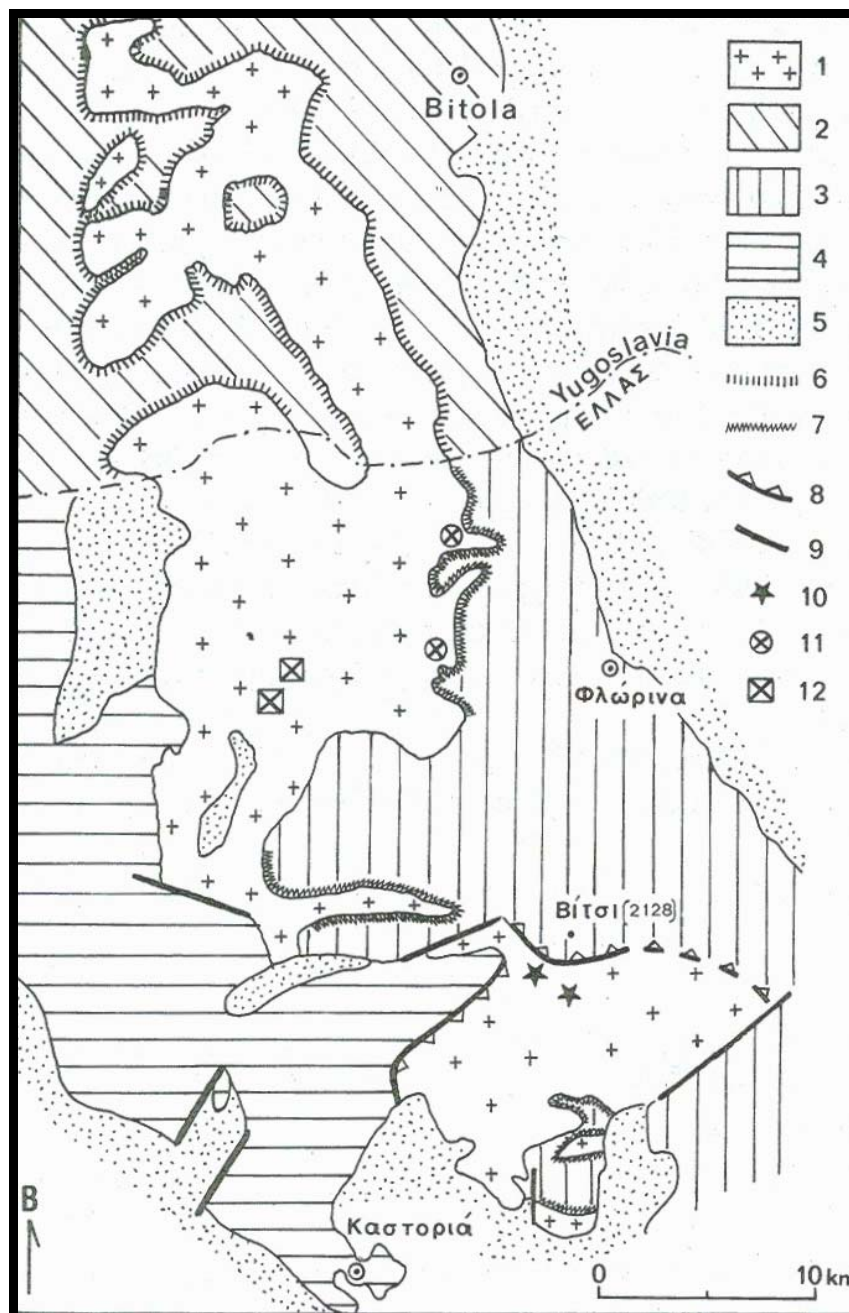
Σχήμα 4: Σχηματική γεωλογική τομή του υποβάθρου της Πελαγονικής στην περιοχή Κλεισούρας - Καστοριάς. 1: προσχώσεις, 2: φλεβικές διεισδύσεις, 3: διμαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, 4: αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι, 5: αμφιβολίτες, 6: σχιστώδεις γνεύσιοι, 7: οφθαλμογνεύσιοι, 8: ρήγματα κανονικά 9: ρήγματα ανάστροφα. (Κατά Μουντράκη 1983).

β. Οι γενεσιωμένοι γρανίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου.

Μέσα στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου σε όλη την έκταση της Πελαγονικής παρατηρούνται μεγάλοι γρανιτικοί όγκοι. Πρόκειται για παρόμοιας σύστασης και υφής παλιούς γρανίτες, πορφυριτικούς με μεγάλους κρυστάλλους αστρίων, οι οποίοι αναφέρονται συνήθως με τα ονόματα των περιοχών ανάπτυξης τους όπως Π.χ. ο γρανίτης της Φλώρινας, της Καστοριάς, του Λιβαδιού Πιερίων, του Καταφυγίου Πιερίων κ.λπ. (Χάρτης 7).

Οι γρανίτες αυτοί είναι μαγματικές διεισδύσεις μέσα στο υπόβαθρο και έχουν προκαλέσει φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα. Η ηλικία τους με ραδιοχρονολογήσεις καθορίστηκε ως Άνω Λιθανθρακοφόρος (300 εκατ. έτη).

Στη μεγαλύτερη μάζα τους οι γρανίτες εμφανίζονται γενεσιωμένοι διότι υπέστηκαν την αλπική μεταμόρφωση, στο Άνω Ιουρασικό - Κάτω Κρητιδικό, σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Εμφανίζονται επίσης πολύπλοκα συμπτυχωμένοι με τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα. Παρ' όλα αυτά έχουν παρατηρηθεί και ορισμένα τμήματα των γρανιτικών όγκων χωρίς μεταμόρφωση, όπως επίσης παρατηρήθηκαν και περισσότερες της μιας γρανιτικές διεισδύσεις που η μια διαπερνά την άλλη. Όλες αυτές οι παρατηρήσεις οδηγούν στην υπόθεση ότι υπάρχουν πιθανόν μέσα στις γρανιτικές αυτές μάζες και νεότερες (αλπικές) μαγματικές διεισδύσεις οι οποίες όμως δεν έχουν καθορισθεί με ραδιοχρονολογήσεις.



Χάρτης 7: Σχηματικός γεωλογικός χάρτης που δείχνει τον Γενετισμένο γρανίτη της Πελαγονικής στο χώρο της Βορειοδυτικής Μακεδονίας και της Νότιας Γιουγκοσλαβίας. 1: γρανίτης, 2: πετρώματα πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης της Γιουγκοσλαβίας, 3: μεταμορφωμένα πετρώματα παλιότερα του γρανίτη, 4: Περμικά και Τριαδικοϊουρασικά πετρώματα αλπικής μεταμόρφωσης, 5: μεταλικά ιζήματα, 6: κερατιτική φάση μεταμόρφωσης επαφής στη Γιουγκοσλαβία (Stojanov 1971), 7: φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής στον Ελληνικό χώρο (Κίλιας 1980), 8: επιπτεύσεις - επωθήσεις, 9: ρήγματα, 10,11,12: θέσεις ραδιοχρονολογήσεων. (Κατά Mountrakis 1984).

γ. Οι Περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες

Πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και τους γρανιτικούς όγκους του Άνω Λιθανθρακοφόρου αποτέθηκε μια κλαστική ιζηματογενής σειρά πάχους περίπου 200 m μέσα στην οποία παρεμβάλλονται ορισμένα ηφαιστειακά υλικά, όξινες και βασικές λάβες και τόφφοι.

Τα ιζήματα αυτά αποτέθηκαν στο Πέρμιο και Κάτω Τριαδικό και στη συνέχεια μαζί με τα ηφαιστειακά υλικά μεταμορφώθηκαν στη διάρκεια Ανωτέρου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης.

Τα πετρώματα που συνιστούν τις Περμοτριάδικές ακολουθίες είναι φυλλίτες, μετα-πελίτες, μετα-αρκόζες, χλωριτικοί και σερικιτικοί σχιστόλιθοι, μετα-ψαμμίτες, χαλαζιακά μετα-κροκαλοπαγή, αλληπάλληλες παρεμβολές φακών ερυθρωπών και τεφρών ανακρυσταλλωμένων ασβεστόλιθων και λατυποπαγών ασβεστόλιθων, ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, μετα-ρυόλιθοι και μετα-τόφφοι.

Οι μετακλαστικές σειρές του Περμοτριάδικού εμφανίζονται βασικά κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Πελαγονικής ζώνης και αντιπροσωπεύουν την παλιά ιζηματογένεση ηπειρωτικής κατωφέρειας, που αναπτύχθηκε την περίοδο εκείνη στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής κατά τη διάρκεια της ηπειρωτικής διάρρηξης, που οδήγησε στην ανάπτυξη της ωκεάνιας περιοχής Δυτικά της Πελαγονικής.

Συνδεδεμένα με την ίδια ηπειρωτική διάρρηξη είναι και τα ηφαιστειακά υλικά που παρεμβάλλονται μέσα στις μετακλαστικές σειρές και τα οποία αντιπροσωπεύουν την ηφαιστειότητα που αναπτύχθηκε στο χείλος της ηπειρωτικής διάρρηξης στη διάρκεια του Περμοτριάδικού.

δ. Τα ανθρακιά καλύμματα Τριαδικού – Ιουρασικού

Η κύρια Αλπική ιζηματογένεση της Πελαγονικής ζώνης είναι νηριτική, ανθρακική στη διάρκεια Τριαδικού - Ιουρασικού και τα πετρώματα της καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις της ζώνης.

Το σύνολο των ανθρακικών αυτών ιζημάτων συνηθίστηκε να ονομάζεται «Μεσοζωικό ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής» με την έννοια ότι

αντιπροσωπεύει την ιζηματογένεση του υβώματος ή σύμφωνα με τις καινούργιες απόψεις την ιζηματογένεση της ηπειρωτικής πλατφόρμας.

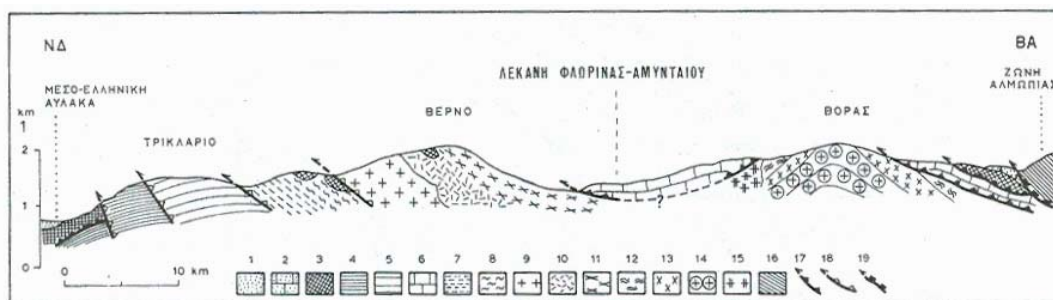
Νεότερες όμως έρευνες (Μουντράκης 1983, 1984) έδειξαν ότι πρόκειται για δύο χωριστά ανθρακικά καλύμματα που αποτέθηκαν στα δύο περιθώρια, ανατολικό και δυτικό, της Πελαγονικής ζώνης στη διάρκεια Τριαδικού- Ιουρασικού. Το δυτικό κάλυμμα είναι αυτόχθονο, αποτέθηκε από το Μέσο Ιουρασικό το Κάτω Κρητιδικό πάνω στα μετακλαστικά ιζήματα Περμίου - Κάτω Τριαδικού. Αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους λευκούς, τεφρούς, μαύρους, λατυποπαγείς, ταινιωτούς, πλακώδεις, λεπτοπλακώδεις, άστρωτους καθώς και ελάχιστες λεπτές παρεμβολές πηλινικών ενστρώσεων. Το συνολικό πάχος του καλύμματος υπολογίζεται στα 600 - 800 m.

Το δυτικό ανθρακικό κάλυμμα παρουσιάζει μια βαθμιαία μεταβολή προς Δυσμάς από καθαρά νηριτικές σε βαθύτερες (ημιπελαγικές - πελαγικές) ιζηματολογικές φάσεις γεγονός που δείχνει την παλαιογεωγραφική ανάπτυξη στα Δυτικά της Πελαγονικής ενός βαθύτερου χώρου ιζηματογένεσης που ήταν ο χώρος των ζωνών Υποπελαγονικής και Πίνδου.

Το ανατολικό ανθρακικό κάλυμμα είναι πάρα - αυτόχθονο, αποτέθηκε δηλαδή στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής προς τη ζώνη Αλμωπίας και στη συνέχεια επωθήθηκε προς Δυσμάς πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής, στο οποίο βρίσκεται σήμερα, χωρίς τη μεσολάβηση κλαστικών ιζημάτων (Σχήμα 5).

Το ανατολικό κάλυμμα συνίσταται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μάρμαρα, σιπολίνες και δολομίτες, και χαρακτηρίζεται καθαρά νηριτικό.

Και τα δυο ανθρακικά καλύμματα, ανατολικό και δυτικό, εμφανίζουν αισθητή μεταμόρφωση που έλαβε χώρα στην περίοδο Ανωτέρου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης, ανάλογη με τη μεταμόρφωση των Περμοτριάδικών μετακλαστικών ιζημάτων.



Σχήμα 5: Απλοποιημένη - σχηματική γεωλογική τομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης στην οποία φαίνονται οι ενότητες Βόρα (με αντικλινική δομή) και Βέρνου (με ανεστραμμένη λεπιοειδή διάταξη). 1: μολάσσα της Μεσοελληνικής αύλακας, 2: Ανω Κρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα, 3: οφειόλιθοι και συνοδά ιζήματα, 4: ιζήματα Υποπελαγονικής ζώνης, 5: ανθρακικό κάλυμμα Δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου, 6: ανθρακικό κάλυμμα Ανατολικού Πελαγονικού περιθωρίου, 7 και 8: μετακλαστικά ιζήματα Περμοτριάδικου, 9: γενεσιωμένος γρανίτης Άνω Λιθανθρακοφόρου, 10 και 11: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Βέρνου, 12 - 15: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Βόρα (σχιστόλιθοι, γενέσιοι, οφθαλμογενέσιοι), 16: λέπια Αλμωπίας, 17: επωθήσεις Ανωτέρου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού, 18: επωθήσεις - επιππεύσεις Τριτογενούς, 19: επώθηση ζώνης Αλμωπίας. (Κατά Μουντράκη 1983).

ε. Οι οφειόλιθοι και τα συνοδά ιζήματα

Σημαντικές οφειολιθικές μάζες παρατηρούνται στην Πελαγονική, τοποθετημένες κυρίως στα δύο περιθώρια της ζώνης, ενώ μερικές μικρές εμφανίσεις βρίσκονται διασπαρμένες και στο εσωτερικό της.

Οι οφειόλιθοι της Πελαγονικής είναι αλλόχθονοι και προέρχονται από τις δυο ωκεάνιες περιοχές των ζωνών Αξιού και Υποπελαγονικής που βρίσκονταν εκατέρωθεν της Πελαγονικής. Από τις δύο ωκεάνιες περιοχές οι οφειόλιθοι, μαζί με τα συνοδεύοντα αυτούς ιζήματα βαθιάς θάλασσας, επωθήθηκαν πάνω στα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά καλύμματα των δυο Πελαγονικών περιθωρίων (Σχήματα 6 και 7).

Υπολείμματα των επωθημένων αυτών μαζών αποτελούν και οι δύο μεγάλες περιοχές οφειολίθων και ιζημάτων βαθιάς θάλασσας που αναφέρθηκαν στην εισαγωγή και οι οποίες είχαν ονομασθεί διάλοιοι της Κοζάνης και της Εύβοιας. Στην πραγματικότητα είναι τμήματα των διπλανών ωκεάνιων ζωνών που επωθήθηκαν πάνω στην Πελαγονική.

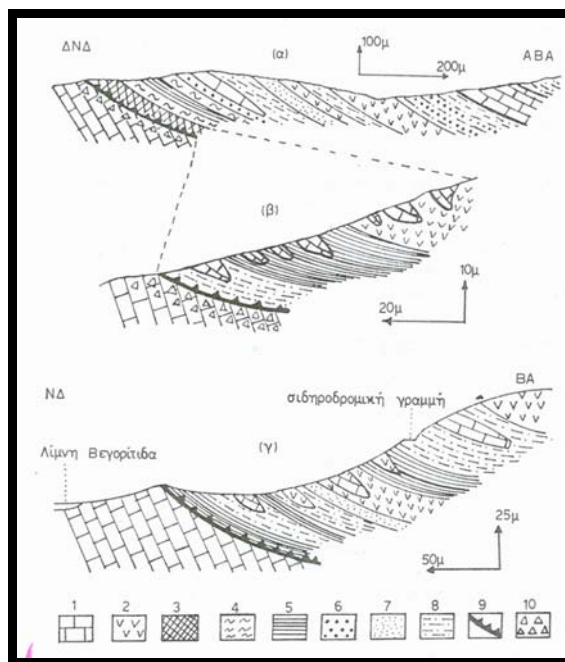
Ο διάυλος της Κοζάνη κατέχεται από την μεγάλη οφειολιθική μάζα του βουνού Βούρινος που βρίσκεται τεκτονικά τοποθετημένη στο δυτικό Πελαγονικό περιθώριο. Στο δυτικό περιθώριο βρίσκεται επίσης και η οφειολιθική μάζα της Καστοριάς με προέλευση επίσης από την Υποπελαγονική ζώνη.

Στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένοι πάνω στο Τριαδικοϊουρασικό ανθρακικό κάλυμμα οι οφειολιθικές μάζες της Αρνισσας - Βεγορίτιδας και του Βερμίου με προέλευση τη ζώνη Αξιού.

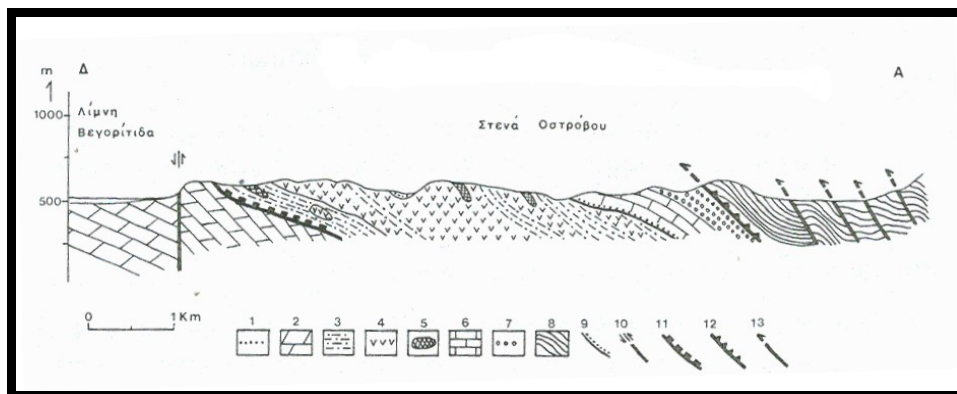
Οι παραπάνω οφειολιθικές μάζες (ιδίως η μεγάλη εμφάνιση του, Βουρίνου) αποτελούνται από όλα τα πετρώματα της οφειολιθικής ακολουθίας, δηλαδή από σερπεντινιωμένους δουνίτες, χαρτσβουργίτες και άλλα υπερβασικά, γάβρους, νορίτες και άλλα βασικά πετρώματα, pillow lavas, διαβάσες και άλλα βασικά ηφαιστειακά και τόφους.

Τα συνοδά ιζήματα είναι ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι, αργιλικοί σχιστόλιθοι, ασβεστίτικοι πυριτιόλιθοι, πελαγικοί ασβεστόλιθοι και κλαστικά ιζήματα με υλικά προερχόμενα από βασικά μαγματικά πετρώματα.

Κατά την επώθηση των οφειολίθων πάνω στα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά καλύμματα των δύο Πελαγονικών περιθωρίων σχηματίσθηκαν χαρακτηριστικά τεκτονικά οφειολιθικά μίγματα (melanges). Μικρά και μεγάλα τεμάχια (μπλοκ) αποσπαστήκαν από τα υποκείμενα ανθρακικά πετρώματα και σφηνώθηκαν μέσα στη βάση (πέλμα) του οφειολιθικού τεκτονικού καλύμματος προκαλώντας ταυτόχρονα και μια τεκτονική ανάμειξη οφειολίθων - ιζημάτων βαθιάς θάλασσας με αποτέλεσμα τον σχηματισμό των πολύχρωμων τεκτονικών μιγμάτων (Σχήματα 6 και 7).



Σχήμα 6: Σχηματικές γεωλογικές τομές της επώθησης των οφειολίθων πάνω στα τριαδικοϊουρασικά μάρμαρα, και του σχηματισμού των οφειολιθικών μιγμάτων, (α): τομή στο δρόμο της Άρνισσας, (β): λεπτομερειακή παρουσίαση της ζώνης των οφειολιθικών μιγμάτων, (γ): στη Λίμνη Βεγορίτιδα. 1: μάρμαρα Τριαδικού - Ιουρασικού υποκείμενα και σε τεκτονικά μπλοκ, 2: οφειόλιθοι, 3: ζώνη οφειολιθικών μιγμάτων, 4 - 8: συνοδά ημιμεταμορφωμένα ιζήματα, 9: επώθηση, 10: τεκτονικό λατυποπαγές. (Κατά Μουντράκη & Σούλιο 1978).



Σχήμα 7: Σχηματική γεωλογική τομή στο χώρο της Βόρειας Πελαγονικής στην περιοχή Άρνισσας μεταξύ της λίμνης Βεγορίτιδας και των «Στενών του Οστρόβου». 1: προσχώσεις, 2: μάρμαρα Τριαδικού - ιουρασικού, 3 - 5: οφειόλιθοι και συνοδά πετρώματα 3: ημιμεταμορφωμένα ιζήματα, 4: οφειολιθικά πετρώματα, 5: τεκτονικοί φακοί μαρμάρων, υπό μορφή «τεκτονικών μιγμάτων», 6: ασβεστόλιθοι - Άνω Κρητιδικού, 7: φλύσχης Ανωτέρου Μαιστριχτίου - Κάτω Παλαιοκαίνου, 8: σχηματισμοί ζώνης Αλμωπίας, 9: επίκλυση, 10: κανονικό ρήγμα, 11: τεκτονική επαφή (επώθηση) του συνόλου οφειολίθων και συνοδών πετρωμάτων πάνω στα Τριαδικοϊουρασικά μάρμαρα, 12: επώθηση της ζώνης Αλμωπίας πάνω στην Πελαγονική, 13: ενδοζωνικές λεπίσσεις της Αλμωπίας (Από Μουντράκη 1985).

ζ. Τα Επικλυσισγενή ιζήματα Μέσου - Άνω Κρητιδικού

Μετά την ανάδυση των εσωτερικών ζωνών στην Άνω Ιουρασική – Κατώ κρητιδική ορογένεση και τη χέρσωση που ακολούθησε, είχαμε ως γνωστόν την επίκλυση της θάλασσας Μέσου - Άνω Κρητιδικού. Τα ιζήματα της επίλυσης τοποθετούνται με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα ανθρακικά πετρώματα (μάρμαρα, ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, δολομίτες κλπ) των Τριαδικοϊουρασικών καλυμμάτων, που εν τω μεταξύ είχαν πτυχωθεί στην ορογενετική περίοδο, είτε ακόμα τοποθετούνται με επικλυσισγενή ασυμφωνία πάνω στους οφειόλιθους και τα συνοδά τους πελαγικά ιζήματα όπου βέβαια υπάρχουν τέτοια.

Η επίκλυση άρχισε γενικά το Κενομάνιο - Τουρώνιο του Μέσου Κρητιδικού αλλά σε ορισμένες περιοχές φαίνεται ότι καθυστέρησε και εκδηλώθηκε στο Άνω Κρητιδικό (Σαντώνιο ή και Μαιστρίχτιο).

Αναλυτικά η στρωματογραφική διάρθρωση του Μέσο - Άνω Κρητιδικού έχει ως εξής από κάτω προς τα πάνω:

- κροκαλοπαγή, μικρολατυποπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι ηλικίας Κενομανίου - Τουρώνιου.
- μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι ηλικίας Σαντωνίου - Καμπανίου
- συμπαγής ασβεστόλιθος με απολιθώματα *Orbitoides media* του Μαιστρίχτιου
- φλύσχης που στην αρχή είναι σχιστώδης ασβεστιτικός, εξελίσσεται σε ασβεστοπηλιτικό - ψαμμιτικό και καταλήγει σε πηλιτικό - κροκαλοπαγή. Η ηλικία του είναι Άνω Μαιστρίχτιου - αρχές Παλαιοκαίνου (:)

Μεταμόρφωση των σχηματισμών. Μυλονιτώση

Συμπερασματικά στα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης επέδρασαν δυο μεταμορφώσεις. Η πρώτη έλαβε χώρα το Παλαιοζωικό, πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο και μεταμόρφωσε το κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο σε συνθήκες κάτω πρασινοσχιστολιθικής φάσης, μέχρι και της άνω αμφιβολιτικής φάσης. Η δεύτερη, αλπική μεταμόρφωση, έλαβε χώρα το Ανώτερο Ιουρασικό - Κάτω Κρητιδικό και μεταμόρφωσε μαζί τους γρανίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου, τις μετακλαστικές σειρές Περμίου - Κάτω Τριαδικού και τα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά καλύμματα σε συνθήκες χαμηλής(άνω) πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

Η αλπική μεταμόρφωση επηρέασε βέβαια και το ήδη μεταμορφωμένο Παλαιοζωικό υπόβαθρο στο οποίο επέδρασε ως ανάδρομη μεταμόρφωση. Η επίδραση αυτή διαπιστώνεται και με ραδιοχρονολογήσεις του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου οι οποίες δίνουν ηλικίες μεταμόρφωσης 98 -140 Ma, που αφορούν τη 2η αλπική μεταμόρφωση Ανωτέρου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού.

Τέλος σε ορισμένες περιοχές της Πελαγονικής ζώνης παρατηρείται κατά θέσεις η ανάπτυξη μεταμόρφωσης υψηλών πιέσεων (γλαυκοφανιτικής) που οφείλεται σε νεότερα τεκτονικά γεγονότα μεγάλων επωθήσεων.

Ένα άλλο σημαντικό φαινόμενο που παρατηρείται στην Πελαγονική ζώνη είναι οι αλληπάλληλες ζώνες μυλονιτίωσης. Συγκεκριμένα μεγάλα τμήματα των γνευσιωμένων γρανιτών και ορισμένοι από τους οφθαλμοειδείς γνευσίους του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου είναι έντονα μυλονιτιωμένοι και προέρχονται από αρχικά γρανιτικά πετρώματα που μετατράπηκαν κατά διαδοχικά στάδια σε πρωτομυλονίτες (οφθαλμογενεύσιους), μυλονίτες (σχιστώδεις γνεύσιους) και υπερμυλονίτες (φυλλονίτες). Τα έντονα αυτά μυλονιτικά φαινόμενα συνδέονται πιθανόν με τις μεγάλες επωθητικές κινήσεις της Πελαγονικής ζώνης και ίσως μάλιστα με τη βύθιση του ωκεάνιου φλοιού της δυτικής λεκάνης και την επώθηση των οφειόλιθων της Υποπελαγονικής ζώνης πάνω στο ηπειρωτικό περιθώριο της Πελαγονικής.

4.3. Τεκτοορογενετική Εξέλιξη της Πελαγονικής

1^η παραμορφωτική φάση (ERC) Ερκύνιας ηλικίας

Τα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου της Πελαγονικής υπέστησαν μια πρώτη παραμόρφωση πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο. Η φάση αυτή ήταν συµμεταμορφική µε την πρώτη μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους (συνθήκες ορίου πρασινοσχιστολιθικής - αµφιβολιτικής φάσης) και σχηµάτισε πτυχές τέλειες ισοκλινείς µικροσκοπικής ή εκατοστοµετρικής κλίµακας, αξονικής διεύθυνσης 155° - 160° αν και οι υπάρχουσες παρατηρήσεις δεν είναι πολλές.

Η παραμόρφωση αυτή σχηµάτισε επίσης την κύρια φύλλωση στα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους µε τη µορφή σχιστότητας S_1 παράλληλη στα αξονικά επίπεδα των ισοκλινών πτυχών.

2^η Ορογενετική περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού

Στην ορογενετική αυτή περίοδο έγινε η καταστροφή των δυο ωκεάνιων περιοχών Αξιού και Υποπελαγονικής - Πίνδου εκατέρωθεν της Πελαγονικής ηπειρωτικής µάζας, αποτέλεσµα της οποίας ήταν ο ισχυρός τεκτονισµός των πετρωµάτων και η επώθηση των οφειολιθικών µαζών, µε τα συνοδεύοντα αυτούς ιζήµατα βαθιάς θάλασσας, πάνω στα ηπειρωτικά περιθώρια της Πελαγονικής .

Στο Ανώτερο Ιουρασικό υπολογίζεται ότι έγινε η επώθηση των οφειολίθων από τη ζώνη Αξιού πάνω στο ανατολικό ανθρακικό κάλυµµα της Πελαγονικής µε κατεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ και συνοδεύονταν από µια φάση πτυχώσεων (JE_1). Αυτή σχηµάτισε πτυχές υποϊσοκλινείς έως ισοκλινείς αξονικής διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ (150° – 170°) και συνοδεύονταν από σχιστότητα S_2 που ήταν η δεύτερη σχιστότητα για τα πετρώµατα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου αλλά η πρώτη και κύρια σχιστότητα για τα πετρώµατα Άνω Παλαιοζωικού και Τριαδικοϊουρασικού. Στην ίδια αυτή φάση έγινε και η επώθηση του ανατολικού ανθρακικού καλύµµατος πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.

Το κλείσιµο της δυτικής ωκεάνιας λεκάνης και η επώθηση των οφειολίθων της

Υποπελαγονικής από Δ προς Α πάνω στο δυτικό ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής υπολογίζεται ότι έγινε στο Κάτω Κρητιδικό, και συνοδεύονταν από μια φάση πτυχώσεων (JE_2). Αυτή προκάλεσε πτυχές κλειστές ανοιχτές, ισοπαχείς ή όμοιες, που πολλές φορές συνοδεύονται από σχιστότητα ολίσθησης, και οι οποίες έχουν άξονες διεύθυνσης $O^\circ - 30^\circ$ και απόκλιση προς Α ή ΝΑ.

Κατά τη διάρκεια της ορογενετικής περιόδου Ανωτέρου Ιουρασικού Κάτω Κρητιδικού έγινε, όπως είδαμε, η δεύτερη (αλπική) μεταμόρφωση των σχηματισμών της Πελαγονικής. Επίσης με την ορογενετική αυτή δράση αναδύθηκε η Πελαγονική όπως και όλες οι εσωτερικές ζώνες και χέρσευσε μέχρι τη Μέσο - Άνω Κρητιδική επίκλυση.

3^η Ορογενετική περίοδος Τελικού Κρητιδικού - Μέσου Ηώκαινου. Τριτογενείς φάσεις πτυχώσεων.

Η οριστική ανάδυση της Πελαγονικής ζώνης έγινε μετά το τέλος Κρητιδικού και πριν το Μέσο Ηώκαινο.

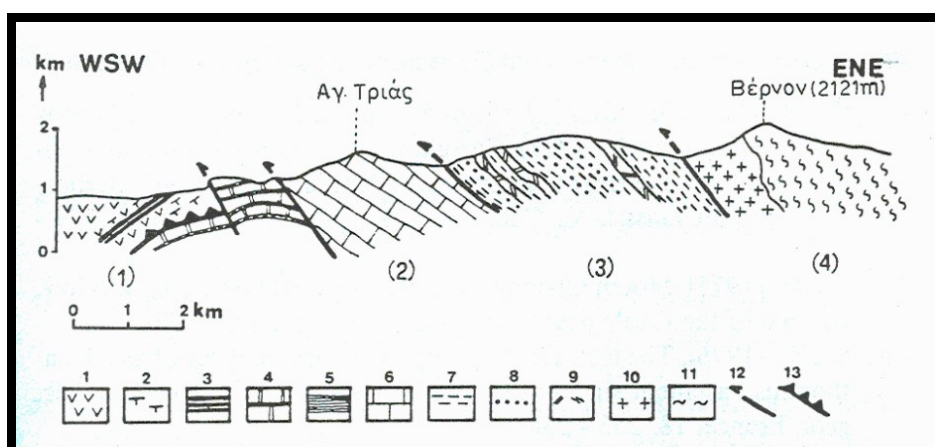
Στο διάστημα αυτό του Τριτογενούς έλαβαν χώρα δυο φάσεις πτυχώσεων: μια (CT_1) με πτυχές ανοιχτές, ισοπαχείς, γενικής αξονικής διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ και απόκλισης προς τα ΝΔ και μια άλλη (CT_2) με πτυχές κλειστές- ανοιχτές αξονικής διεύθυνσης ΒΑ - ΝΔ ($70^\circ - 80^\circ$) και απόκλισης προς τα ΝΑ. Δεν είναι εξακριβωμένο ποια από τις δυο έγινε πρώτα ή αν ακόμη ανήκουν σε μια συνεχόμενη συμπιεστική παραμόρφωση του Παλαιογενούς. Οι φάσεις πάντως αυτές σχημάτισαν μεγάλες πτυχές και σπουδαίες δομές όπως π.χ: η αντικλινική δομή του βουνού Βόρας με άξονα 125° βυθιζόμενο προς ΝΑ.

Τέλος στην περίοδο Ολιγοκαίνου - Μειοκαίνου έγινε η τελική παραμόρφωση (CT_3) των σχηματισμών προκαλώντας πτυχές κάμψης πολύ ανοιχτές και τύπου knick γενικής αξονικής διεύθυνσης Β-Ν.

Όλες αυτές οι Μεσοαλπικές φάσεις πτυχώσεων του Τριτογενούς έδρασαν στην ήδη αναδυμένη οροσειρά της Πελαγονικής και προκάλεσαν, λεπίωση των σχηματισμών και επώθηση των λεπίων από Α προς Δ. Αποτέλεσμα της λεπίωσης είναι πολλές φορές και η αναστροφή των σχηματισμών, όπως συμβαίνει Π.χ. στο

δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής στη Δυτική Μακεδονία όπου παρατηρείται πλήρης αναστροφή της δομής με τους βαθύτερους ορίζοντες να εφιππεύουν προς Δυσμάς τους ανώτερους (Σχήμα 8).

Δεν είναι απόλυτα εξακριβωμένο ποια από τις τρεις παραπάνω φάσεις του Τριτογενούς είναι κύρια υπεύθυνη για τις λεπιώσεις αν και πιστεύεται γενικά ότι τόσο οι λεπιώσεις όσο και η επώθηση του Πελαγονικού τεκτονικού καλύμματος πάνω στο παράθυρο του Ολύμπου είναι φαινόμενα συνδεδεμένα με την τελική πτύχωση CT₃ του Ολιγοκαίνου.

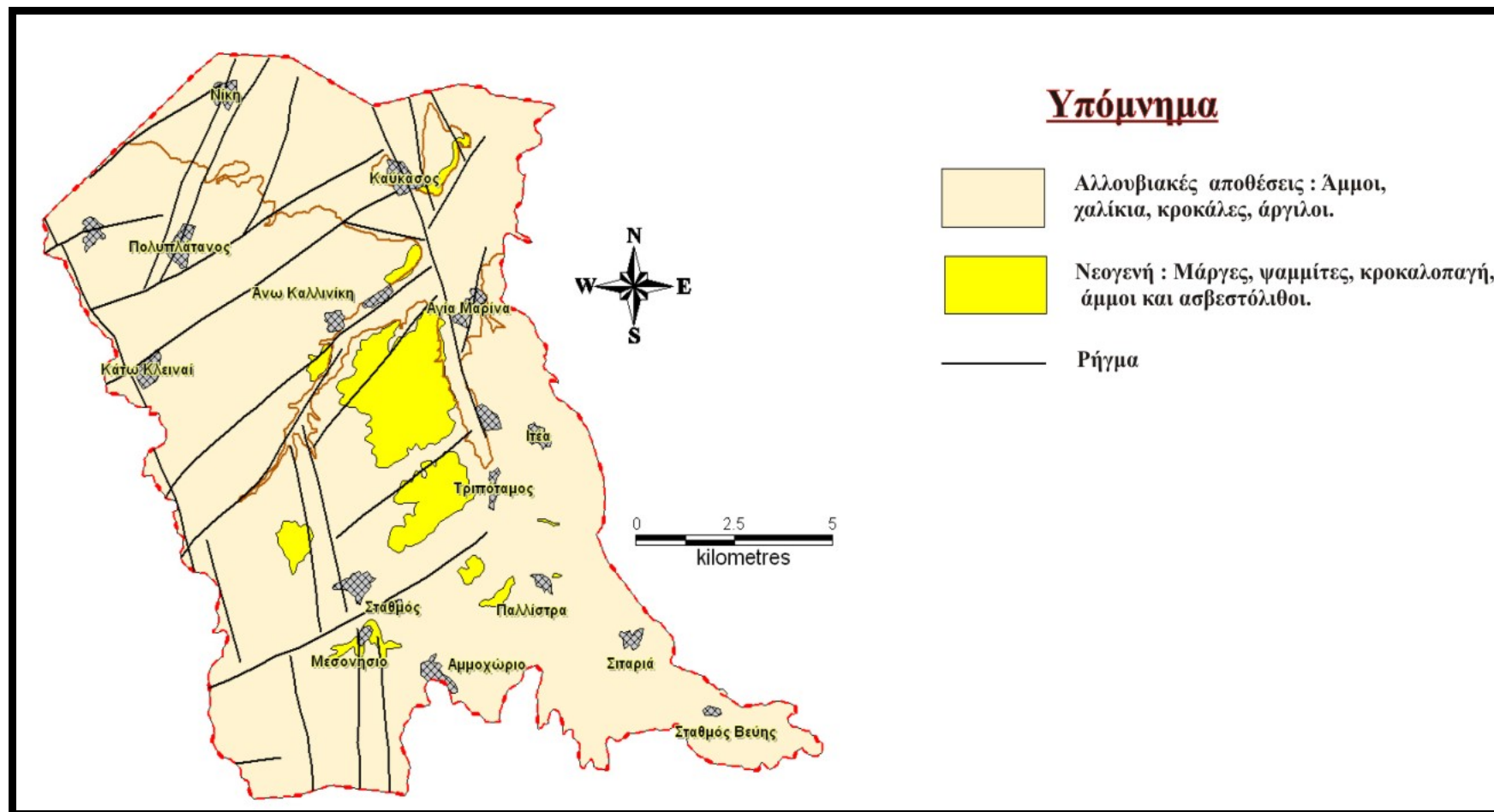


Σχήμα 8: Σχηματική γεωλογική τομή που δείχνει την ανεστραμμένη διάταξη των σχηματισμών στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής στην περιοχή Βέρνου - Καστοριάς. (1): σχηματισμοί Υποπελαγονικής ζώνης, (2): δυτικό ανθρακικό κάλυμμα Πελαγονικής, (3): μετακλαστική σειρά Περμοτριάδικου, (4): υπόβαθρο. 1: οφειόλιθοι, 2: αργιλικά ιζήματα, 3: κερατόλιθοι, 4: ασβεστόλιθοι Τριαδικού - Ιουρασικού της Πελαγονικής, 6: ασβεστόλιθοι νηριτικοί Τριαδικού - Ιουρασικού της Πελαγονικής, 7: φυλλίτες - σχιστόλιθοι, 8: μεταψαμμίτες, μετα - αρκόζες, μετα - κροκαλοπαγή, 9: ηφαιστειακά, 10: γρανίτες, 11: κρυσταλλοσχιστόδη πετρώματα του υπόβαθρου, 12: εφιππεύσεις - επωθήσεις, 13: τεκτονική τοποθέτηση των οφειολίθων στο Ανώτερο Ιουρασικό - Κάτω Κρητιδικό.

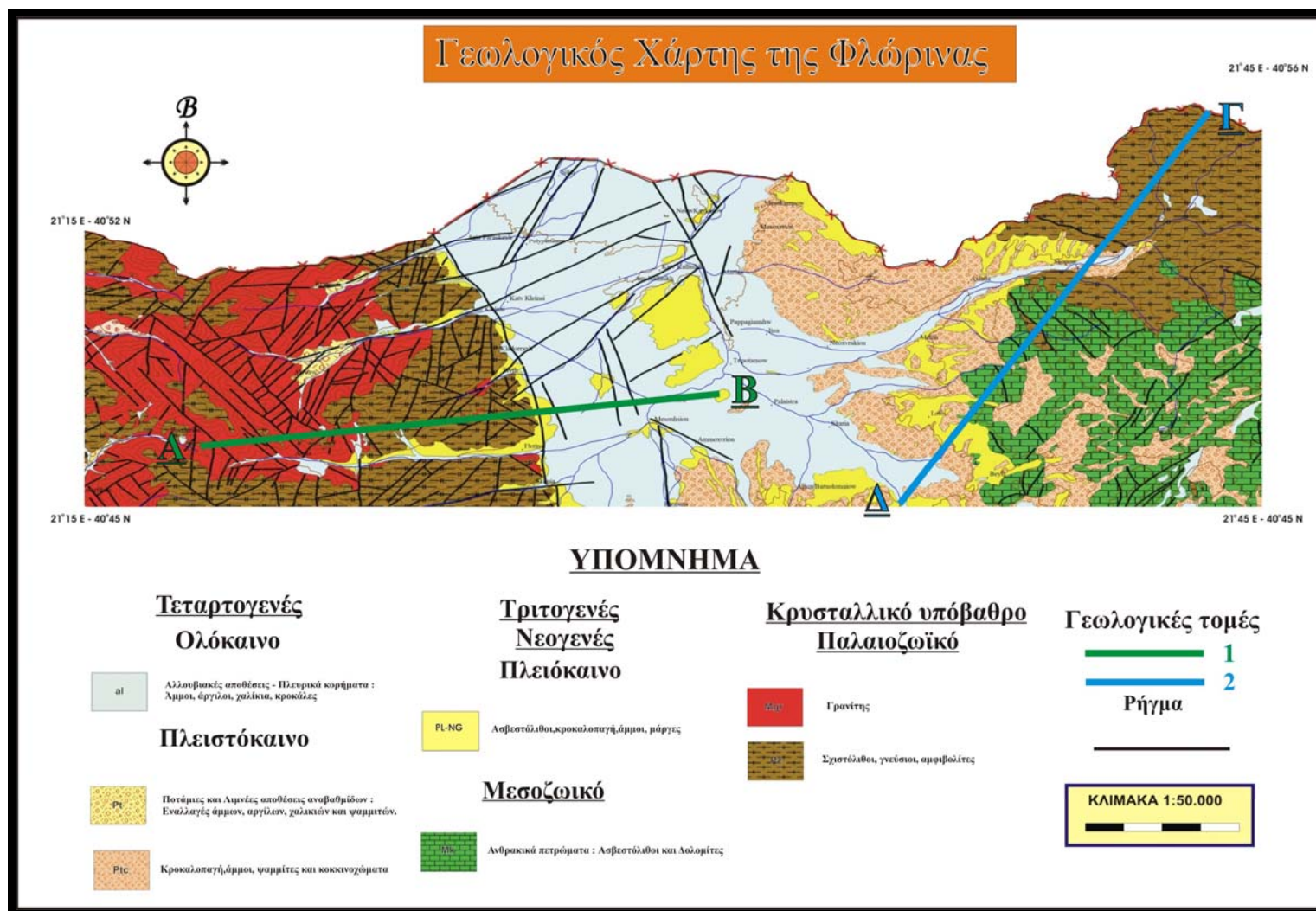
3.4. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας.

Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της πεδιάδας της Φλώρινας και ανήκει στην Πελαγονική ζώνη. Η πεδιάδα της Φλώρινας αποτελείτε από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Τα Τεταρτογενή ιζήματα είναι αλλουβιακές αποθέσεις με άμμους, χαλίκια, κροκάλες και αργίλους. Τα Νεογενή αποτελούνται από μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή άμμοι και μαργαϊκούς ασβεστολίθους (Χάρτης 8). Την αλλουβιακή πεδιάδα περιβάλλουν τρεις μεγάλοι ορεινοί όγκοι (Ορ. Βαρνούντας, Ορ. Βέρνον και Ορ. Βόρας) που αποτελούνται κυρίως από Κρυσταλλοσχιτώδει, Ανθρακικά (Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες) και Γρανιτικά πετρώματα. (Χάρτης 9). Ακολουθούν γεωλογικές τομές της περιοχής και λιθοστρωματογραφική στήλη (Σχήματα 9, 10 και 11).

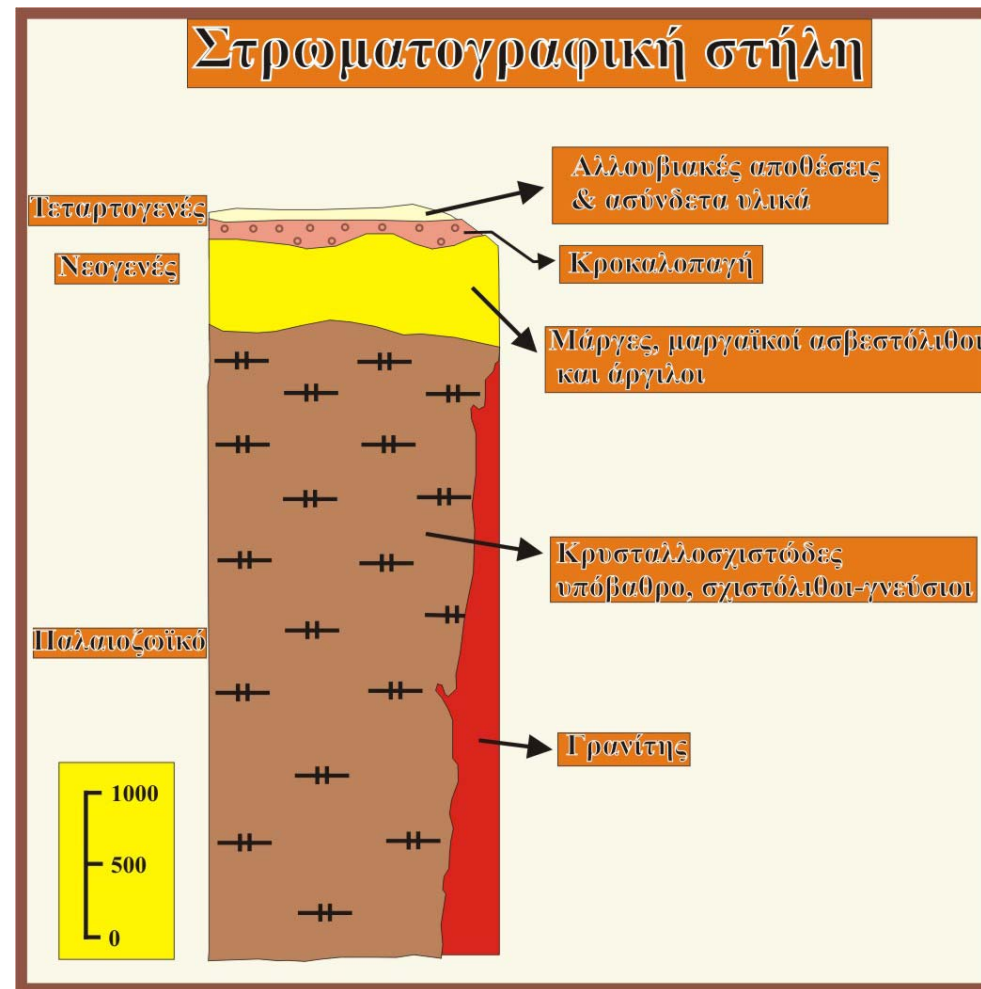
Όσον αφορά την Τεκτονική της ευρύτερης περιοχής, εμφανίζονται τρία κύρια συστήματα ρηγμάτων με διευθύνσεις BA-NΔ, BBΔ-NNA, BBA-NNΔ που επηρέασαν το μεταμορφωμένο υπόβαθρο, ενώ ένα τέταρτο νεότερο σύστημα ρηγμάτων με μέση διεύθυνση περίπου Α-Δ έχει επηρεάσει κυρίως τα νεογενή και πλειστοκαινικά ιζήματα.



Χάρτης 8: Γεωλογικός χάρτης της πεδιάδας της Φλώρινας. (Τροποποιημένος από Ι.Γ.Μ.Ε. φύλλο Βεύη-Φλώρινα)



Χάρτης 9: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Φλώρινας και περιοχή μελέτης. (Τροποποιημένος από Ι.Γ.Μ.Ε. φύλλο Βεύη-Φλώρινα)



Σχήμα 9: Στρωματογραφική στήλη της περιοχής. (Τροποποιημένος από Ι.Γ.Μ.Ε. φύλλο Βεύη-Φλώρινα)



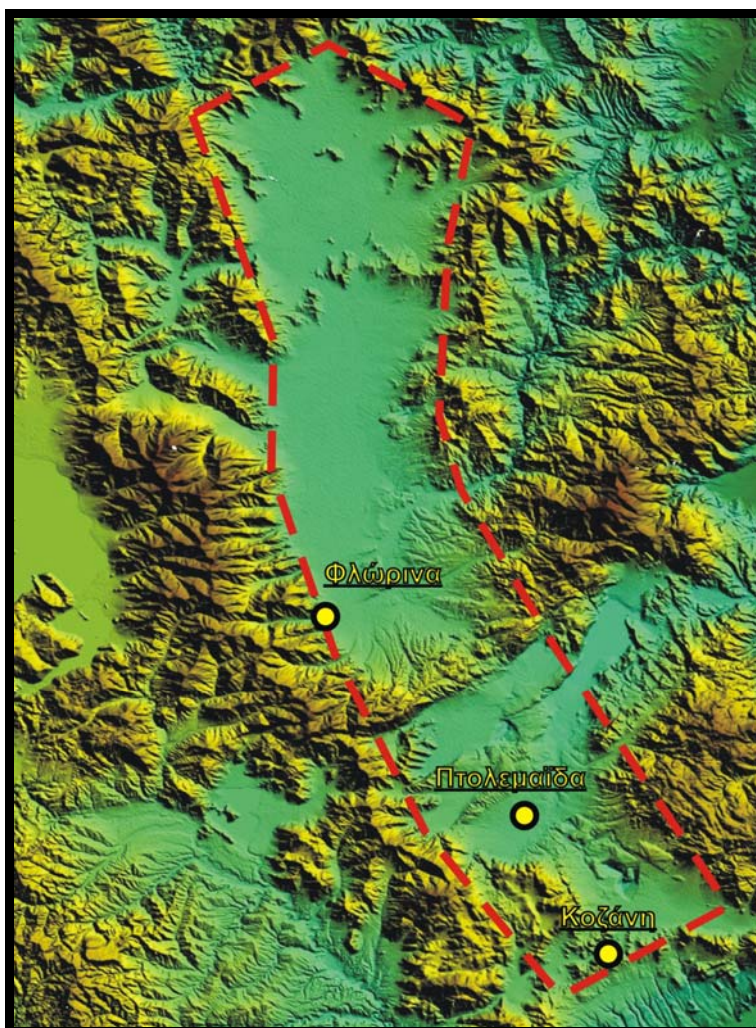
Σχήμα 10: Γεωλογική τομή 1 της περιοχής. (Τροποποιημένος από Ι.Γ.Μ.Ε. φύλλο Βεύη-Φλώρινα)



Σχήμα 11: Γεωλογική τομή 2 της περιοχής. (Τροποποιημένος από Ι.Γ.Μ.Ε. φύλλο Βεύη-Φλώρινα)

4.5. Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης της Φλώρινας

Η λεκάνη της Φλώρινας μαζί με τις λεκάνες της Κοζάνης, Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και του Μοναστηρίου, αποτελούν τμήματα μιας πολύ μεγάλης επιμήκους ενδοορεινής λεκάνης που αναπτύσσεται μεταξύ των ορεινών όγκων της Δυτικής Μακεδονίας. Η διεύθυνση του επιμήκη άξονα της είναι ΒΔ- ΝΑ και ταυτίζεται με τον ορεογραφικό άξονα των οροσειρών (Χάρτης 10).



Χάρτης 10: Λεκάνη Κοζάνης, Πτολεμαΐδας, Φλώρινας και Μοναστηρίου.

Η δημιουργία της μεγάλης αυτής λεκάνης και των επιμέρους μικρότερων λεκανών στις οποίες χωρίζεται σήμερα οφείλετε στην Τεκτονική. Η δημιουργία των λεκανών συντελέστηκε με τις τεκτονικές διεργασίες του Ανώτερου Μειοκαίνου.

Η χρονολόγηση του πρωταρχικού σχηματισμού του τεκτονικού βυθίσματος μπορεί να γίνει με βάση την ηλικία των αρχαιότερων ιζημάτων που πληρούν τα βαθύτερα τμήματα της λεκάνης. Τα μέχρι σήμερα γνωστά παλαιότερα νεογενή ιζήματα είναι τα κροκαλοπαγή της βάσης, τα οποία υπόκεινται των αμμωδών αργιλομαργών της Βεγόρας ηλικίας Ανωτέρου Μειοκαίνου - Κατώτατου Πλειοκαίνου.

Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά μια ελάχιστη ηλικία για την αρχική δημιουργία του τεκτονικού βυθίσματος θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν πιο πιθανή εκείνη του Μέσου -Ανώτερου Μειοκαίνου. Είναι γνωστό ότι την περίοδο αυτή αναπτύχθηκε ένα εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο τόσο στη Βόρεια Ελλάδα όσο και στο Αιγαίο, το οποίο πιστεύεται ότι ήταν γενικό και υπεύθυνο για τη δημιουργία μιας σειράς τεκτονικών βυθισμάτων.

Τα σχετικά με το χρονικό της εξέλιξης της λεκάνης συμπεράσματα της μελέτης συνοψίζονται στα εξής (Παυλίδης Σπ. 1985):

1. Σαν συνέπεια του εκτεταμένου εφελκυσμού του Μέσου-Ανώτερου Μειοκαίνου ο οποίος συνεχίστηκε και κατά το Πλειστόκαινο σχηματίστηκε και διευρύνθηκε το αρχικό τεκτονικό βύθισμα, το οποίο δέχτηκε τα πρώτα χερσοποτάμια ιζήματα.
2. Στο βύθισμα αυτό αναπτύχθηκε μεγάλη λίμνη μέσα στην οποία αποτέθηκαν τα πρώτα λεπτόκοκκα ιζήματα. Κατά την εφελκυστική φάση του Πλειοκαίνου τα ιζήματα αυτά ρηγματώθηκαν. Τμήματά τους κυρίως στα ανατολικά έμειναν ανυψωμένα ενώ άλλα βυθίστηκαν.
3. Κατά τη διάρκεια του Πλειόκαινου συμπληρώθηκε η λιμναία ιζηματογένεση (μάργες, άργιλοι, λιγνίτες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι). Το βάθος της λίμνης ήταν μεταβαλλόμενο εποχιακά και οι πηγές Τροφοδοσίας του υλικού ήταν τόσο τα Κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα των δυτικών περιθωρίων της λεκάνης, όσο και τα ανθρακικά των ανατολικών περιθωρίων. Κατά τη διάρκεια του Πλειόκαινου-Πλειοπλειστόκαινου εκδηλώθηκαν και τοπικά συμπιεστικά τεκτονικά επεισόδια μικρής έκτασης.
4. Από το Ανώτατο Πλειόκαινο και ιδιαίτερα από το Κατώτερο Τεταρτογενές άρχισε ένας νέος έντονος εφελκυσμός ο οποίος έφερε μεγάλη τεκτονική αναστάτωση στην περιοχή. Επαναδραστηριοποιήθηκαν μεγάλα προϋπάρχοντα ρήγματα, κύρια ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, τεμάχια βυθίστηκαν ακόμη περισσότερο, αλλά ανυψώθηκαν και

καινούργια βυθίσματα και εξάρματα δημιουργήθηκαν. Ιδιαίτερα ξεχωρίζει το μεγάλο τεκτονικό βύθισμα της λίμνης Βεγορίτιδας. το οποίο σαν ανεξάρτητο τεκτονικό βύθισμα αναπτύσσεται μεταξύ Βόρα και Βερμίου και συνεχίζει ακόμη νοτιότερα μέχρι την υπολεκάνη της Πτολεμαΐδας. Ταυτόχρονα η λιμναία ιζηματογένεση διακόπηκε και μια εκτεταμένη λιμνοδελταϊκή και χερσοποτάμια φάση έλαβε χώρα.

5. Κατά το Τεταρτογενές οι λίμνες περιορίστηκαν σημαντικά και χερσαία ιζήματα και πλευρικά ριπίδια κάλυψαν πολλές περιοχές. Τα ρήγματα λειτούργησαν μέχρι το Ανώτερο Πλειστόκαινο-Ολόκαινο. Τέλος, σε συνδυασμό πάντα με τα φαινόμενα της διάβρωσής ολοκληρώθηκαν οι διεργασίες που έδωσαν την σημερινή εικόνα της περιοχής.

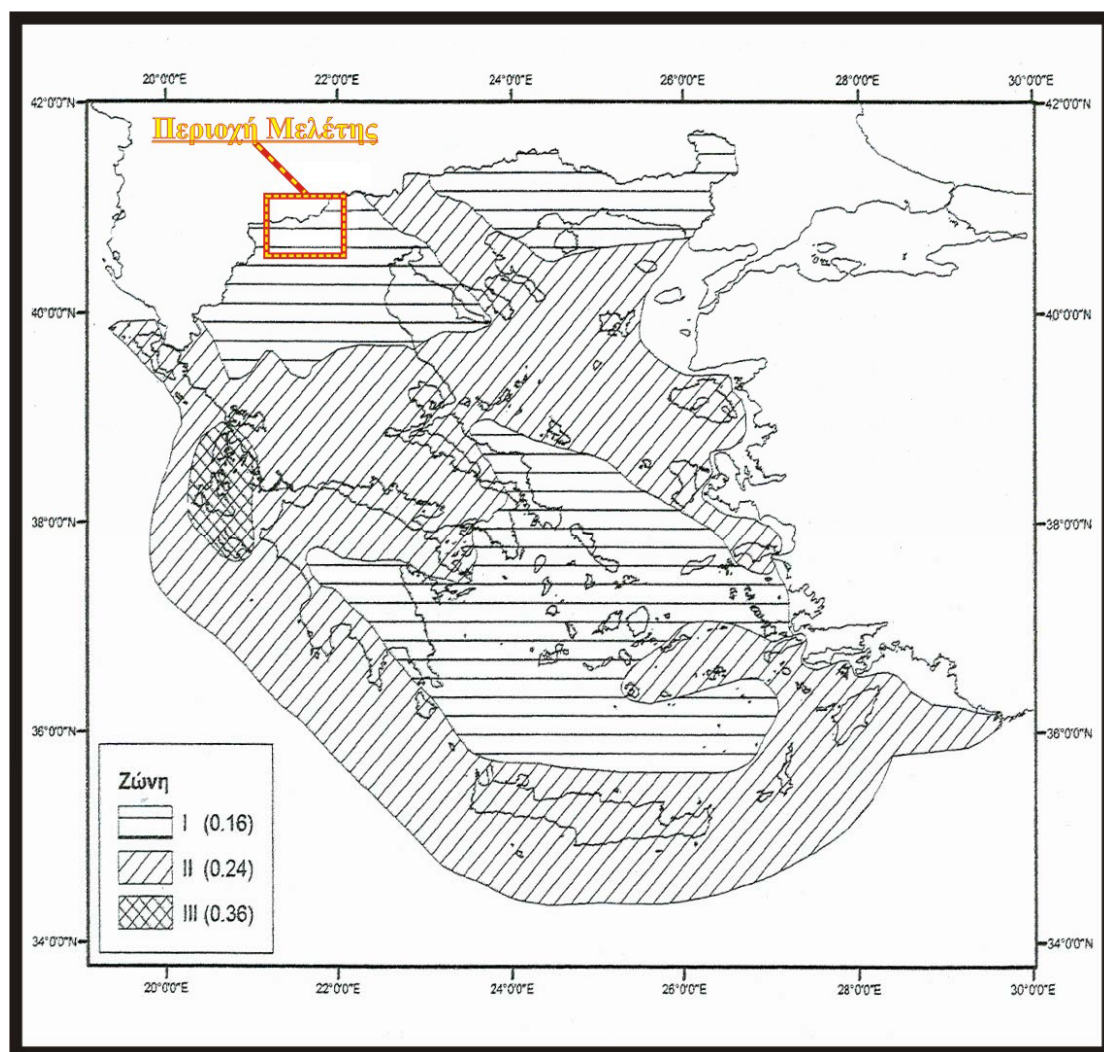
4.6. Σεισμικότητα

Η περιοχή σύμφωνα με το νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (NEAK) του 2000 και όπως αυτός τροποποιήθηκε με την με αρ. Δ17α/57/1/18-6-2003 (ΦΕΚ Β' 781/18-6-2003) απόφαση ΥΠΕΧΩΔΕ για την "τροποποίηση και συμπλήρωση του NEAK 2000", ανήκει στην Ζώνη Ι (Χάρτης 11) με τη χαμηλότερη αντισεισμική επικινδυνότητα (από τις τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας που είναι διαιρεμένος ο Ελλαδικός χώρος όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη), με προβλεπόμενη ενεργό εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού :

$$A = a \times g = 0,16 g$$

όπου a : ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας και

g : επιτάχυνση της βαρύτητας



Χάρτης 11: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδος. (Παπαζάχος 1985)

5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.

5.1. Γενικά

Οι διάφοροι σχηματισμοί που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης χαρακτηρίζονται από διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά. Αυτοί διακρίνονται: Στις Νεογενείς αποθέσεις με μικρή υδροφορία και Τεταρτογενείς αποθέσεις με σημαντική υδροφορία.

5.2. Υδρολιθολογία

5.2.1. Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις.

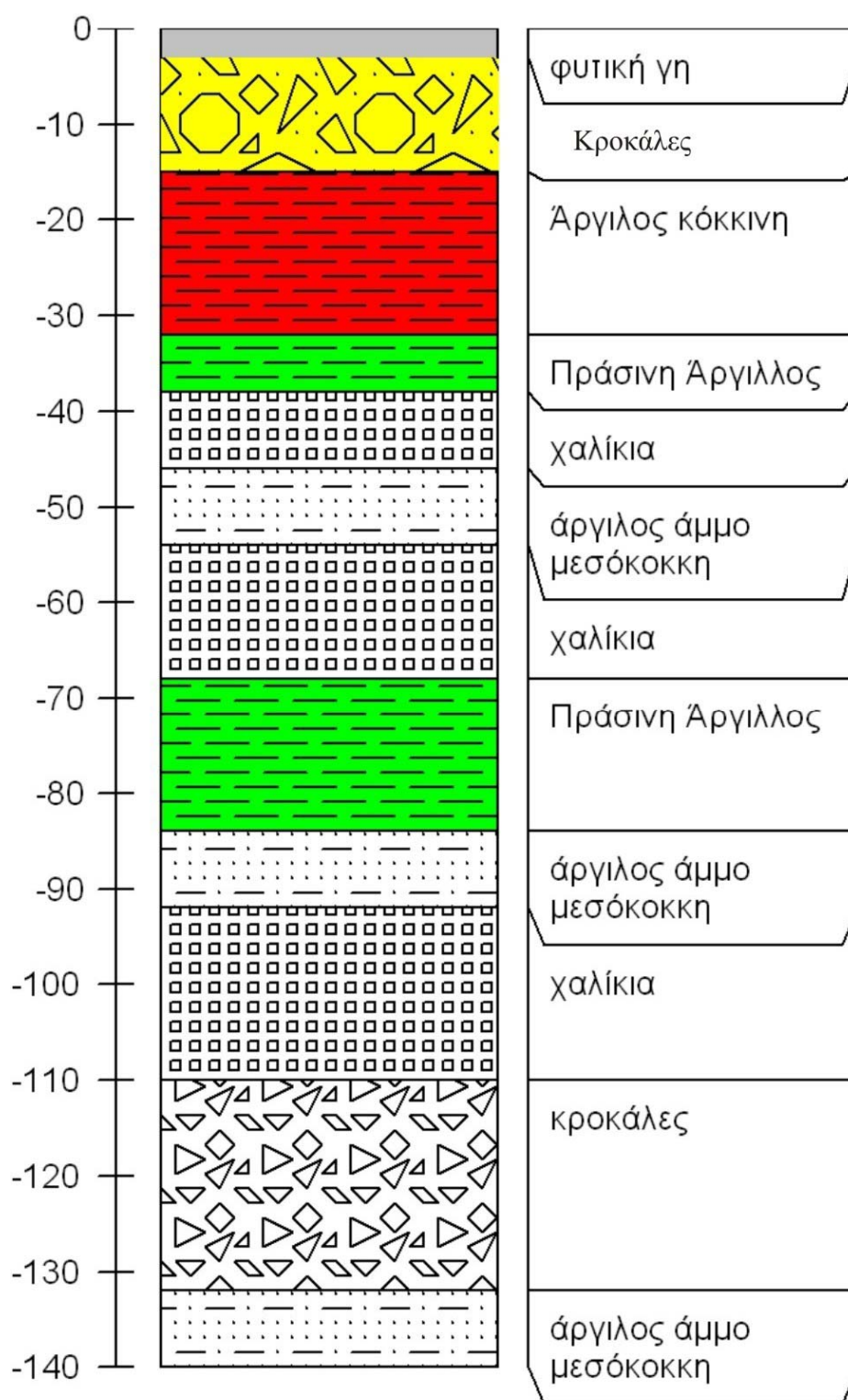
Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται η υδρογεωλογική συμπεριφορά των ιζημάτων του Μειόκαινου – Πλειο-Πλειστόκαινου καθώς και εκείνη των νεώτερων αποθέσεων του Τεταρτογενούς.

- **Νεογενή ιζήματα:** Αυτά εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης και συνίστανται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, από μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή άμμοι και μαργαϊκούς ασβεστολίθους

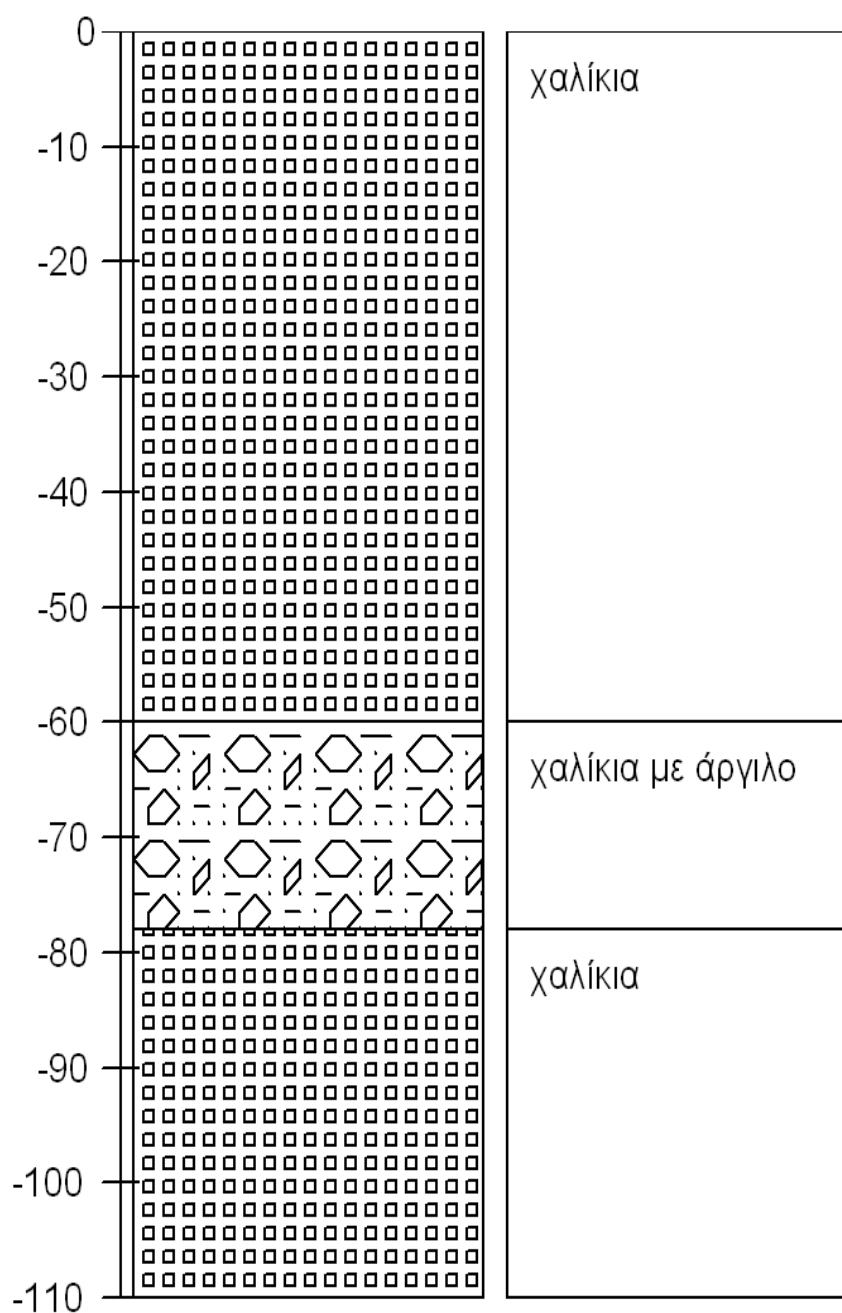
Χαρακτηρίζονται από φτωχή υδροφορία λόγω της λιθολογικής τους σύστασης, η οποία αποτελείται από αργιλομαργαϊκά ιζήματα μικρής διαπερατότητας.

- **Τεταρτογενείς Αποθέσεις:** Καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Οι αλλουβιακές αποθέσεις συνίστανται από άμμους, χαλίκια, κροκάλες, αργίλους και ποταμολιμναία υλικά που εναλλάσσονται μεταξύ τους.

Οι τιμές του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας (k) κυμαίνονται μεταξύ 10^{-4} – 10^{-8} m/sec (Πίνακας 27). Υψηλές τιμές που κυμαίνονται όμως σε ευρεία όρια έχουμε στις άμμους στα χαλίκια και στις κροκάλες. Στα σχήματα 12 και 13 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές λιθολογικές τομές από δύο γεωτρήσεις της λεκάνης και στο παράρτημα 6 επιπλέον λιθολογικές τομές. Οι θέσεις των γεωτρήσεων παρουσιάζονται στο χάρτη 12.



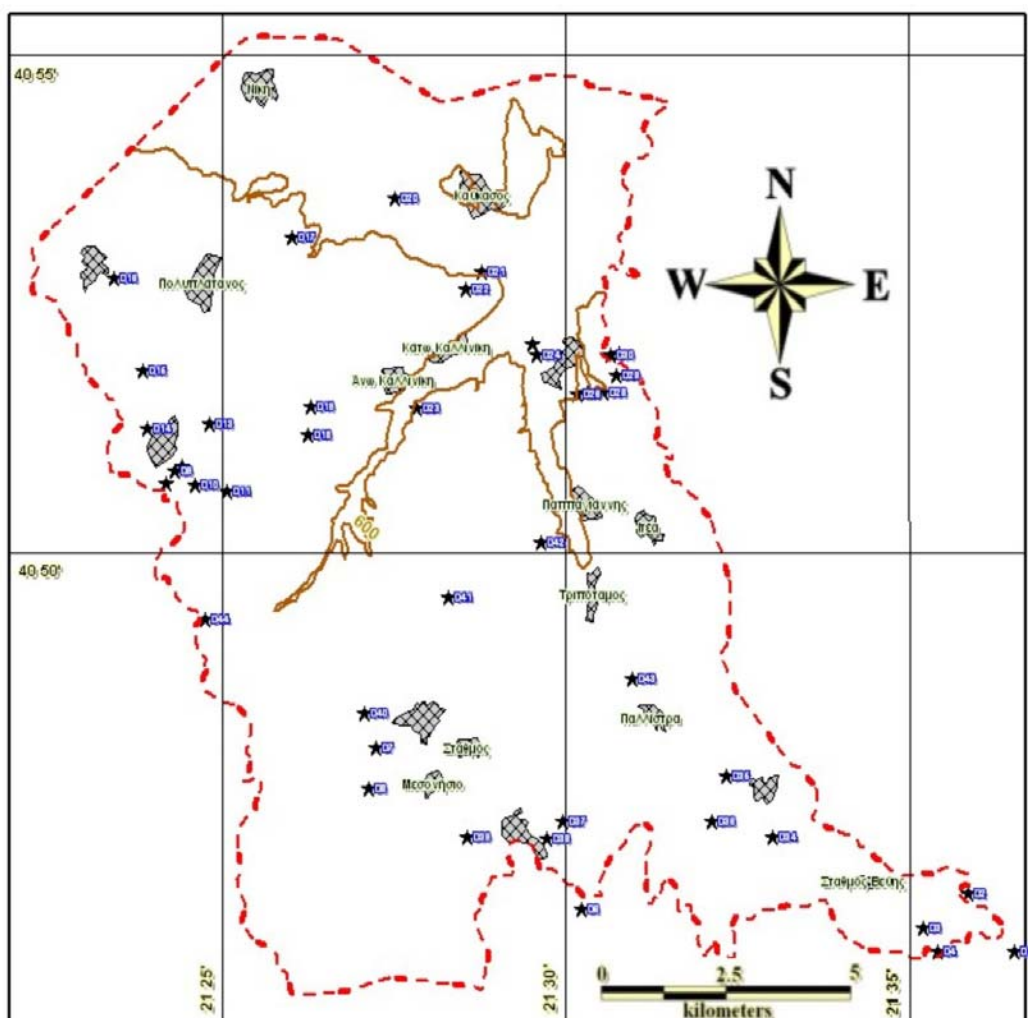
Σχήμα 12: Λιθολογική τομή της περιοχής με χαρακτηριστικά επάλληλα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα (γεώτρηση 2).



Σχήμα 13: Λιθολογική τομή της περιοχής με χαρακτηριστικό ελεύθερο υδροφόρο στρώμα (γεώτρηση 8).

5.3. Μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού – κατασκευή πιεζομετρικού χάρτη.

Κατά την περίοδο του Μαΐου 2007 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού σε 47 γεωτρήσεις (πίνακας 12). Με βάση τις μετρήσεις του πίνακα 12 κατασκευάστηκε ο χάρτης του βάθους του υπόγειου νερού από την επιφάνεια του εδάφους για την εφαρμογή των μεθόδων τρωτότητας, καθώς και ο πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής. Ο χάρτης του βάθους του υπόγειου νερού παρουσιάζεται σε επόμενες παραγράφους όπου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δεικτών DRASTIC και GOD. Ο προσδιορισμός των θέσεων έγινε με τη χρήση GPS και το υψόμετρο Z με τη χρήση τοπογραφικών χαρτών 1:5.000.



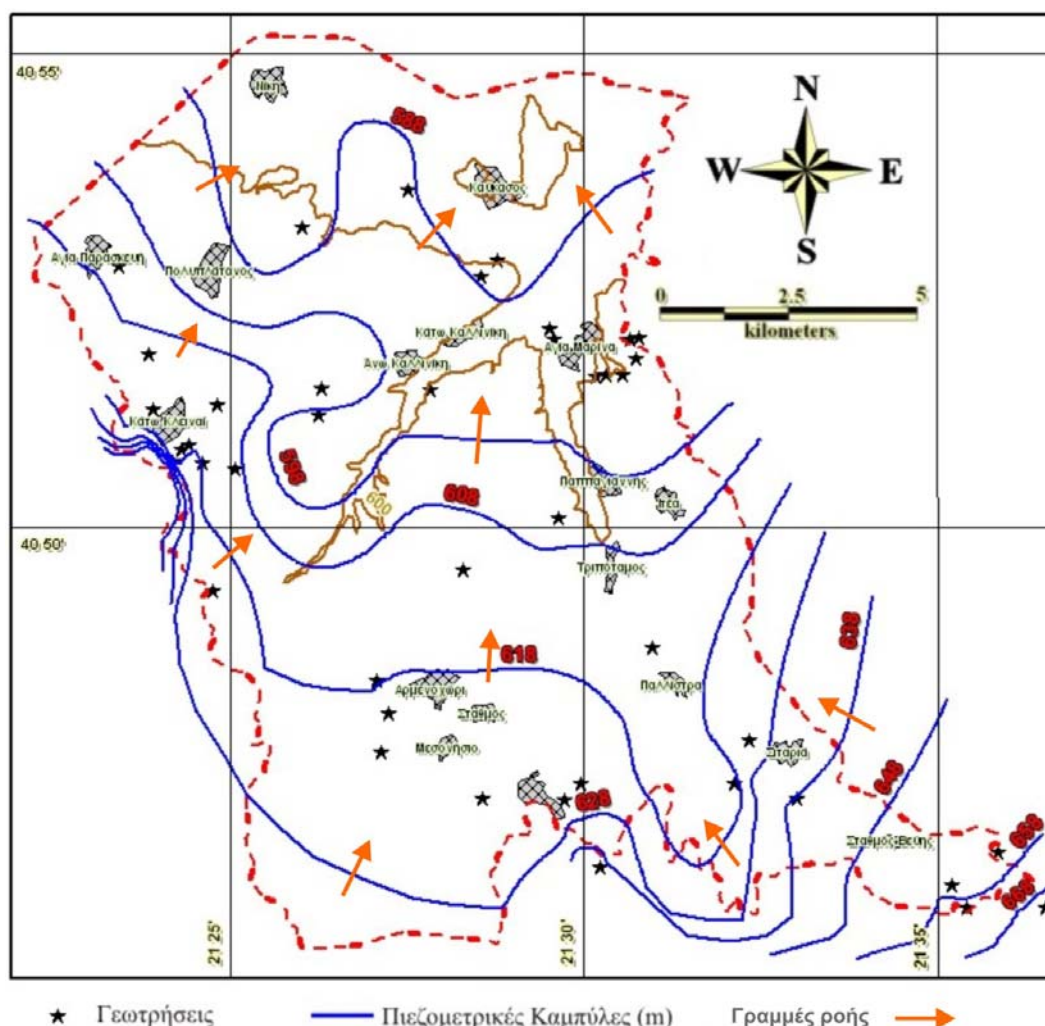
Χάρτης 12: Χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων που μετρήθηκε η στάθμη του υπόγειου νερού.

Πίνακας 12 : Δεδομένα των μετρήσεων του βάθους του υπόγειου νερού.

Γεώτρηση	Βάθος Νερού σε m από την επιφάνεια του εδάφους	Απόλυτι υψόμετρο(m)	Στάθμη νερού σε m (α.ε.θ.)
D1	27.5	696	668.5
D2	21.95	674	652.05
D3	7.4	665	657.6
D4	9.3	669	659.7
D5	40	658	618
D6	6.4	648	641.6
D7	1	623	622
D8	4	622	618
D9	4.5	622	617.5
D10	5	628	623
D11	2.4	616	613.6
D12	3.1	612	608.9
D13	7.1	624	616.9
D14	6	622	616
D15	2.4	615	612.6
D16	2.4	606	603.6
D17	3.75	590	586.25
D18	4.5	596	591.5
D19	6.5	613	606.5
D20	9	598	589
D21	7.2	586	578.8
D22	8.2	605	596.8
D23	3.5	600	596.5
D24	3.25	594	590.75
D25	3.2	596	592.8
D26	5.6	597	591.4
D27	6.8	600	593.2
D28	15.5	609	593.5
D29	21	609	588
D30	19	611	592
D31	26.8	621	594.2
D32	25	696	671
D33	80	670	590
D34	6.4	644	637.6
D35	2.6	623	620.4
D36	9.7	619	609.3
D37	10.3	633	622.7
D38	11	623	612
D39	2.3	624	621.7
D40	2.5	619	616.5
D41	13	628	615
D42	11.5	618	606.5
D43	2.6	617	614.4
D44	3.4	629	625.6
D45	3.5	630	626.5
D46	0	677	677
D47	3.6	624	620.4

Με βάση τις τιμές του πίνακα 12 κατασκευάστηκε ο πιεζομετρικός χάρτης 13. Από τη μελέτη του πιεζομετρικού χάρτη, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Υψηλότερες τιμές πιεζομετρικού φορτίου(+677 m) παρατηρούνται στο δυτικό και στο νότιο τμήμα της λεκάνης, ενώ χαμηλότερες τιμές του πιεζομετρικού φορτίου(+578 m) παρατηρούνται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης.
- Βάσει της πιεζομετρίας ο αλλουβιακός υδροφορέας τροφοδοτείται από το νότιο/νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής, όπου κυριαρχούν ανθρακικοί σχηματισμοί.
- Οι γραμμές ροής υπόγειου νερού στο ανατολικό τμήμα της περιοχής έχουν κατεύθυνση ΒΔ/κή, ενώ στο κεντρικό τμήμα κατεύθυνση Ν – Β.



Χάρτης 13: Πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής έρευνας για την περίοδο του Μαΐου 2007.

5.4. Κατακρημνίσματα

Τα κατακρημνίσματα P είναι το σύνολο του μετεωρικού νερού που φθάνει στην επιφάνεια της γης με οποιαδήποτε μορφή (βροχή, χιόνι, χαλάζι, δροσιά κ.λ.π.), η μέτρηση των κατακρημνισμάτων γίνεται με ειδικά όργανα τα βροχόμετρα, που μπορούν να είναι και αυτογραφικά (βροχογράφοι).

Στην περιοχή της μελέτης λειτουργεί ο μετεωρολογικός σταθμός της Άνω Καλλινίκης. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν πάρθηκαν από τον παραπάνω μετεωρολογικό σταθμό για την περίοδο 1973-1998. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι τιμές των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων όπως αυτές προήλθαν από το βροχομετρικό σταθμό της Άνω Καλλινίκης.

Από αξιολόγηση των δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού της Άνω Καλλινίκης προκύπτει ότι η περιοχή έρευνας δέχεται κάθε χρόνο κατά μέσο όρο κατακρημνίσματα ύψους **467,3 mm**.

5.2.1. Υπολογισμός της Βροχοβαθμίδας.

Για τον υπολογισμό της Βροχοβαθμίδας χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα από τέσσερις βροχομετρικούς σταθμούς (Πίνακας 13)(χάρτης 14).

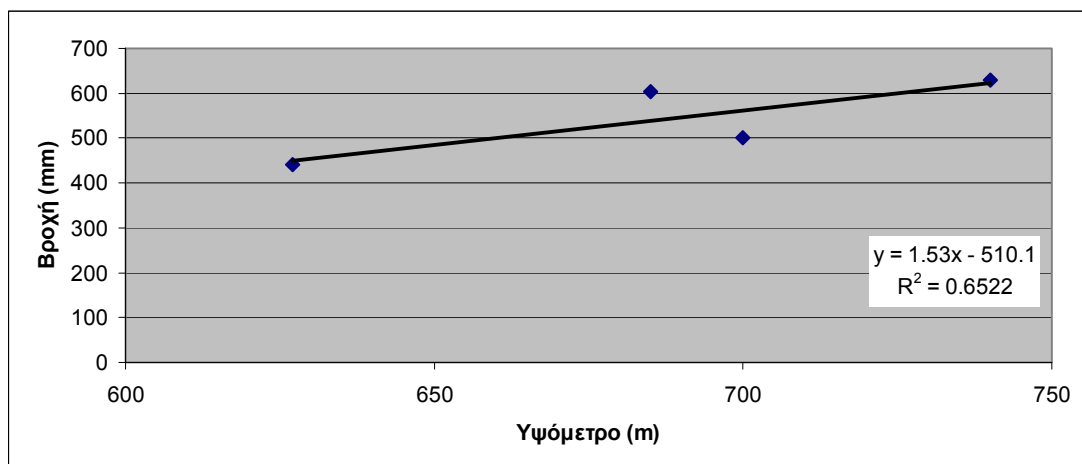
Πίνακας 13: Μέση ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 1979-1996.

Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Βροχή (mm)
Κ.Καλλινίκη	627	440,7
Τροπαιούχος	685	604,4
Βεύη	700	500,2
Αχλάδα	740	630,2

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η γραμμική σχέση (Σχήμα 14) που συνδέει τη βροχόπτωση με το υψόμετρο :

$$y = 1,53x - 510$$

και ισχύει για υψόμετρα $580 \text{ m} < H < 750 \text{ m}$



Σχήμα 14: Ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης του υψόμετρου σε σχέση με τη βροχή.



Χάρτης 14: Μετεωρολογικοί σταθμοί της περιοχής της Φλώρινας.

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μια αναλυτική περιγραφή της μεθόδου typical DRASTIC που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών του αλλουβιακού υδροφορέα της Φλώρινας. Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιούνται γεωλογικά, υδρογεωλογικά, μορφολογικά, υδρομετεωρολογικά και εδαφολογικά δεδομένα. Ο δείκτης DRASTIC εκτιμήθηκε με βάση τις τιμές κάθε παραμέτρου σε κάθε θέση σημείου νερού (γεωτρήσεις, πηγάδια), για το οποίο υπάρχει λιθολογική τομή, μέτρηση της στάθμης του υπόγειου νερού, πάχος της ακόρεστης ζώνης κ.λπ. Χρησιμοποιήθηκε επιπλέον το ψηφιακό υπόβαθρο του εδάφους (DEM) για τον υπολογισμό των κλίσεων, καθώς και δεδομένα αντλητικών δοκιμών για την εκτίμηση της υδραυλικής αγωγιμότητας. Με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου στη λεκάνη της Φλώρινας συντάχθηκε ο χάρτης τρωτότητας.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα από κάθε παράμετρο που υπεισέρχεται στη μέθοδο και οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες από την κατανομή της στον χώρο, όπως προέκυψαν με τη χρήση GIS που έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης και ανάλυσης των δεδομένων. Αυτό προϋποθέτει ότι όλες οι παράμετροι γεωαναφέρθηκαν, ψηφιοποιήθηκαν και έγινε εισαγωγή τους σε μια βάση δεδομένων. Για την παραγωγή όλων των χαρτών που θα ακολουθήσουν και αφορούν τη βαθμονόμηση κάθε παραμέτρου ξεχωριστά, χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα MapInfo Professional 8.0 και Arc Map v. 8.3. Συγκεκριμένα, κρίθηκε σκόπιμο να εφαρμοστεί η γεωστατιστική μέθοδος kriging. Η μέθοδος αυτή ανήκει στις μεθόδους, που αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως μέθοδοι **BLUE** (Best Linear Unbiased Estimation) και βρίσκει ευρεία εφαρμογή στις γεωεπιστήμες. Αποτελεί μια αμερόληπτη μέθοδο γραμμικής παρεμβολής, στην οποία το μέσο σφάλμα, για όλη την περιοχή που εφαρμόζεται, είναι ελάχιστο. Η μέθοδος δεν απαιτεί ομαλά κατανεμημένο δίκτυο παρατηρήσεων στην περιοχή που εφαρμόζεται. Μπορεί επίσης με τη βοήθεια της μεθόδου να μελετηθούν μεταβλητές που παρουσιάζουν ανισοτροπία (π.χ. υδραυλική αγωγιμότητα) δηλ. μεταβάλλονται με διαφορετική ένταση στις διάφορες διευθύνσεις (Βουδούρης, 2004).

Εκτιμάται η παράμετρος με τη μέθοδο kriging σε ένα σημείο για το οποίο μπορεί να υπάρξει μέτρηση στο πεδίο, με βάση τις μετρήσεις στα υπόλοιπα σημεία. Εκτελείται η ίδια διαδικασία για τα υπόλοιπα σημεία μέτρησης της παραμέτρου. Υπολογίζονται οι αποκλίσεις των πραγματικών τιμών με τις υπολογισθείσες με τη μέθοδο kriging για όλα τα σημεία. Από το διάγραμμα συσχέτισης των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών μπορεί να ελεγχθεί η αξιοπιστία της μεθόδου.

[illegible]

06/08/2010

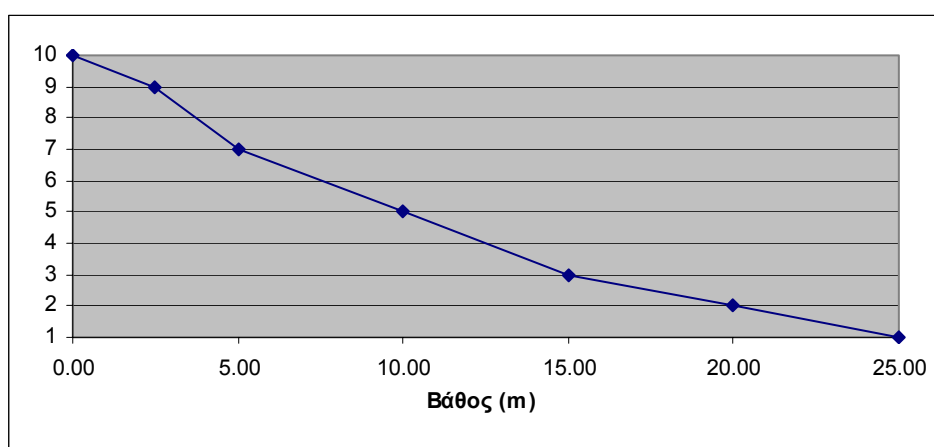
6.1. Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού (D)

Με βάση τις μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού κατά την περίοδο του Μαΐου 2007, η στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 1 έως 30 m από την επιφάνεια του εδάφους. Μικρότερα σχετικά βάθη καταγράφονται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης. Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική (βαρύτητα ίση με 5) και το μεγάλο βάθος υποδηλώνει καλύτερη προστασία του υδροφορέα από τη ρύπανση. Ανάλογα με το βάθος του υπόγειου νερού δόθηκε και αντίστοιχη τιμή. Συνεπώς για μικρό βάθος του υπόγειου νερού δόθηκε μεγάλη τιμή στη βαθμονόμηση, ενώ για μεγάλο βάθος του υπόγειου νερού δόθηκε μικρή τιμή στη βαθμονόμηση (Σχήμα 15). Στον Πίνακα 14 δίνεται η βαθμονόμηση του βάθους του υπόγειου νερού.

Πίνακας 14: Βαθμονόμηση του Βάθους του υπόγειου νερού.

Βάθος του υπόγειου νερού (m)	Βαθμονόμηση
0-2.5	10
2.5-5	9
5-10	7
10-15	5
15-20	3
20-25	2
>25	1

Με βάση τις τιμές της βαθμονόμησης σε κάθε σημείο (γεώτρηση) δόθηκε η αντίστοιχη τιμή (Πίνακας 15). Με τη χρήση της μεθόδου kriging κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της παραμέτρου D που παρουσιάζεται στο Σχήμα 16.

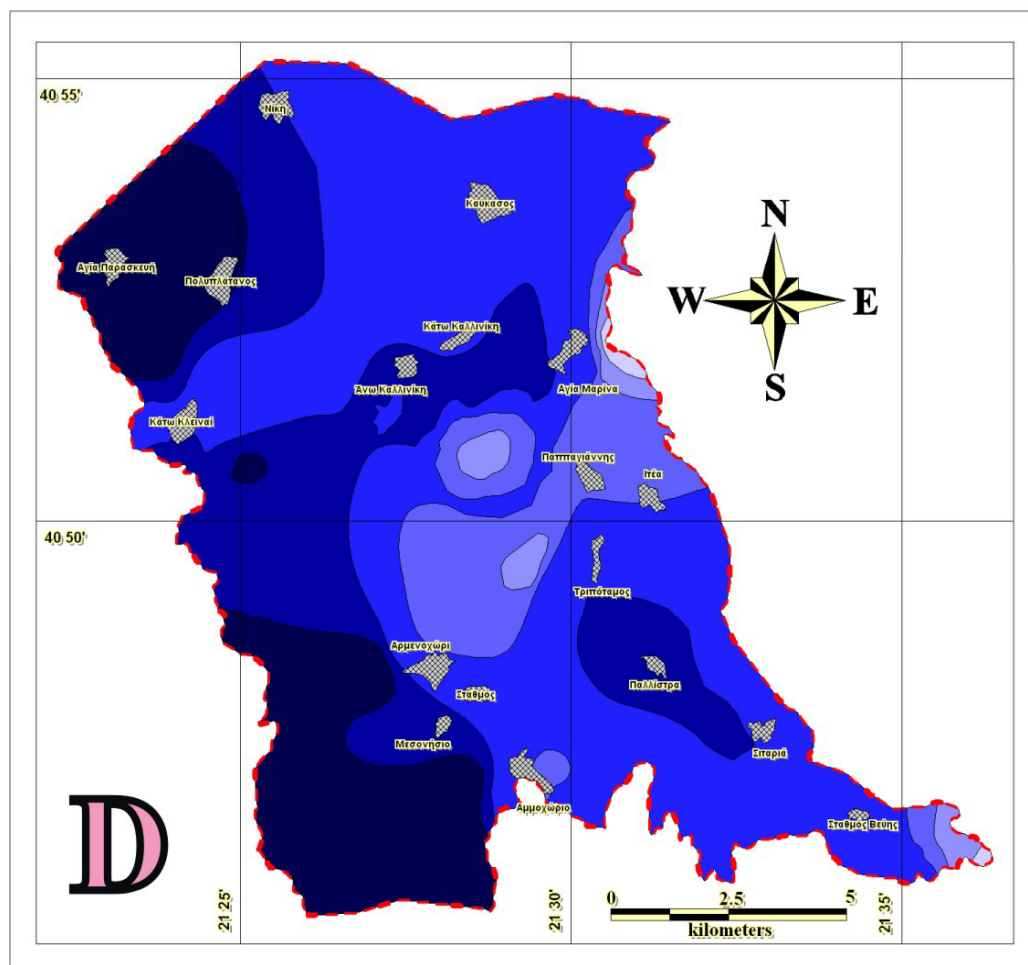


Σχήμα 15: Καμπύλη βάθους του υπόγειου νερού και της βαθμονόμησης.

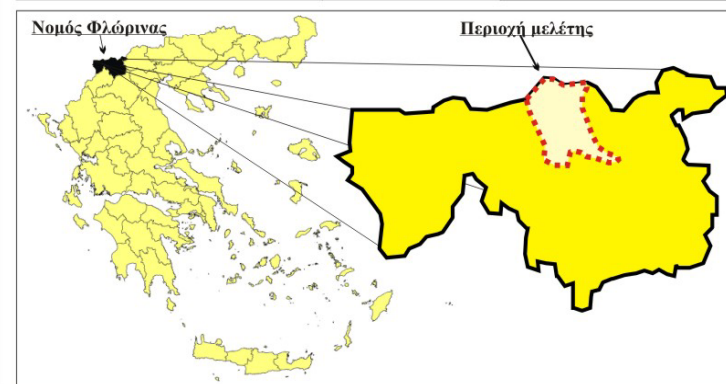
Πίνακας 15: Πίνακας Δεδομένων για τον υπολογισμό της παραμέτρου D.

Γεώτρηση	Βάθος Νερού(Dw) Βαρύτητα (S)	Τιμή (Dr)
1	5 έως 10	7
2	5 έως 10	7
3	5 έως 10	7
4	5 έως 10	7
5	5 έως 10	7
6	5 έως 10	7
7	0- 2.5	10
8	2.5 - 5	9
9	15 - 20	3
10	>25	1
11	5 έως 10	7
12	20 - 25	7
13	5 έως 10	7
14	5 έως 10	7
15	5 έως 10	7
16	5 έως 10	7
17	5 έως 10	7
18	10 έως 15	5
19	10 έως 15	5
20	10 έως 15	5
21	5 έως 10	7
22	2.5-5	9
23	5 έως 10	7
24	15 έως 20	3
25	10 έως 15	5
26	5 έως 10	7
27	2.5-5	9
28	5 έως 10	7
29	10 έως 15	5
30	10 έως 15	5
31	5 έως 10	5
32	5 έως 10	5
33	5 έως 10	5
34	2.5-5	9
35	10 έως 15	5
36	2.5-5	9
37	2.5-5	9
38	2.5-5	9
39	0 - 2.5	10
40	0 - 2.5	10

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ (m)



Βάθος του νερού (m)	Βαθμονόμηση	Χρωματική Διαβάθμιση
0-2,5	10	
2,5-5	9	
5-10	7	
10-15	5	
15-20	3	
20-25	2	
>25	1	



Σχήμα 16: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης του βάθους του υπόγειου νερού (Μάιος 2007) στον αλλουβιακό υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας.

6.2. Εμπλουτισμός (R)

Ο εμπλουτισμός αντιπροσωπεύει την ετήσια ποσότητα του νερού σε mm που κατείσδύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφορέα. Η μεταφορά των ρύπων από την επιφάνεια, λόγω της βροχόπτωσης που κατείσδύει στην ακόρεστη ζώνη είναι σημαντικός μηχανισμός. Η βροχοβαθμίδα για τη λεκάνη της Φλώρινας υπολογίστηκε με βάση τα στοιχεία 4 σταθμών για την περίοδο 1979-1996 ίση με $P=1,53 \text{ h-510}$ και ισχύει για υψόμετρα $580 \text{ m} < h < 750 \text{ m}$ (Παράγραφος 5.3).

Ο συντελεστής κατείσδυσης είναι συνάρτηση του ύψους βροχόπτωσης, της κλίσης του αναγλύφου και της υδροπερατότητας του εδάφους. Στην παρούσα έρευνα, η παράμετρος υπολογίστηκε από τα δεδομένα βροχόπτωσης και τους συντελεστές κατείσδυσης των γεωλογικών σχηματισμών. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 4. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του εμπλουτισμού τόσο μεγαλύτερη η ποσότητα των ρύπων που μεταφέρεται στο υπόγειο νερό. Συνεπώς για μεγάλες τιμές κατείσδυσης δόθηκε μεγαλύτερη τιμή σε κάθε σημείο, ενώ για τις μικρές τιμές του εμπλουτισμού δόθηκε μικρή τιμή στη βαθμονόμηση. Στον Πίνακα 16 δίνεται η βαθμονόμηση του Εμπλουτισμού των υπόγειων νερών από την κατείσδυση.

Πίνακας 16: Βαθμονόμηση του εμπλουτισμού.

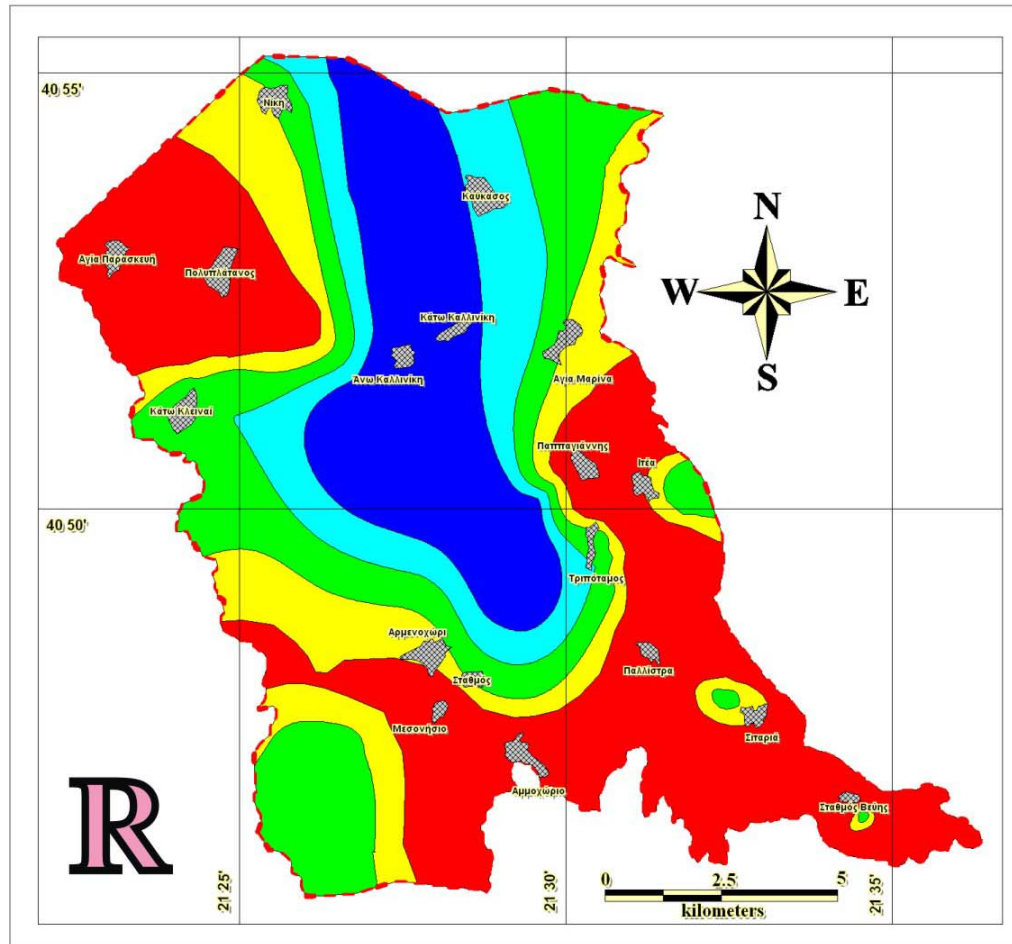
Εμπλουτισμός (mm/year)	Βαθμονόμηση
60-80	5
50-60	4
40-50	3
30-40	2
<30	1

Με βάση τις τιμές της βαθμονόμησης σε κάθε σημείο (γεώτρηση) δόθηκε η αντίστοιχη τιμή (Πίνακας 17). Με τη χρήση της μεθόδου kriging κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της παραμέτρου R που παρουσιάζεται στο Σχήμα 17.

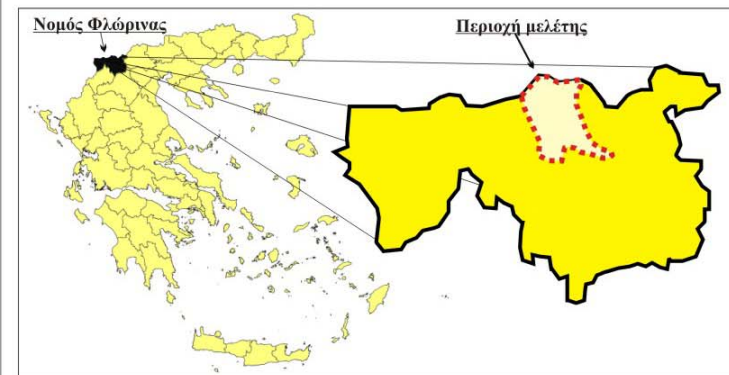
Πίνακας 17: Πίνακας Δεδομένων για τον υπολογισμό της παραμέτρου R.

Γεώτρηση	Κατείσδυση(Rw) Βαρύτητα (4)	Τιμή (Rr)
1	21	1
2	21	1
3	40	2
4	62	5
5	43	3
6	58	4
7	64	5
8	63	5
9	27	1
10	31	2
11	77	5
12	84	6
13	75	5
14	49	3
15	74	5
16	73	5
17	44	3
18	69	5
19	62	5
20	79	5
21	26	1
22	67	5
23	24	1
24	63	5
25	22	1
26	68	5
27	45	3
28	69	5
29	62	5
30	23	1
31	42	3
32	65	5
33	76	5
34	66	5
35	70	5
36	65	5
37	68	5
38	65	5
39	69	5
40	45	3

ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ (mm/year)



Εμπλουτισμός(mm/year)	Βαθμονόμηση	Χρωματική Διαβάθμιση
60-80	5	Red
50-60	4	Yellow
40-50	3	Green
30-40	2	Cyan
<30	1	Blue



Σχήμα 17: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου R.

6.3. Υλικό υδροφορέα (Α)

Γενικά τα αδρομερή υλικά εμφανίζουν μεγαλύτερη υδροπερατότητα και μικρή ικανότητα εξασθένησης των ρύπων. Με βάση τη λιθολογική περιγραφή από 40 λιθολογικές τομές γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας το υδροφόρο μέσο ταξινομήθηκε ως: κροκάλες (βαθμοί 7), χαλίκια (βαθμοί 6), χαλίκια-άμμος (βαθμοί 4) και άμμος-χαλίκια-άργιλος (βαθμοί 2) (Πίνακας 18). Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 3. Όσο πιο χονδρόκοκκο είναι το υλικό του υδροφορέα τόσο μεγαλύτερη τιμή δόθηκε στη βαθμονόμηση, ενώ σε πιο λεπτόκοκκο υλικό του υδροφόρου δόθηκε μικρότερη τιμή.

Πίνακας 18: Βαθμονόμηση του υλικού του Υδροφορέα.

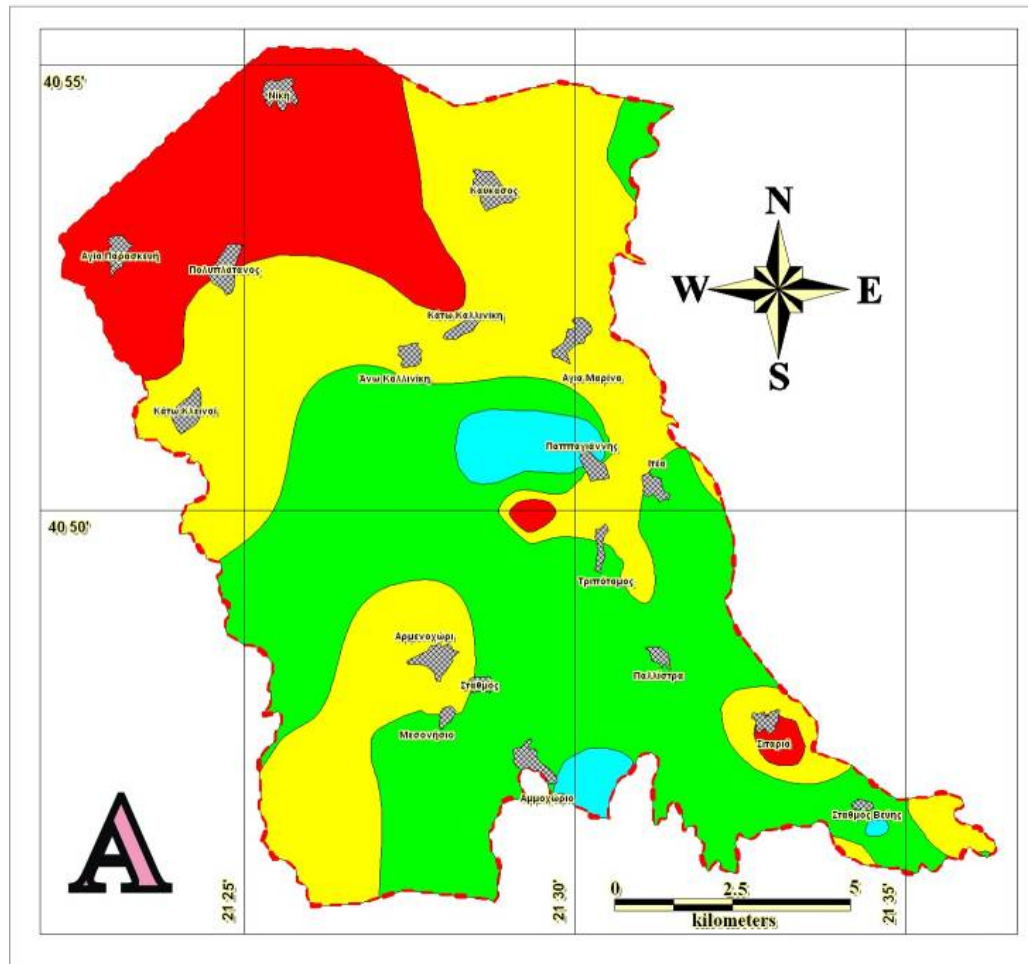
Υλικό Υδροφορέα	Βαθμονόμηση
Κροκάλες - Χαλίκια	7
Χαλίκια	6
Χαλίκια – Άμμος	4
Άμμος – Χαλίκια - Άργιλος	2

Με βάση τις τιμές της βαθμονόμησης σε κάθε σημείο (γεώτρηση) δόθηκε η αντίστοιχη τιμή (Πίνακας 19). Με τη χρήση της μεθόδου kriging κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της παραμέτρου Α που παρουσιάζεται στο Σχήμα 18.

Πίνακας 19: Πίνακας Δεδομένων για τον υπολογισμό της παραμέτρου Α.

Γεώτρηση	Υλικό υδροφορέα(Αω) Βαρύτητα (3)	Τιμή (Ar)
1	Χαλίκια-Άμμος	4
2	Κροκάλες-Χαλίκια	7
3	Χαλίκια	6
4	Χαλίκια	6
5	Χαλίκια	6
6	Χαλίκια-Άμμος	4
7	Κροκάλες-Χαλίκια	7
8	Χαλίκια	6
9	Χαλίκια	6
10	Χαλίκια	6
11	Χαλίκια-Άμμος	4
12	Χαλίκια-Άμμος	4
13	Χαλίκια-Άμμος	4
14	Χαλίκια-Άμμος-Άργιλος	2
15	Χαλίκια	6
16	Χαλίκια-Άμμος	4
17	Χαλίκια-Άμμος	4
18	Χαλίκια	6
19	Χαλίκια-Άμμος-Άργιλος	2
20	Χαλίκια	6
21	Χαλίκια-Άμμος	4
22	Χαλίκια-Άμμος	4
23	Χαλίκια-Άμμος	4
24	Χαλίκια	6
25	Κροκάλες-Χαλίκια	7
26	Χαλίκια-Άμμος	4
27	Χαλίκια	6
28	Κροκάλες-Χαλίκια	7
29	Χαλίκια	6
30	Χαλίκια-Άμμος	4
31	Χαλίκια-Άμμος	4
32	Χαλίκια	6
33	Χαλίκια-Άμμος-Άργιλος	2
34	Χαλίκια-Άμμος	4
35	Χαλίκια-Άμμος	4
36	Χαλίκια	6
37	Χαλίκια-Άμμος	4
38	Χαλίκια-Άμμος	4
39	Χαλίκια-Άμμος	4
40	Χαλίκια	6

ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΜΕΣΟ



Τύπος υδροφόρου	Βαθμονόμηση	Χρωματική Διαβάθμιση
Κροκάλες-Χαλίκια	7	Red
Χαλίκια	6	Yellow
Χαλίκια-Άμμος	4	Green
Άμμος-Χαλίκια-Άργιλος	2	Cyan



Σχήμα 18: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου Α.

6.4. Έδαφος (S)

Στην εδαφική ζώνη και ιδιαίτερα στη ζώνη των ριζών το ρυπαντικό φορτίο εξασθενεί και πολλές ουσίες αποδομούνται από μικροοργανισμούς. Με βάση την ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων με πυκνότητα 5 δείγματα/Km² και βάθος 0-30 cm από την επιφάνεια (Κέντρο Τεχνολογικής έρευνας 2006), το έδαφος ταξινομήθηκε σε τέσσερις κλάσεις: αμμώδη (βαθμοί 8), αμμο-πηλώδη (βαθμοί 6), ιλυο-πηλώδη (βαθμοί 4), αργιλώδη (βαθμοί 2) (Πίνακας 20). Στα λεπτόκοκκα υλικά δόθηκε μικρή τιμή καθώς το ρυπαντικό φορτίο εξασθενεί σε μεγαλύτερο βαθμό, ενώ τα πιο χονδρόκοκκα βαθμονομήθηκαν με μεγαλύτερη τιμή καθώς συμβάλουν σε μικρότερο βαθμό στην εξασθένηση των ρύπων. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 2.

Πίνακας 20: Βαθμονόμηση του Εδάφους

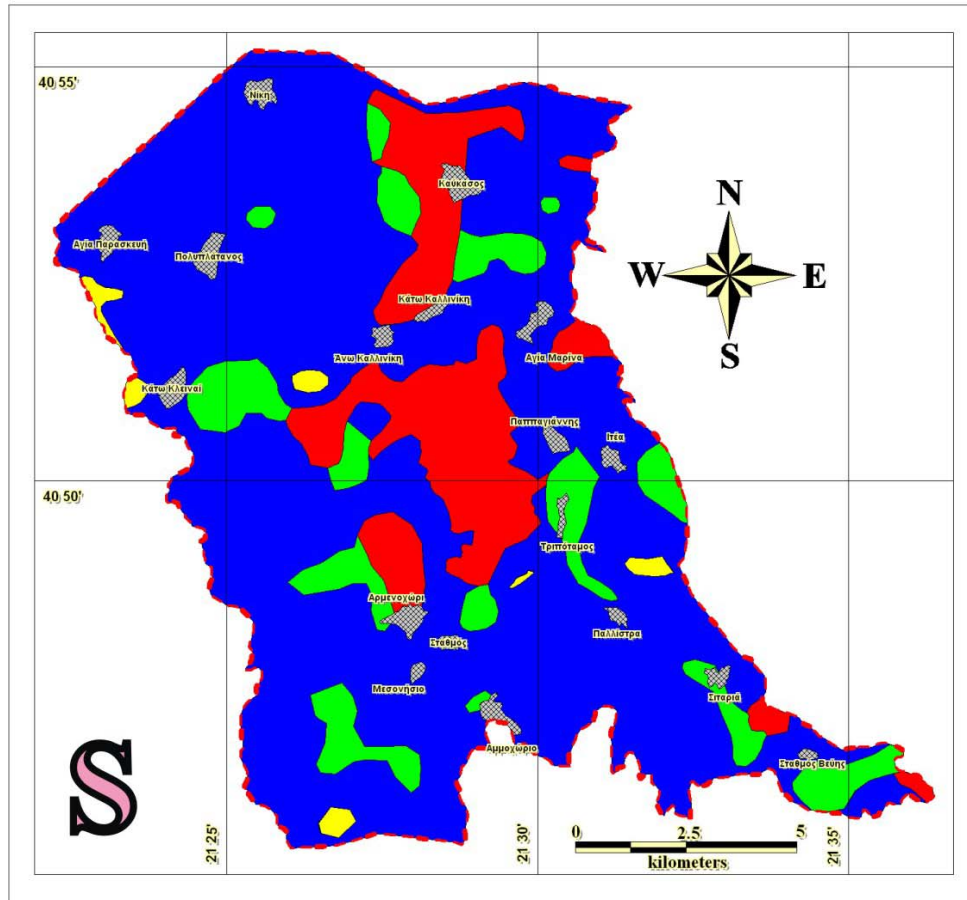
Έδαφος	Βαθμονόμηση
Αμμώδης	8
Αμμοπηλώδης	6
Ιλυοπηλώδης	4
Αργιλώδης	2

Με βάση τις τιμές της βαθμονόμησης σε κάθε σημείο (γεώτρηση) δόθηκε η αντίστοιχη τιμή (Πίνακας 21). Με τη χρήση της μεθόδου kriging κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της παραμέτρου S που παρουσιάζεται στο Σχήμα 19.

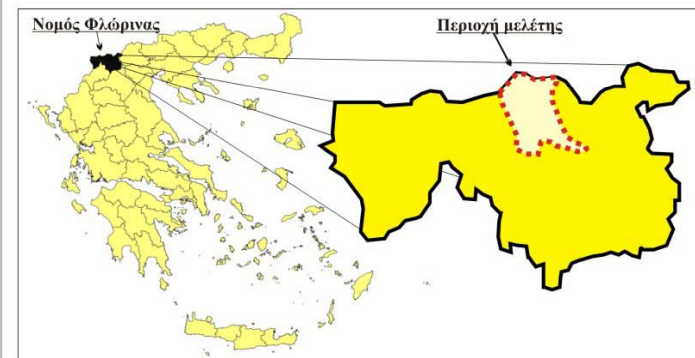
Πίνακας 21: Πίνακας Δεδομένων για τον υπολογισμό της παραμέτρου S.

Γεώτρηση	Εδαφικό υλικό(Sw) Βαρύτητα (2)	Τιμή (Sr)
1	Αργιλώδες	2
2	Αργιλώδες	2
3	Ιλυώδης	4
4	Πηλώδες	6
5	Ιλυώδης	4
6	Πηλώδες	6
7	Πηλώδες	6
8	Πηλώδες	6
9	Αργιλώδες	2
10	Αργιλώδες	2
11	Πηλώδες	6
12	Πηλώδες	6
13	Πηλώδες	6
14	Ιλυώδης	4
15	Πηλώδες	6
16	Πηλώδες	6
17	Ιλυώδης	4
18	Πηλώδες	6
19	Πηλώδες	6
20	Πηλώδες	6
21	Αργιλώδες	2
22	Πηλώδες	6
23	Αργιλώδες	2
24	Πηλώδες	6
25	Αργιλώδες	2
26	Πηλώδες	6
27	Ιλυώδης	4
28	Πηλώδες	6
29	Πηλώδες	6
30	Αργιλώδες	2
31	Ιλυώδης	4
32	Πηλώδες	6
33	Πηλώδες	6
34	Πηλώδες	6
35	Πηλώδες	6
36	Πηλώδες	6
37	Πηλώδες	6
38	Πηλώδες	6
39	Πηλώδες	6
40	Ιλυώδης	4

ΕΛΑΦΟΣ



Έδαφος	Βαθμονόμηση	Χρωματική Διαβάθμιση
Αμμώδης	8	Yellow
Αμμοπηλώδης	6	Blue
Ιλαιοπηλώδης	4	Green
Αργιλώδης	2	Red



Σχήμα 19: Θεματικός χάρτης ταξινόμησης του εδάφους (τροποποιημένος από χάρτη κατανομής μηχανικής σύστασης κατά U.S.D.A. (στοιχεία από Κ.Τ.Ε. 2006)).

6.5. Κλίση αναγλύφου (T)

Οι μικρές κλίσεις που ευνοούν την κατείσδυση σχετίζονται με υψηλή τρωτότητα, ενώ αντίθετα οι μεγάλες κλίσεις ευνοούν την επιφανειακή απορροή και σχετίζονται με μικρό δυναμικό ρύπανσης. Το ανάγλυφο της περιοχής του αλλουβιακού υδροφορέα είναι ήπιο (κλίση <3%) και ο καθορισμός των κλίσεων έγινε με βάση το ψηφιακό υπόβαθρο του εδάφους (DEM). Οι μικρές κλίσεις βαθμονομήθηκαν με υψηλή τιμή, ενώ μεγάλες κλίσεις βαθμονομήθηκαν με χαμηλή τιμή (Πίνακας 22). Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 1.

Πίνακας 22: Βαθμονόμηση της Κλίσης.

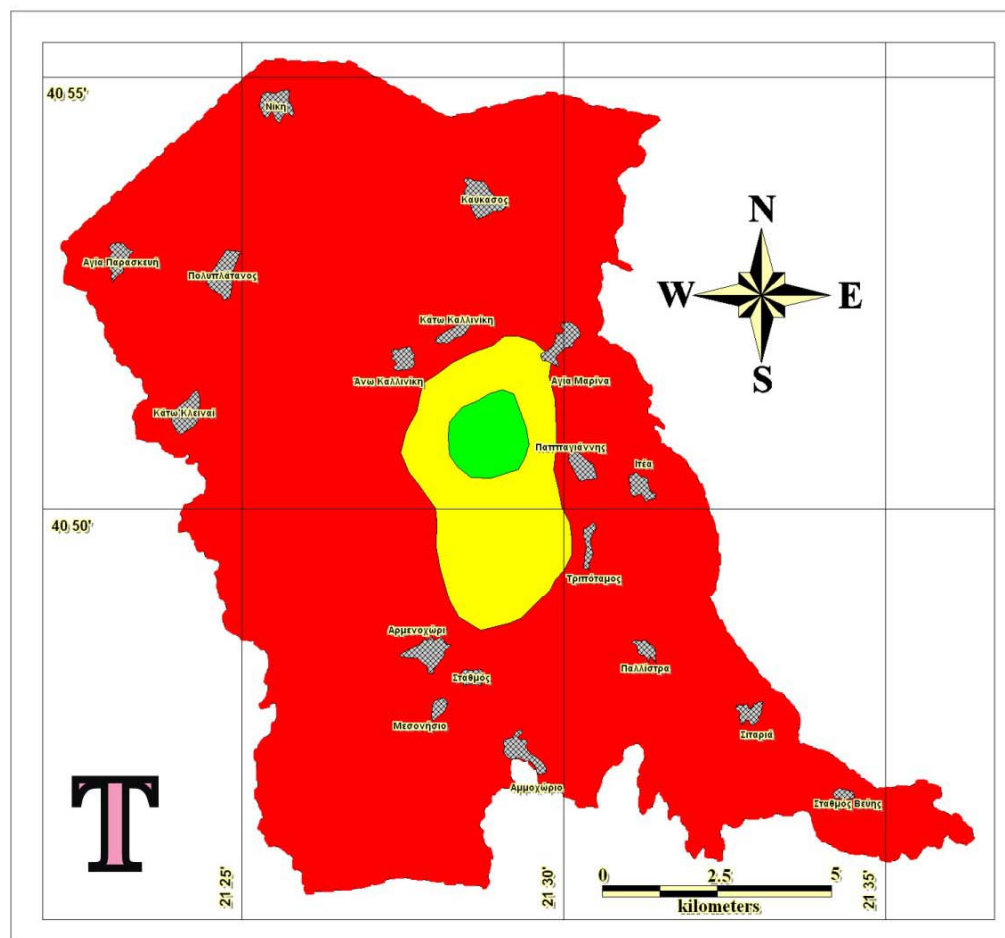
Κλίση (%)	Βαθμονόμηση
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

Με βάση τις τιμές της βαθμονόμησης σε κάθε σημείο (γεώτρηση) δόθηκε η αντίστοιχη τιμή (Πίνακας 23). Με τη χρήση της μεθόδου kriging κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της παραμέτρου T που παρουσιάζεται στο Σχήμα 20.

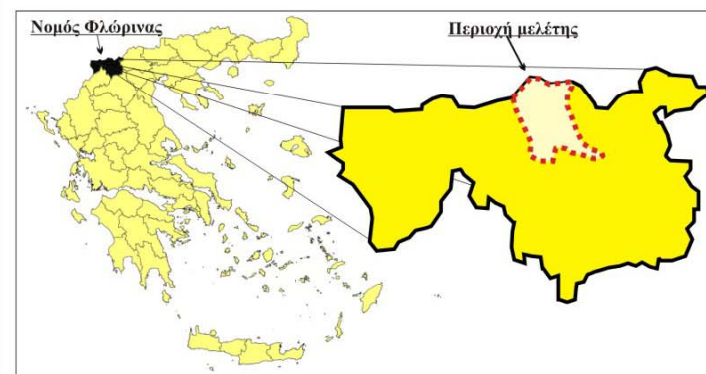
Πίνακας 23: Πίνακας Δεδομένων για τον υπολογισμό της παραμέτρου T.

Γεώτρηση	Κλίση Αναγλύφου(Tw) Βαρύτητα (1)	Τιμή (Tr)
1	1,2	10
2	1,9	10
3	1	10
4	0,2	10
5	0,3	10
6	0	10
7	0,6	10
8	0,3	10
9	0,9	10
10	7,1	5
11	0,5	10
12	5	9
13	0,6	10
14	0	10
15	0,6	10
16	0,7	10
17	0,6	10
18	4,4	9
19	0,5	10
20	7,1	5
21	2,3	9
22	2,2	9
23	3,6	9
24	0,4	10
25	4	9
26	0,3	10
27	0,3	10
28	0	10
29	0,4	10
30	5	9
31	2	10
32	1,4	10
33	1,7	10
34	0,7	10
35	0,6	10
36	0	10
37	0,7	10
38	0	10
39	1,6	10
40	0,3	10

ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ



Κλίση %	Βαθμονόμηση	Χρωματική Διαβάθμιση
0-2	10	Red
2-6	9	Yellow
6-12	5	Green
12-18	3	Cyan
>18	1	Blue



Σχήμα 20: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου T.

6.6. Επίδραση της ακόρεστης ζώνης (I)

Η ακόρεστη ζώνη είναι η υπεδαφική ζώνη πάνω από τη στάθμη του υπόγειου νερού, η οποία είναι ακόρεστη. Τα χαρακτηριστικά της καθορίζουν τον δρόμο κίνησης και τη συγκέντρωση των ρύπων. Η ακόρεστη ζώνη παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης, λόγω της διαφόρων χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα σ' αυτήν, όπως: προσρόφηση και κατιοανταλλαγή, βιολογικές αντιδράσεις, μείωση παθογόνων μικροοργανισμών κ.ά. Το μεγάλο πάχος της ακόρεστης ζώνης και η παρουσία αργιλικών ορυκτών συμβάλλουν στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου.

Με βάση τα στοιχεία των λιθολογικών τομών, η ακόρεστη ζώνη αποτελείται από: κροκάλες (βαθμοί 9), χαλίκια (βαθμοί 8), χαλίκια-άμμος (βαθμοί 7), άμμος-χαλίκια (βαθμοί 6), άμμος (βαθμοί 5), άργιλος-άμμος-χαλίκια (βαθμοί 4), άργιλος-άμμος (βαθμοί 3), άργιλος (βαθμοί 2) (Πίνακας 24). Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 5 και ο θεματικός χάρτης της κατανομής της βαθμονομημένης παραμέτρου φαίνεται στο Σχήμα 21.

Πίνακας 24: Βαθμονόμηση του Υλικού της ακόρεστης ζώνης.

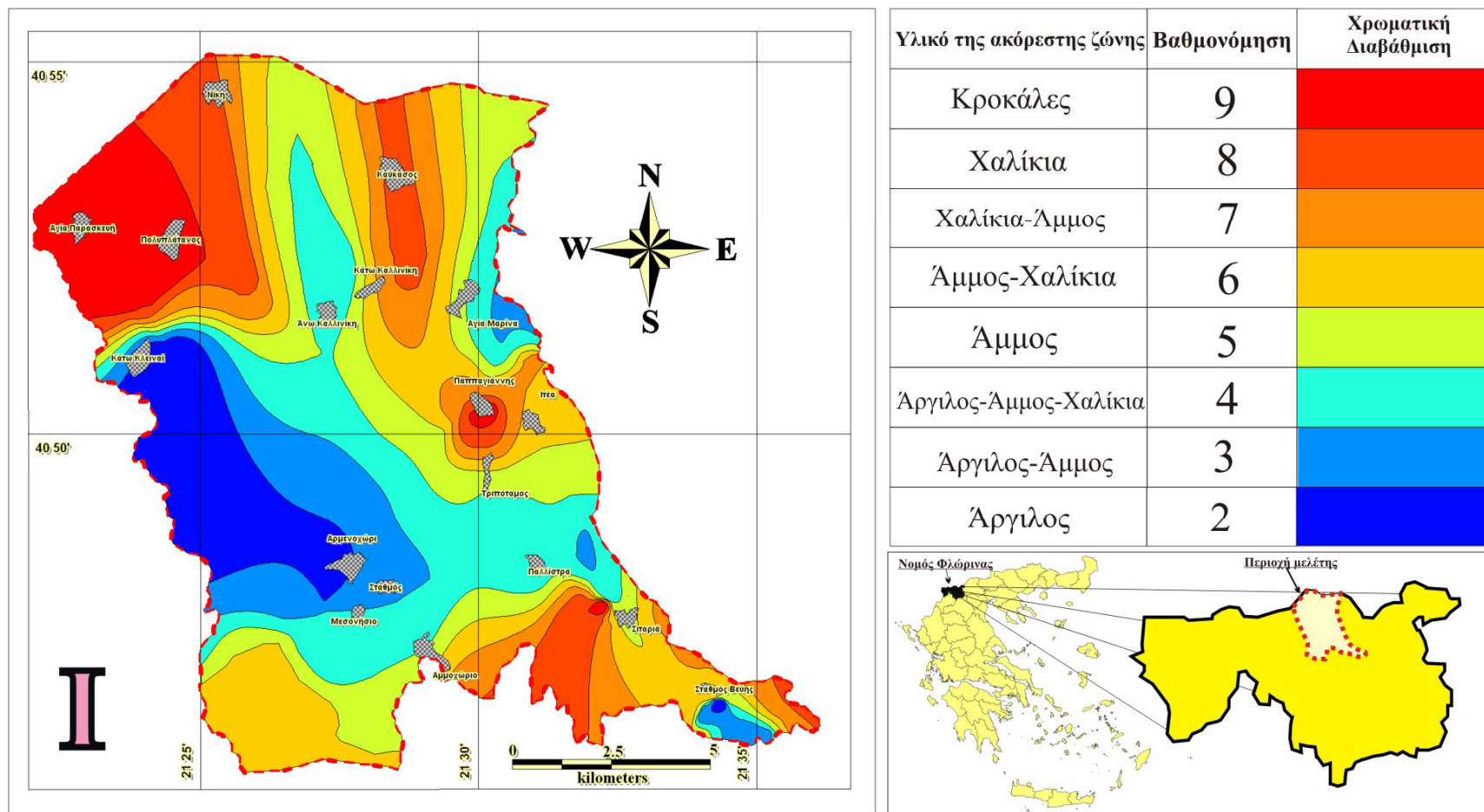
Υλικό της ακόρεστης ζώνης	Βαθμονόμηση
Κροκάλες	9
Χαλίκια	8
Χαλίκια - Άμμος	7
Άμμος – Χαλίκια	6
Άμμος	5
Άργιλος – Άμμος – Χαλίκια	4
Άργιλος – Άμμος	3
Άργιλος	2

Με βάση τις τιμές της βαθμονόμησης σε κάθε σημείο (γεώτρηση) δόθηκε η αντίστοιχη τιμή (Πίνακας 25). Με τη χρήση της μεθόδου kriging κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της παραμέτρου I που παρουσιάζεται στο Σχήμα 20.

Πίνακας 25: Πίνακας Δεδομένων για τον υπολογισμό της παραμέτρου T.

Γεώτρηση	Ακόρεστη Ζώνη(Iw) Βαρύτητα (S)	Τιμή (Ir)
1	Άργιλος(25m)Χαλίκια(10m)	5
2	Αλλούβια (12m) Άργιλος(18m)	4
3	Άργιλος(5m) Άμμος Χαλίκια(25m)	8
4	Άμμος(6m) Χαλίκια(6m) Άργιλος (5m)	8
5	Άμμος (10m) Άργιλος (25m)	2
6	Άργιλος(25m) Χαλίκια(10m)	5
7	Άμμος(25m) Χαλίκια (10m) Κροκάλες(6m)	9
8	Χαλίκια(60m)	9
9	Άργιλος (10m)Χαλίκια (40m)	8
10	Άργιλος(3 m) Χαλίκια(45 m)	9
11	Άργιλος(20 m) Αμμοχάλικο (40 m)	3
12	Άργιλος(5 m) Αμμοχάλικο(25 m)	7
13	Άργιλος(25 m) Χαλίκια(10 m)	5
14	Άργιλος με Άμμο (30 m)	2
15	Άργιλος (10 m) Χαλίκια (30 m)	7
16	Άργιλος(3 m) Άμμος(30 m)	6
17	Άργιλος-Άμμος(18 m)Χαλίκια(7 m)	6
18	Χαλίκια (12 m)	7
19	Αμμοχάλικα (15 m) Άργιλος (3 m) Χαλίκια (12 m)	8
20	Χαλίκια(6 m) Άργιλος(15 m)	2
21	Χαλίκια(20 m) Άμμος(18 m)	8
22	Άργιλος(3 m) Χαλίκια με Άμμο(12 m) Άργιλος(7 m)	4
23	Άργιλος(25 m) Χαλίκια(10 m)	5
24	Χαλίκια(24 m) Άργιλος(16 m)	4
25	Άμμος(12 m) Άργιλος(9 m) Κροκάλες(3 m) Χαλίκια(27 m)	5
26	Άργιλος(22 m) Χαλίκια(10 m)	4
27	Άμμος(3 m) Χαλίκια(12 m)	9
28	Άμμος(3 m)Χαλίκια με Άργιλο(21 m)	6
29	Κροκάλες (20 m) Αμμοχάλικο(20 m)	9
30	Άργιλος(25 m) Χαλίκια(20 m)	5
31	Άργιλος(3 m) Άμμος(9 m) Άργιλος(3 m)	5
32	Άργιλος(3 m) Άμμος(2 m) Χαλίκια(8 m)	5
33	Αμμοχάλικο(10 m)	8
34	Άργιλος(5 m) αμμοχάλικο(20 m) Άργιλος(10 m)	4
35	Χαλίκια(40 m) Άργιλος(16 m)	5
36	Άργιλος(12 m) Χαλίκια(3 m) Άργιλος(8 m)	3
37	Άργιλος(3 m) Χαλίκια(12 m) Άργιλος(9 m)	5
38	Άργιλος με χαλίκια(6 m) Άργιλος(3 m) Άμμος(5 m)	4
39	Άργιλος(7 m) Άμμος(11 m)	3
40	Άμμος(6 m) Χαλίκια(12 m) Άργιλος(3 m)	6

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ



Σχήμα 21: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου Ι.

6.7. Υδραυλική Αγωγιμότητα (C)

Η υδραυλική αγωγιμότητα ελέγχει την ταχύτητα των ρύπων στην κορεσμένη ζώνη. Η τιμή της καθορίζεται από τις ιδιότητες του υδροφορέα. Όσο αυξάνει η υδραυλική αγωγιμότητα, τόσο οι ρύποι κινούνται γρηγορότερα και αυξάνουν την τρωτότητα. Η υδραυλική αγωγιμότητα προσδιορίσθηκε από την αξιολόγηση των δοκιμαστικών αντλήσεων, που έχουν γίνει στη λεκάνη. Αρχικά υπολογίστηκε η ειδική ικανότητα του υδροφόρου με τον τύπο Q/s . Με βάση τις τιμές αυτές υπολογίστηκε η μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου με τον τύπο $T = 1,4 Q/s$. Στη συνέχεια με το πηλίκο T/h όπου h το πάχος του υδροφόρου υπολογίστηκε για κάθε γεώτρηση ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας. Όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας τόσο μεγαλύτερη η τιμή της βαθμονόμησης, ενώ όσο μικρότερος ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας τόσο μικρότερη η τιμή της βαθμονόμησης (Πίνακας 26). Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 3.

Πίνακας 26: Βαθμονόμηση του συντελεστή υδραυλικής Αγωγιμότητας.

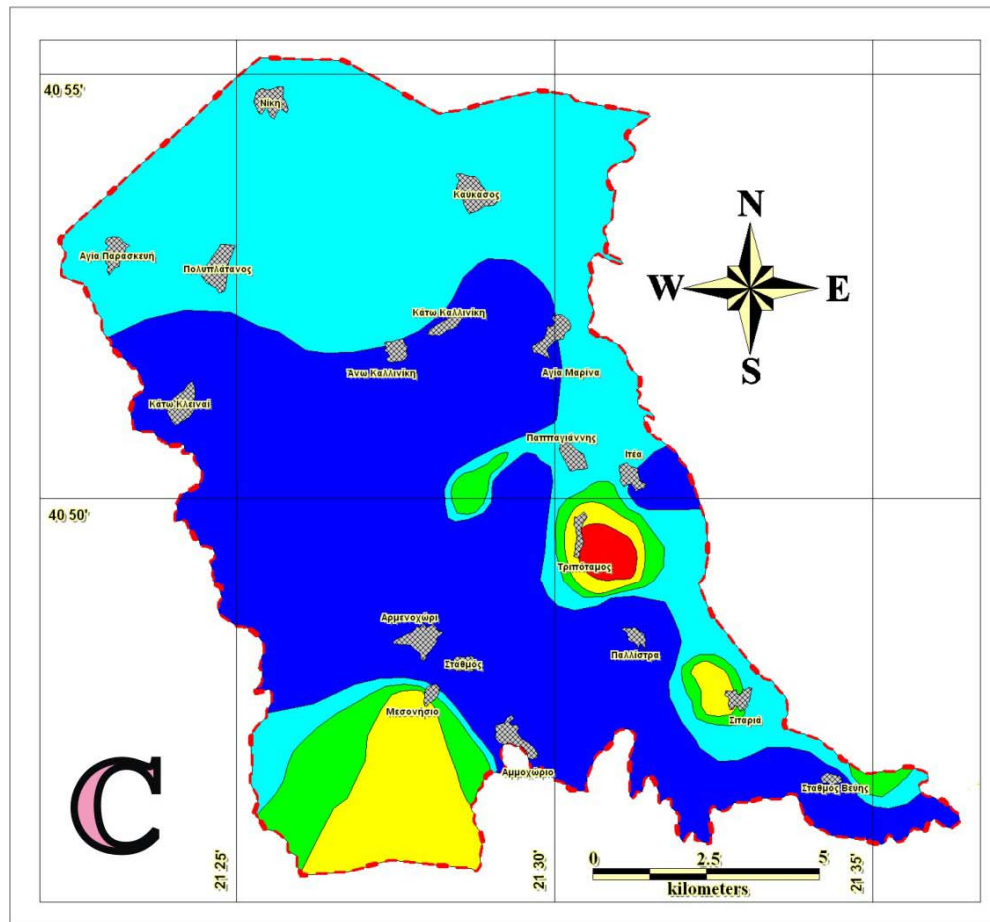
Συντελεστής Υδραυλικής Αγωγιμότητας (m/day)	Βαθμονόμηση
>10	7
4-10	6
2-4	4
1-2	3
<1	2

Με βάση τις τιμές της βαθμονόμησης σε κάθε σημείο (γεώτρηση) δόθηκε η αντίστοιχη τιμή (Πίνακας 27). Με τη χρήση της μεθόδου kriging κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της παραμέτρου C που παρουσιάζεται στο Σχήμα 22.

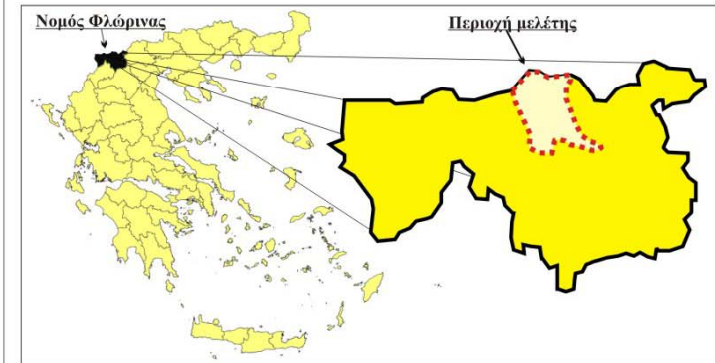
Πίνακας 27: Πίνακας Δεδομένων για τον υπολογισμό της παραμέτρου C.

Γεώτρηση	Παροχή (m ³ /h)	Πτώση Στάθμης(m)	Παροχή/Πτώση ΣτάθμηςQ/s	Πάχος Υδροφόρου (D)(m)	K=1,4T/D m/s	Συντελεστής Υδραυλικής Αγωγιμότητας (Cw) Βαρύτητα (3) (m/s-m/day)	Τιμή(Cr)
1	35	30	1,17	66	6,9 10 ⁻⁶	6,9 10 ⁻⁶ (0,6)	2
2	50	21	2,38	54	1,7 10 ⁻⁵	1,7 10 ⁻⁵ (1,47)	3
3	45	44	1,02	50	7,9 10 ⁻⁶	7,9 10 ⁻⁶ (0,7)	2
4	60	45,5	1,31	30	1,7 10 ⁻⁵	1,7 10 ⁻⁵ (1,47)	3
5	30	36,5	0,82	42	5,42 10 ⁻⁶	5,42 10 ⁻⁶ (0,5)	2
6	35	27	1,3	25	1,44 10 ⁻⁵	1,44 10 ⁻⁵ (1,2)	3
7	40	32,2	1,25	36	9,65 10 ⁻⁶	9,65 10 ⁻⁶ (0,8)	2
8	50	47,5	1,05	32	9,1 10 ⁻⁵	9,1 10 ⁻⁶ (0,8)	2
9	25	50	0,5	35	3,9 10 ⁻⁶	3,9 10 ⁻⁶ (0,3)	2
10	40	15	2,67	24	3,1 10 ⁻⁵	3,1 10 ⁻⁵ (2,7)	4
11	40	67	0,6	80	2,9 10 ⁻⁶	2,9 10 ⁻⁶ (0,3)	2
12	30	52	0,57	100	2,2 10 ⁻⁶	2,2 10 ⁻⁶ (0,2)	2
13	40	12	3,33	45	2,9 10 ⁻⁵	2,9 10 ⁻⁵ (2,5)	4
14	45	72	0,625	85	2,9 10 ⁻⁶	2,9 10 ⁻⁶ (0,3)	2
15	50	73	0,685	55	4,8 10 ⁻⁶	4,8 10 ⁻⁶ (0,4)	2
16	60	54,5	1,1	90	4,75 10 ⁻⁶	4,75 10 ⁻⁶ (0,4)	2
17	25	25	1	35	1,1 10 ⁻⁵	1,1 10 ⁻⁵ (0,9)	2
18	40	18	2,22	24	3,6 10 ⁻⁵	3,6 10 ⁻⁵ (3,1)	4
19	40	34	1,18	33	1,4 10 ⁻⁵	1,4 10 ⁻⁵ (1,2)	3
20	10	12	0,83	15	2,15 10 ⁻⁵	2,15 10 ⁻⁵ (1,9)	3
21	46	45	1,02	30	1,32 10 ⁻⁵	1,32 10 ⁻⁵ (1,2)	3
22	20	25	0,8	30	1,03 10 ⁻⁵	1,03 10 ⁻⁵ (0,9)	2
23	40	20	2	21	3,7 10 ⁻⁵	3,7 10 ⁻⁵ (3,2)	4
24	40	22	1,81	36	1,95 10 ⁻⁵	1,95 10 ⁻⁵ (1,7)	3
25	40	40	1	39	1 10 ⁻⁵	1 10 ⁻⁵ (0,9)	2
26	30	15	2	6	1,3 10 ⁻⁴	1,3 10 ⁻⁵ (1,1)	3
27	35	24,5	1,42	12	4,6 10 ⁻⁵	4,6 10 ⁻⁵ (4,1)	6
28	45	47	0,95	27	1,4 10 ⁻⁵	1,4 10 ⁻⁵ (1,2)	3
29	40	18	2,22	30	2,9 10 ⁻⁵	2,9 10 ⁻⁵ (2,5)	3
30	35	60	0,58	35	6,5 10 ⁻⁶	6,5 10 ⁻⁶ (0,6)	2
31	40	11	3,6	9	1,6 10 ⁻⁴	1,6 10 ⁻⁴ (13,8)	7
32	15	5	3	9	1,3 10 ⁻⁴	1,3 10 ⁻⁴ (11,2)	7
33	5	11	0,54	36	4,9 10 ⁻⁶	4,9 10 ⁻⁶ (0,4)	2
34	40	58,5	0,68	45	5,9 10 ⁻⁶	5,9 10 ⁻⁶ (0,5)	2
35	40	43	0,93	36	1 10 ⁻⁵	1 10 ⁻⁵ (0,9)	2
36	30	77	0,39	33	4,6 10 ⁻⁶	4,6 10 ⁻⁶ (0,4)	2
37	40	26,5	1,51	18	3,2 10 ⁻⁵	3,2 10 ⁻⁵ (2,8)	4
38	25	13,5	1,85	16	4,8 10 ⁻⁵	4,8 10 ⁻⁵ (4,1)	6
39	10	25	0,4	21	7,4 10 ⁻⁶	7,4 10 ⁻⁶ (0,6)	2
40	35	17	2,1	30	2,66 10 ⁻⁵	2,66 10 ⁻⁵ (2,3)	4

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (m/day)



Υδραυλική Αγωγιμότητα (m/day)	Βαθμονόμηση	Χρωματική Διαβάθμιση
>10	7	Red
4-10	6	Yellow
2-4	4	Green
1-2	3	Cyan
<1	2	Blue



Σχήμα 22: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου C.

6.8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι τιμές του δείκτη DRASTIC χωρίστηκαν σε 6 κλάσεις, όπως φαίνεται στο υπόμνημα του σχήματος. Για να πραγματοποιηθεί ο συσχετισμός μεταξύ των τριών μεθόδων ορίστηκαν έξι κοινές περιοχές διακινδύνευσης. Οι έξι περιοχές είναι : πολύ χαμηλή, χαμηλή, χαμηλή μέση, μέση υψηλή, υψηλή και πολύ υψηλή τρωτότητα.

Με βάση τις τιμές του δείκτη DRASTIC (Πίνακας 29), όπως προέκυψε από τη σχέση (3) της παραγράφου 2.4.1.3., κατασκευάστηκε ο τελικός χάρτης τρωτότητας για τον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας (Σχήμα 23). Οι υψηλές τιμές αντιπροσωπεύουν μεγάλο δυναμικό για ρύπανση του υδροφορέα ή υψηλή τρωτότητα. Υψηλή διακινδύνευση τρωτότητας (>160) εμφανίζεται στο ΒΔ/κό τμήμα του υδροφορέα και σχετίζεται κυρίως με το μικρό βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού. Ο τομέας μέσης διακινδύνευσης (120-140) καλύπτει το Ανατολικό τμήμα του, ενώ ο τομέας χαμηλής τρωτότητας (80-100) καταλαμβάνει μικρή έκταση στο κεντρικό τμήμα του υδροφορέα. Να σημειωθεί ότι τιμές είναι σχετικές σε μια θέση και χαμηλό δυναμικό δεν σημαίνει ότι ο υδροφορέας δεν κινδυνεύει από ρύπανση, αλλά είναι σχετικά λιγότερο ευάλωτος από άλλες θέσεις με υψηλό δείκτη DRASTIC. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγράφονται στον πίνακα 28.

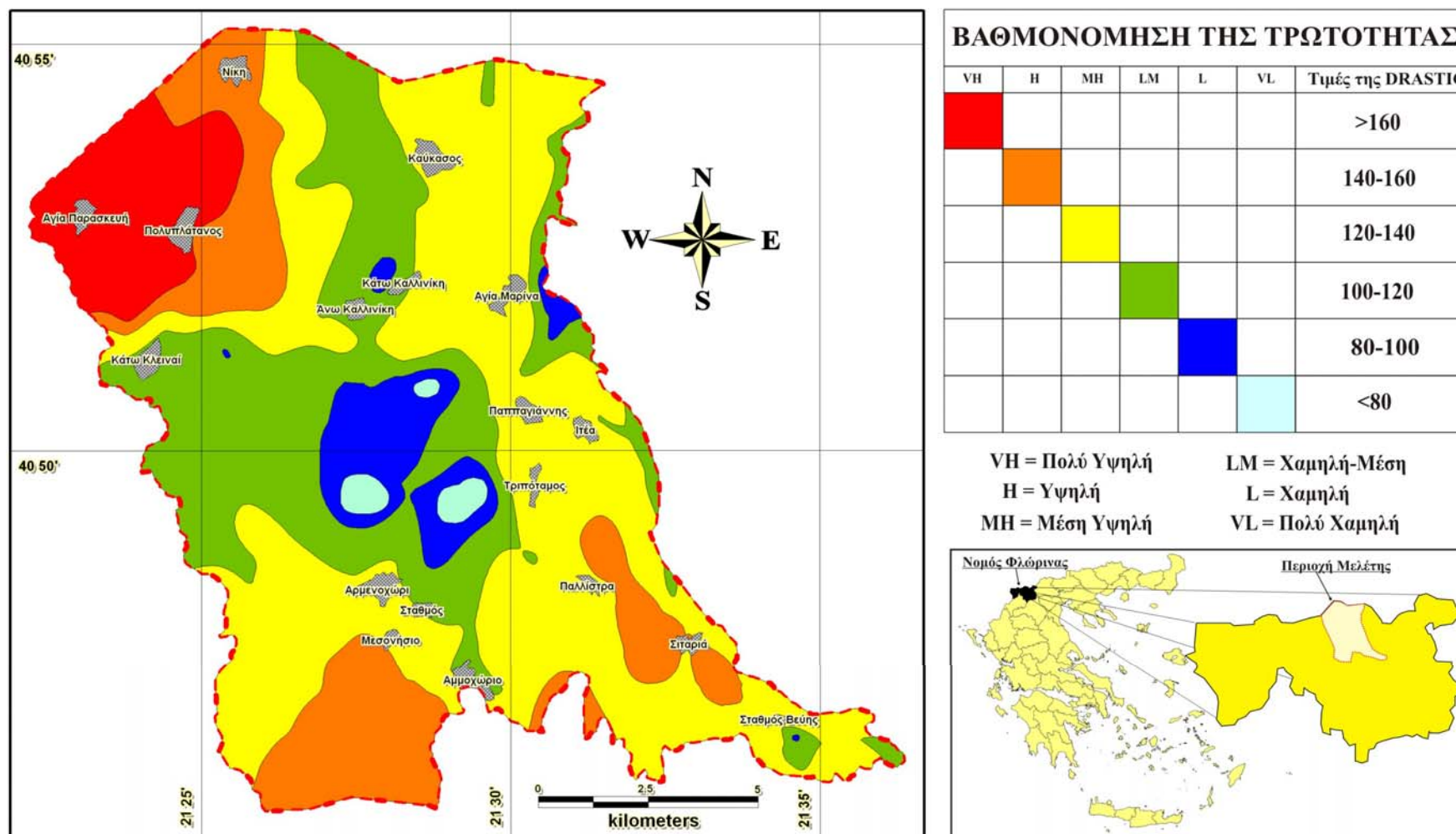
Πίνακας 28: Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων του δείκτη DRASTIC.

ΤΙΜΗ	Δείκτης DRASTIC	Έκταση	
		Km ²	%
Πολύ Υψηλή	>160	15.4	8.37
Υψηλή	140-160	28.57	15.52
Μέση Υψηλή	120-140	81.63	44.34
Χαμηλή Μέση	100-120	46.8	25.42
Χαμηλή	80-100	9.8	5.32
Πολύ Χαμηλή	<80	1.9	1.03
	Σύνολο	184.1	100

Πίνακας 29: Συγκεντρωτικός πίνακας των δεδομένων και τελική τιμή του δείκτη DRASTIC.

Γεώτρηση	Βάθος Νερού(Dw) Βαρύτητα (5)	Τιμή (Dr)	Κατείσδυση(Rw) Βαρύτητα (4)	Τιμή (Rr)	Υλικό υδροφορέα(Aw) Βαρύτητα (3)	Τιμή (Ar)	Εδαφικό υλικό(Sw) Βαρύτητα (2)	Τιμή (Sr)	Κλίση Αναγλύφου(Tw) Βαρύτητα (1)	Τιμή (Tr)	Ακόρεστη Ζώνη(Iw) Βαρύτητα (5)	Τιμή (Ir)	Συντελεστής Υδραυλικής Αγωγιμότητας (Cw) Βαρύτητα (3) (m/s-m/day)	Τιμή (Cr)	Vulnerability DRASTIC
1	5 έως 10	7	21	1	Χαλίκια-Άμμος	4	Αργιλώδες	2	1,2	10	Αργίλος(25m)Χαλίκια(10m)	5	6,9 10 -6(0,6)	2	96
2	5 έως 10	7	21	1	Κροκάλες-Χαλίκια	7	Αργιλώδες	2	1,9	10	Αλλούβια (12m) Αργίλος(18m)	4	1,7 10 -5(1,47)	3	103
3	5 έως 10	7	40	2	Χαλίκια	6	Ιλυώδης	4	1	10	Αργίλος(5m) Άμμος Χαλίκια(25m)	8	7,9 10 -6(0,7)	2	125
4	5 έως 10	7	62	5	Χαλίκια	6	Πηλώδες	6	0,2	10	Άμμος(6m) Χαλίκια(6m) Αργίλος (5m)	8	1,7 10 -5(1,47)	3	144
5	5 έως 10	7	43	3	Χαλίκια	6	Ιλυώδης	4	0,3	10	Άμμος (10m) Αργίλος (25m)	2	5,42 10 -6(0,5)	2	99
6	5 έως 10	7	58	4	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	0	10	Αργίλος(25m) Χαλίκια(10m)	5	1,44 10 -5(1,2)	3	119
7	0 - 2,5	10	64	5	Κροκάλες-Χαλίκια	7	Πηλώδες	6	0,6	10	Άμμος(25m) Χαλίκια (10m) Κροκάλες(6m)	9	9,65 10 -6(0,8)	2	164
8	2,5 - 5	9	63	5	Χαλίκια	6	Πηλώδες	6	0,3	10	Χαλίκια(60m)	9	9,1 10 -6(0,8)	2	156
9	15 - 20	3	27	1	Χαλίκια	6	Αργιλώδες	2	0,9	10	Αργίλος (10m)Χαλίκια (40m)	8	3,9 10 -6(0,3)	2	97
10	>25	1	31	2	Χαλίκια	6	Αργιλώδες	2	7,1	5	Αργίλος(3 m) Χαλίκια(45 m)	9	3,1 10 -5(2,7)	4	97
11	5 έως 10	7	77	5	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	0,5	10	Αργίλος(20 m) Αμμοχάλικο (40 m)	3	2,9 10 -6(0,3)	2	110
12	20 - 25	7	84	6	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	5	9	Αργίλος(5 m) Αμμοχάλικο(25 m)	7	2,2 10 -6(0,2)	2	133
13	5 έως 10	7	75	5	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	0,6	10	Αργίλος(25 m) Χαλίκια(10 m)	5	2,9 10 -5(2,5)	4	126
14	5 έως 10	7	49	3	Χαλίκια-Άμμος-Αργίλος	2	Ιλυώδης	4	0	10	Αργίλος με Άμμο (30 m)	2	2,9 10 -6(0,3)	2	87
15	5 έως 10	7	74	5	Χαλίκια	6	Πηλώδες	6	0,6	10	Αργίλος (10 m) Χαλίκια (30 m)	7	4,8 10 -6(0,4)	2	136
16	5 έως 10	7	73	5	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	0,7	10	Αργίλος(3 m) Άμμος(30 m)	6	4,75 10 -6(0,4)	2	125
17	5 έως 10	7	44	3	Χαλίκια-Άμμος	4	Ιλυώδης	4	0,6	10	Αργίλος-Άμμος(18 m)Χαλίκια(7 m)	6	1,1 10 -5(0,9)	2	113
18	10 έως 15	5	69	5	Χαλίκια	6	Πηλώδες	6	4,4	9	Χαλίκια (12 m)	7	3,6 10 -5(3,1)	4	131
19	10 έως 15	5	62	5	Χαλίκια-Άμμος-Αργίλος	2	Πηλώδες	6	0,5	10	Αμμοχάλικα (15 m) Αργίλος (3 m) Χαλίκια (12 m)	8	1,4 10 -5(1,2)	3	122
20	10 έως 15	5	79	5	Χαλίκια	6	Πηλώδες	6	7,1	5	Χαλίκια(6 m) Αργίλος(15 m)	2	2,15 10 -5(1,9)	3	99
21	5 έως 10	7	26	1	Χαλίκια-Άμμος	4	Αργιλώδες	2	2,3	9	Χαλίκια(20 m) Άμμος(18 m)	8	1,32 10 -5(1,2)	3	113
22	2,5-5	9	67	5	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	2,2	9	Αργίλος(3 m) Χαλίκια με Άμμο(12 m) Αργίλος(7 m)	4	1,03 10 -5(0,9)	2	124
23	5 έως 10	7	24	1	Χαλίκια-Άμμος	4	Αργιλώδες	2	3,6	9	Αργίλος(25 m) Χαλίκια(10 m)	5	3,7 10 -5(3,2)	4	101
24	15 έως 20	3	63	5	Χαλίκια	6	Πηλώδες	6	0,4	10	Χαλίκια(24 m) Αργίλος(16 m)	4	1,95 10 -5(1,7)	3	104
25	10 έως 15	5	22	1	Κροκάλες-Χαλίκια	7	Αργιλώδες	2	4	9	Άμμος(12 m) Αργίλος(9 m) Κροκάλες(3 m) Χαλίκια(27 m)	5	1 10 -5(0,9)	2	94
26	5 έως 10	7	68	5	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	0,3	10	Αργίλος(22 m) Χαλίκια(10 m)	4	1,3 10 -5(1,1)	3	118
27	2,5-5	9	45	3	Χαλίκια	6	Ιλυώδης	4	0,3	10	Άμμος(3 m) Χαλίκια(12 m)	9	4,6 10 -5(4,1)	6	156
28	5 έως 10	7	69	5	Κροκάλες-Χαλίκια	7	Πηλώδες	6	0	10	Άμμος(3 m)Χαλίκια με Αργίλο(21 m)	6	1,4 10 -5(1,2)	3	137
29	10 έως 15	5	62	5	Χαλίκια	6	Πηλώδες	6	0,4	10	Κροκάλες (20 m) Αμμοχάλικα(20 m)	9	2,9 10 -5(2,5)	3	139
30	10 έως 15	5	23	1	Χαλίκια-Άμμος	4	Αργιλώδες	2	5	9	Αργίλος(25 m) Χαλίκια(20 m)	5	6,5 10 -6(0,6)	2	85
31	5 έως 10	5	42	3	Χαλίκια-Άμμος	4	Ιλυώδης	4	2	10	Αργίλος(3 m) Άμμος(9 m) Αργίλος(3 m)	5	1,6 10 -4(13,8)	7	113
32	5 έως 10	5	65	5	Χαλίκια	6	Πηλώδες	6	1,4	10	Αργίλος(3 m) Άμμος(2 m) Χαλίκια(8 m)	5	1,3 10 -4(11,2)	7	131
33	5 έως 10	5	76	5	Χαλίκια-Άμμος-Αργίλος	2	Πηλώδες	6	1,7	10	Αμμοχάλικο(10 m)	8	4,9 10 -6(0,4)	2	119
34	2,5-5	9	66	5	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	0,7	10	Αργίλος(5 m) αμμοχάλικο(20 m) Αργίλος(10 m)	4	5,9 10 -6(0,5)	2	125
35	10 έως 15	5	70	5	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	0,6	10	Χαλίκια(40 m) Αργίλος(16 m)	5	1 10 -5(0,9)	2	110
36	2,5-5	9	65	5	Χαλίκια	6	Πηλώδες	6	0	10	Αργίλος(12 m) Χαλίκια(3 m) Αργίλος(8 m)	3	4,6 10 -6(0,4)	2	126
37	2,5-5	9	68	5	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	0,7	10	Αργίλος(3 m) Χαλίκια(12 m) Αργίλος(9 m)	5	3,2 10 -5(2,8)	4	136
38	2,5-5	9	65	5	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	0	10	Αργίλος με χαλίκια(6 m) Αργίλος(3 m) Άμμος(5 m)	4	4,8 10 -5(4,1)	6	137
39	0 - 2,5	10	69	5	Χαλίκια-Άμμος	4	Πηλώδες	6	1,6	10	Αργίλος(7 m) Άμμος(11 m)	3	7,4 10 -6(0,6)	2	125
40	0 - 2,5	10	45	3	Χαλίκια	6	Ιλυώδης	4	0,3	10	Άμμος(6 m) Χαλίκια(12 m) Αργίλος(3 m)	6	2,66 10 -5(2,3)	4	140

ΧΑΡΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ



7.1 Εμφάνιση του υπόγειου νερού (G)

Με τον όρο εμφάνιση του υπόγειου νερού εννοούμε τον τύπο του υδροφόρου που συναντάμε. Σύμφωνα με τα δεδομένα των λιθολογικών τομών στη λεκάνη της Φλώρινας συναντάμε τρεις διαφορετικούς τύπους υδροφόρου (Ελεύθερος, Ημιελεύθερος και Υπό Πίεση) όπως φαίνεται στο χάρτη του σχήματος 23. Στους ελεύθερους υδροφόρους δόθηκε υψηλότερη τιμή, ενώ στους υπό πίεση δόθηκε μικρότερη τιμή (Πίνακας 30). Οι ελεύθεροι υδροφόροι βαθμονομήθηκαν με τιμή 1, οι ημιελεύθεροι υδροφόροι με τιμή 0.5 και οι υπό πίεση υδροφόροι με 0.3.

Πίνακας 30: Βαθμονόμηση του Τύπου του Υδροφόρου.

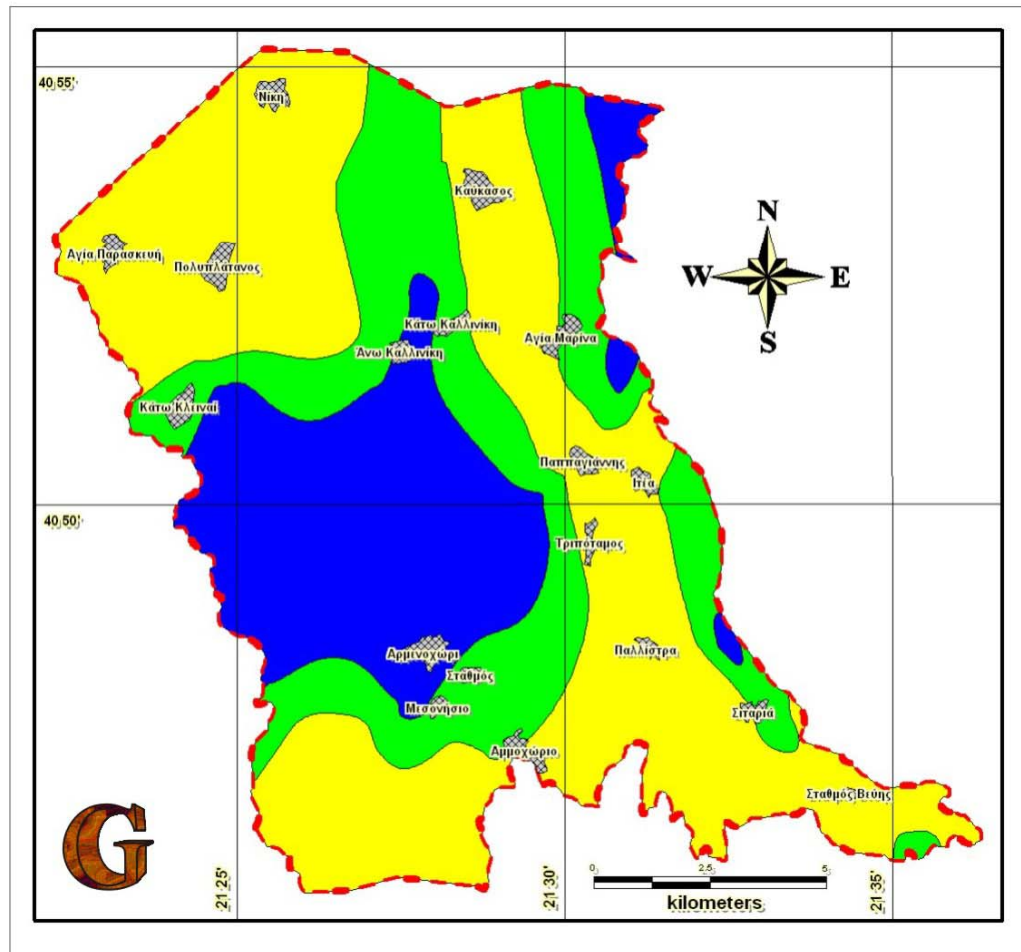
Τύπος Υδροφόρου	Βαθμονόμηση
>10	7
4-10	6
2-4	4
1-2	3
<1	2

Με βάση τις τιμές της βαθμονόμησης σε κάθε σημείο (γεώτρηση) δόθηκε η αντίστοιχη τιμή (Πίνακας 31). Με τη χρήση της μεθόδου kriging κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της παραμέτρου G που παρουσιάζεται στο Σχήμα 24.

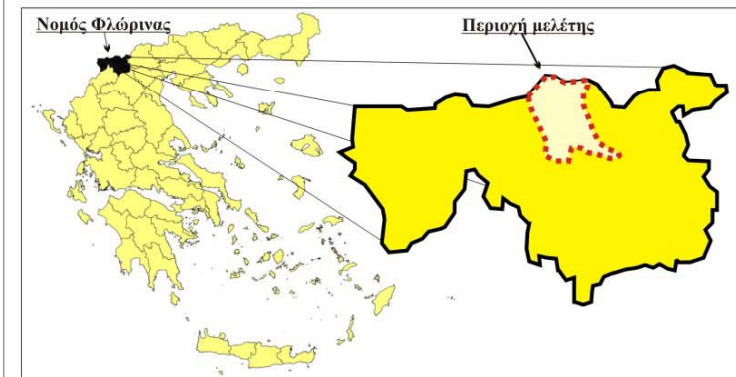
Πίνακας 31: Πίνακας Δεδομένων για τον υπολογισμό της παραμέτρου G.

Γεώτρηση	Τύπος Υδροφορέα (G)	Τιμή
1	Υπο πίεση	0.3
2	Υπο πίεση	0.3
3	Ελεύθερος	1
4	Ελεύθερος	1
5	Υπο πίεση	0.3
6	Υπο πίεση	0.3
7	Ελεύθερος	1
8	Ελεύθερος	1
9	Ελεύθερος	1
10	Ελεύθερος	1
11	Ημιελεύθερος	0.5
12	Ελεύθερος	1
13	Ελεύθερος	1
14	Ελεύθερος	1
15	Ελεύθερος	1
16	Ελεύθερος	1
17	Ημιελεύθερος	0.5
18	Ελεύθερος	1
19	Ελεύθερος	1
20	Υπο πίεση	0.3
21	Ελεύθερος	1
22	Ελεύθερος	1
23	Υπο πίεση	0.3
24	Υπο πίεση	0.3
25	Υπο πίεση	0.3
26	Υπο πίεση	0.3
27	Ελεύθερος	1
28	Ημιελεύθερος	0.5
29	Ελεύθερος	1
30	Υπο πίεση	0.3
31	Ελεύθερος	1
32	Ελεύθερος	1
33	Ελεύθερος	1
34	Ημιελεύθερος	0.5
35	Ελεύθερος	1
36	Υπο πίεση	0.3
37	Ελεύθερος	1
38	Υπο πίεση	0.3
39	Υπο πίεση	0.3
40	Ελεύθερος	1

ΤΥΠΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ



Τύπος Υδροφόρου	Βαθμονόμηση	Χρωματική Διαβάθμιση
Ελεύθερος	1	Yellow
Ημιελεύθερος	0.5	Green
Υπό Πίεση	0.3	Blue



Σχήμα 24: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου G.

7.2 Λιθολογία των υπερκείμενων στρωμάτων (Ο)

Η λιθολογία των υπερκείμενων στρωμάτων καθορίζουν τη συγκέντρωση των ρύπων, τη μείωση τους καθώς και τη διαδρομή τους προς τον υδροφόρο. Το μεγάλο πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων σε συνδιασμό με την παρουσία λεπτόκκοκων υλικών συμβάλλουν στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου. Στα χονδρόκοκκα υλικά δόθηκε μεγάλη τιμή στη βαθμονόμηση, ενώ στα λεπτόκοκκα υλικά δόθηκε μικρότερη τιμή (Πίνακας 32).

Πίνακας 32: Βαθμονόμηση της λιθολογίας των υπερκείμενων στρωμάτων.

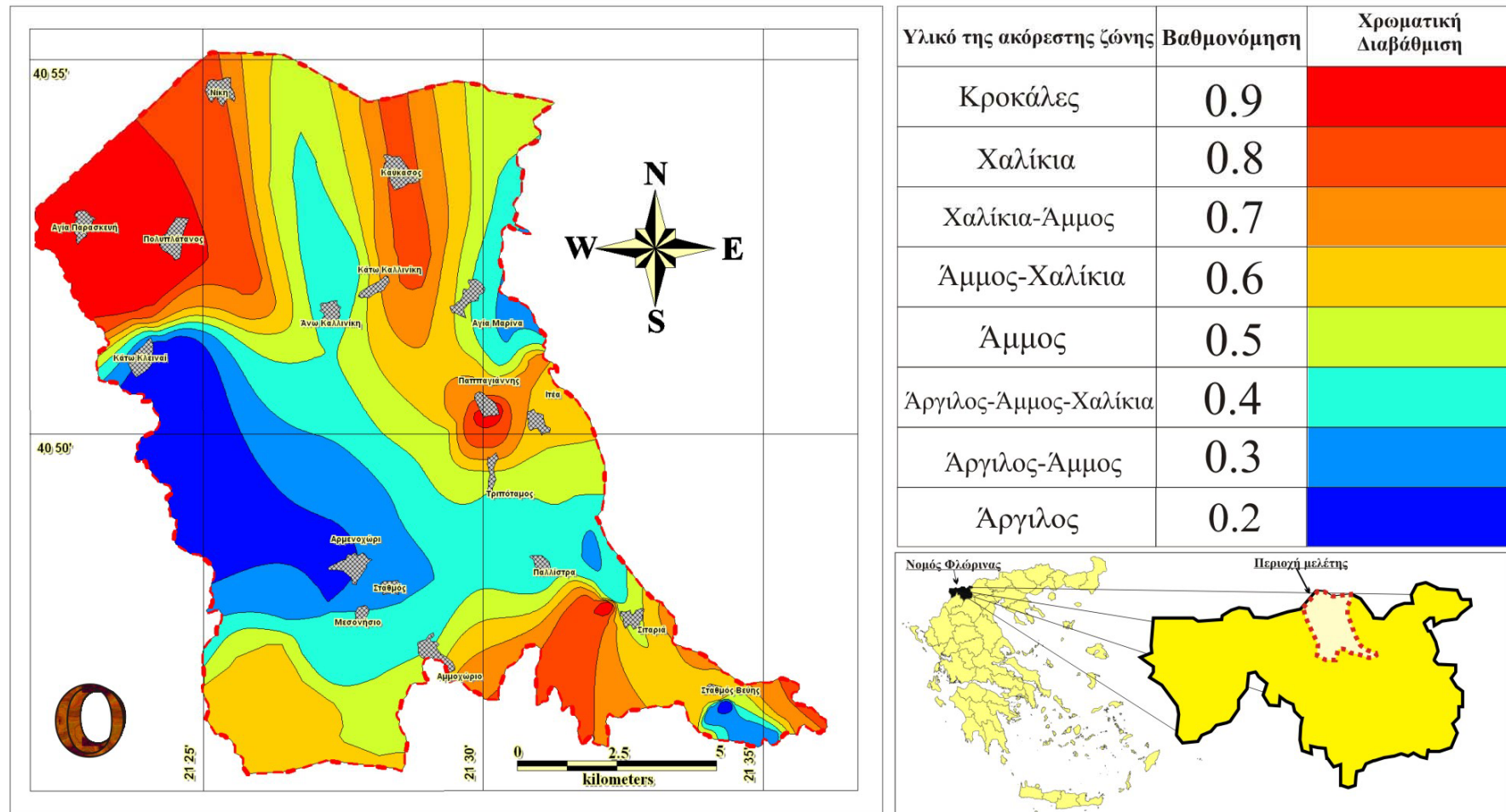
Λιθολογία των υπερκείμενων στρωμάτων	Βαθμονόμηση
Κροκάλες	0.9
Χαλίκια	0.8
Χαλίκια - Άμμος	0.7
Άμμος – Χαλίκια	0.6
Άμμος	0.5
Άργιλος – Άμμος – Χαλίκια	0.4
Άργιλος – Άμμος	0.3
Άργιλος	0.2

Με βάση τις τιμές της βαθμονόμησης σε κάθε σημείο (γεώτρηση) δόθηκε η αντίστοιχη τιμή (Πίνακας 33). Με τη χρήση της μεθόδου kriging κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της παραμέτρου Ο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 25.

Πίνακας 33: Πίνακας Δεδομένων για τον υπολογισμό της παραμέτρου O.

Γεώτρηση	Ακόρεστη Ζώνη(Ο)	Τιμή
1	Άργιλος(25 m) Χαλίκια(10 m)	-
2	Αλλούβια (12 m) Άργιλος(18 m)	-
3	Άργιλος(5 m) Άμμος με Χαλίκια(25 m)	0.8
4	Άμμος(6 m) Χαλίκια(6 m) Άργιλος (5 m)	0.8
5	Άμμος (10 m) Άργιλος (25 m)	-
6	Άργιλος(25 m) Χαλίκια(10 m)	-
7	Άμμος(25 m) Χαλίκια (10 m) Κροκάλες(6 m)	0.9
8	Χαλίκια(60 m)	0.9
9	Άργιλος (10 m)Χαλίκια (40 m)	0.8
10	Άργιλος(3 m) Χαλίκια(45 m)	0.9
11	Άργιλος(20 m)Αμμοχάλικο (40 m)	-
12	Άργιλος(5 m)Αμμοχάλικο(25 m)	0.7
13	Άργιλος(25 m) Χαλίκια(10 m)	0.5
14	Άργιλος με Άμμο (40 m)	0.2
15	Άργιλος (10 m) Χαλίκια (30 m)	0.7
16	Άργιλος(3 m) Άμμος(30 m)	0.6
17	Άργιλος-Άμμος(18 m)Χαλίκια(7 m)	-
18	Χαλίκια (25 m) Άργιλος με Χαλίκια(35 m)	0.7
19	Αμμοχάλικα (15 m) Άργιλος (3 m) Χαλίκια (12 m)	0.8
20	Χαλίκια(6 m) Άργιλος(15 m)	-
21	Χαλίκια(20 m) Άμμος(18 m)	0.8
22	Άργιλος(3 m)Χαλίκια με Άμμο(12 m)Άργιλος(7 m)	0.4
23	Άργιλος(25 m)Χαλίκια(10 m)	-
24	Χαλίκια(24 m) Άργιλος(16 m)	-
25	Άμμος(12 m) Άργιλος(9 m)Κροκάλες(3 m)Χαλίκια(27 m)	-
26	Άργιλος(22 m)Χαλίκια(10 m)	-
27	Άμμος(3 m)Χαλίκια(12 m)	0.9
28	Άμμος(3 m)Χαλίκια με Άργιλο(21 m)	-
29	κροκάλες (20 m)Αμμοχάλικο(20 m)	0.9
30	Άργιλος(25 m)Χαλίκια(20 m)	-
31	Άργιλος(m)άμμος(9 m)Άργιλος(3 m)	0.5
32	Άργιλος(3 m)Άμμος(2 m)χαλίκια(8 m)	0.5
33	Αμμοχάλικο (30 m)	0.8
34	Άργιλος(5 m)Αμμοχάλικο(20 m)Άργιλος(10 m)	-
35	Χαλίκια(40 m) Άργιλος(16 m)	0.5
36	Άργιλος(12 m)Χαλίκια(3 m)Άργιλος(8 m)	-
37	Άργιλος(3 m)Χαλίκια(12 m)Άργιλος(9 m)	0.5
38	Άργιλος με χαλίκια(6 m)Άργιλος(3 m)Άμμος(5 m)	-
39	Άργιλος(7 m)άμμος(11 m)	-
40	Άμμος(6 m)Χαλίκια(12 m)Άργιλος(3 m)	0.6

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ



Σχήμα 25: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου Ο.

7.3 Βάθος του υπόγειου νερού (D)

Το βάθος του υπόγειου νερού παίζει σημαντικό ρόλο στην προστασία του υπόγειου νερού. Μεγάλα βάθη υποδηλώνουν καλύτερη προστασία του υδροφορέα στη ρύπανση. Για τη σύνταξη του θεματικού χάρτη χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις στάθμης της περιόδου του Μαΐου 2007. Η στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 1 έως 30 m από την επιφάνεια του εδάφους. Ανάλογα με το βάθος του υπόγειου νερού δόθηκε και αντίστοιχη τιμή. Συνεπώς για μικρό βάθος του υπόγειου νερού δόθηκε μεγάλη τιμή στη βαθμονόμηση, ενώ για μεγάλο βάθος του υπόγειου νερού δόθηκε μικρή τιμή στη βαθμονόμηση. Στον Πίνακα 34 δίνεται η βαθμονόμηση του βάθους του υπόγειου νερού.

Πίνακας 34: Βαθμονόμηση του Βάθους του υπόγειου νερού.

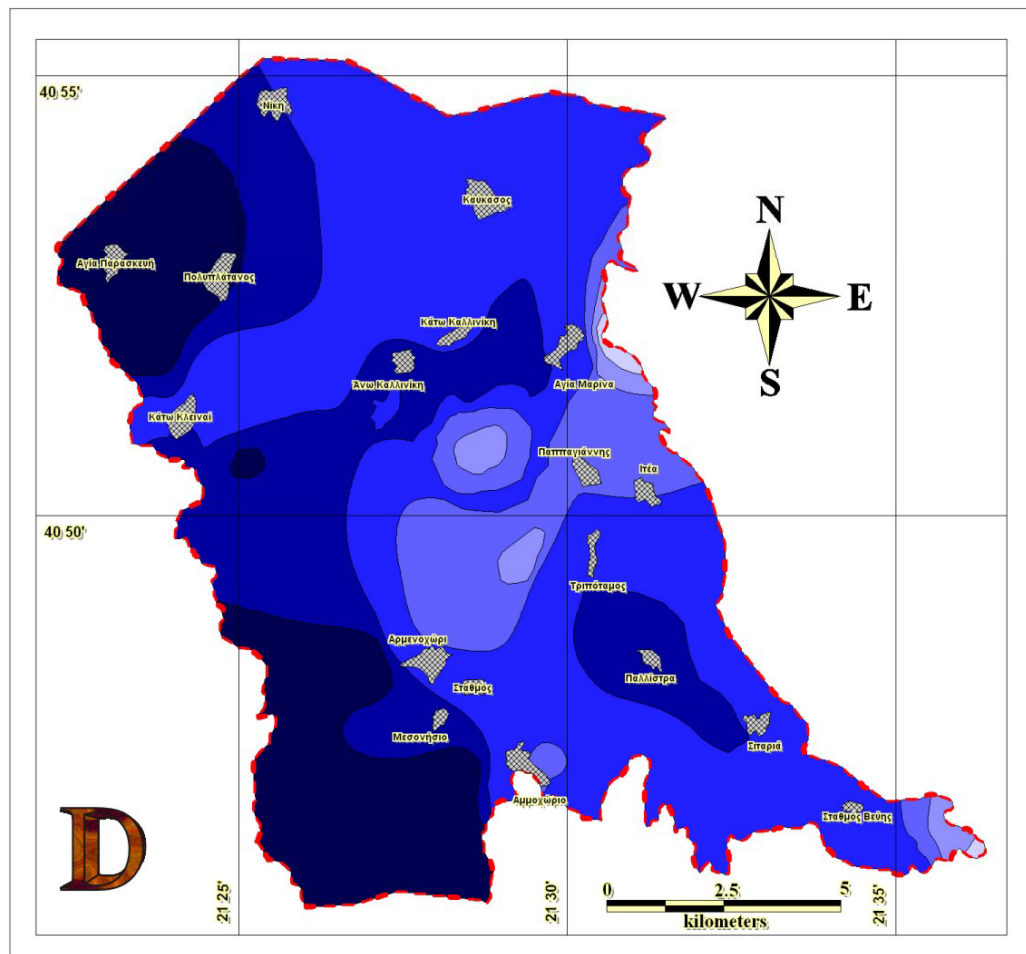
Βάθος του υπόγειου νερού (m)	Βαθμονόμηση
0-2.5	1
2.5-5	0.9
5-10	0.7
10-15	0.5
15-20	0.3
20-25	0.2
>25	0.1

Με βάση τις τιμές της βαθμονόμησης σε κάθε σημείο (γεώτρηση) δόθηκε η αντίστοιχη τιμή (Πίνακας 35). Με τη χρήση της μεθόδου kriging κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της παραμέτρου D που παρουσιάζεται στο Σχήμα 26.

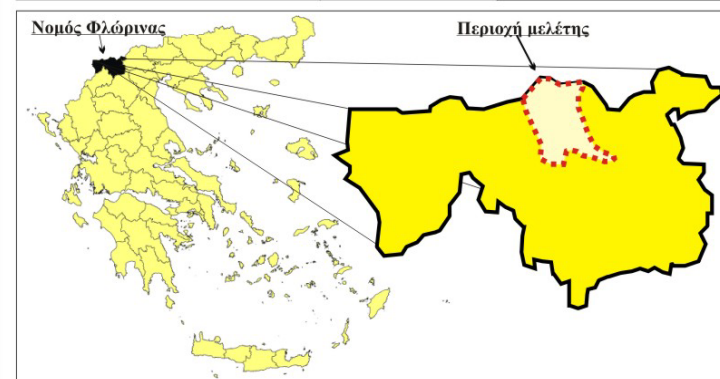
Πίνακας 35: Πίνακας Δεδομένων για τον υπολογισμό της παραμέτρου D.

Γεώτρηση	Βάθος Νερού(D)	Τιμή
1	5-10	0.7
2	5-10	0.7
3	5-10	0.7
4	5-10	0.7
5	5-10	0.7
6	5-10	0.7
7	0-2.5	1
8	2.5 - 5	0.9
9	15 - 20	0.3
10	>25	0.1
11	5-10	0.7
12	20 - 25	0.7
13	5-10	0.7
14	5-10	0.7
15	5-10	0.7
16	5-10	0.7
17	5-10	0.7
18	10-15	0.5
19	10-15	0.5
20	10-15	0.5
21	5-10	0.7
22	2.5-5	0.9
23	5-10	0.7
24	15-20	0.3
25	10-15	0.5
26	5-10	0.7
27	2.5-5	0.9
28	5-10	0.7
29	10-15	0.5
30	10-15	0.5
31	5-10	0.5
32	5-10	0.5
33	5-10	0.5
34	2.5-5	0.9
35	10-15	0.5
36	2.5-5	0.9
37	2.5-5	0.9
38	2.5-5	0.9
39	0 - 2.5	1
40	0 - 2.5	1

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ (m)



Βάθος του νερού (m)	Βαθμονόμηση	Χρωματική Διαβάθμιση
0-2,5	1	
2,5-5	0.9	
5-10	0.7	
10-15	0.5	
15-20	0.3	
20-25	0.2	
>25	0.1	



Σχήμα 26: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου D.

7.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι τιμές του δείκτη GOD χωρίστηκαν σε 6 κλάσεις, όπως φαίνεται στο υπόμνημα του σχήματος. Για να πραγματοποιηθεί ο συσχετισμός μεταξύ των τριών μεθόδων ορίστηκαν έξι κοινές περιοχές διακινδύνευσης. Οι έξι περιοχές είναι : πολύ χαμηλή, χαμηλή, χαμηλή μέση, μέση υψηλή, υψηλή και πολύ υψηλή τρωτότητα.

Με βάση τις τιμές του δείκτη GOD (Πίνακας 37), όπως προέκυψε από τη σχέση (2) της παραγράφου 2.4.1.2., κατασκευάσθηκε ο τελικός χάρτης τρωτότητας για τον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας (Σχήμα 27). Οι υψηλές τιμές αντιπροσωπεύουν μεγάλο δυναμικό για ρύπανση του υδροφορέα ή υψηλή τρωτότητα. Υψηλή διακινδύνευση τρωτότητας (>0.75) εμφανίζεται στο ΒΔ/κό τμήμα του υδροφορέα και σε ένα μικρό τμήμα μεταξύ των χωριών Σιταριά και Παλλίστρα και σχετίζεται κυρίως με το μικρό βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού. Ο τομέας μέσης διακινδύνευσης (0.45-0.60) καλύπτει το Ανατολικό τμήμα του, ενώ ο τομέας χαμηλής τρωτότητας (0-0.15) καταλαμβάνει μικρή έκταση στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του υδροφορέα. Να σημειωθεί ότι τιμές είναι σχετικές σε μια θέση και χαμηλό δυναμικό δεν σημαίνει ότι ο υδροφορέας δεν κινδυνεύει από ρύπανση, αλλά είναι σχετικά λιγότερο ευάλωτος από άλλες θέσεις με υψηλό δείκτη GOD.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγράφονται στον πίνακα 36.

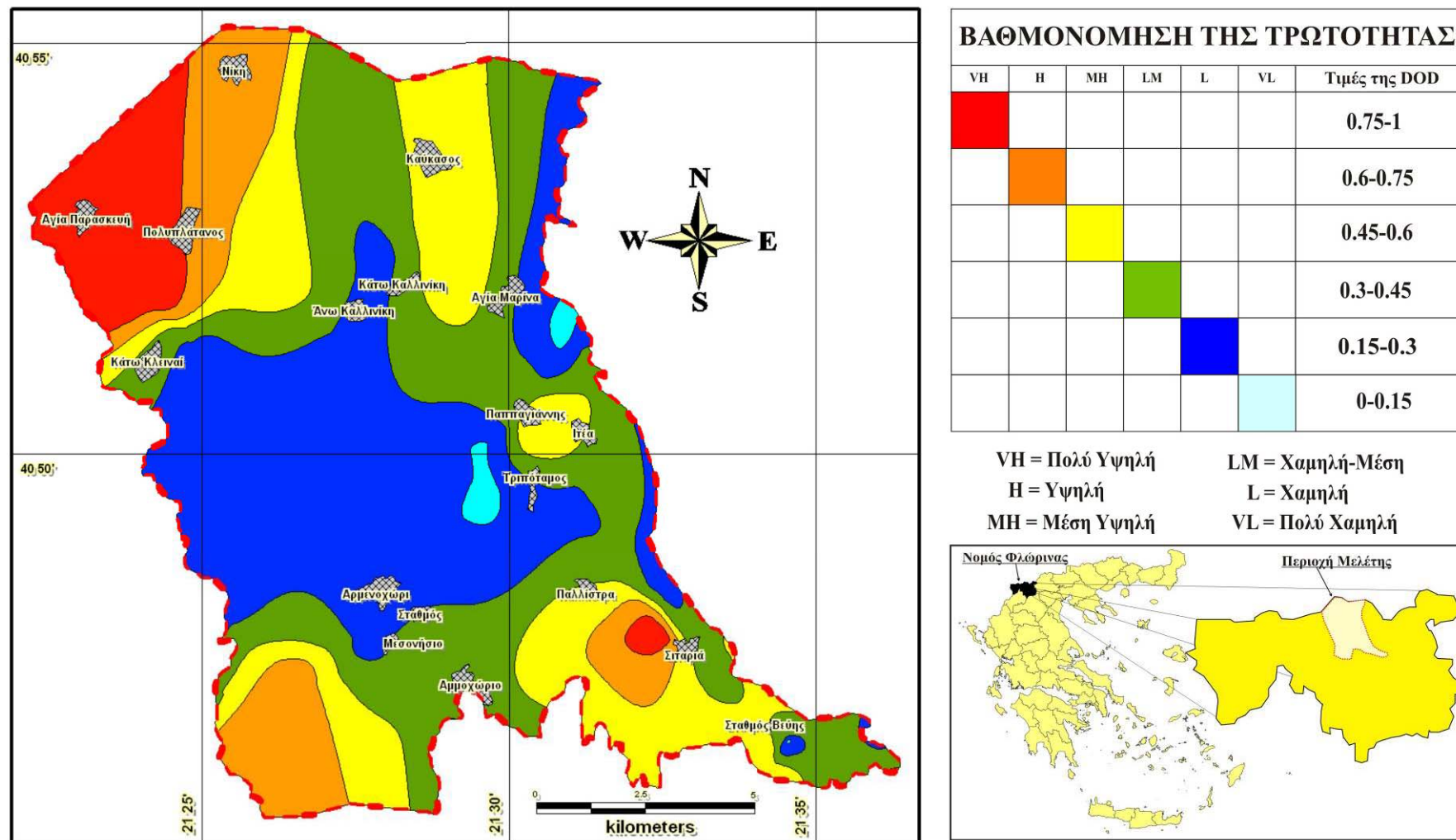
Πίνακας 36: Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων του δείκτη GOD.

ΤΙΜΗ	Δείκτης GOD	Έκταση	
		Km ²	%
Πολύ Υψηλή	0.75-1	13.88	7.54
Υψηλή	0.6-0.75	20.7	11.24
Μέση Υψηλή	0.45-0.6	37.42	20.33
Χαμηλή Μέση	0.3-0.45	55.82	30.32
Χαμηλή	0.15-0.3	54.72	29.72
Πολύ Χαμηλή	0-0.15	1.56	0.85
	Σύνολο	184.1	100

Πίνακας 37: Συγκεντρωτικός πίνακας των δεδομένων και τελική τιμή του δείκτη GOD.

Γεώτρηση	Τύπος Υδροφορέα (G)	Τιμή	Ακόρεστη Ζώνη(Ο)	Τιμή	Βάθος Νερού(D)	Τιμή	Vulnerability GOD
1	Υπο πίεση	0.3	Άργιλος(25 m) Χαλίκια(10 m)	-	5-10	0.7	0.21
2	Υπο πίεση	0.3	Αλλούβια (12 m) Άργιλος(18 m)	-	5-10	0.7	0.21
3	Ελεύθερος	1	Άργιλος(5 m) Άμμος με Χαλίκια(25 m)	0.8	5-10	0.7	0.56
4	Ελεύθερος	1	Άμμος(6 m) Χαλίκια(6 m) Άργιλος (5 m)	0.8	5-10	0.7	0.56
5	Υπο πίεση	0.3	Άμμος (10 m) Άργιλος (25 m)	-	5-10	0.7	0.21
6	Υπο πίεση	0.3	Άργιλος(25 m) Χαλίκια(10 m)	-	5-10	0.7	0.21
7	Ελεύθερος	1	Άμμος(25 m) Χαλίκια (10 m) Κροκάλες(6 m)	0.9	0-2.5	1	0.9
8	Ελεύθερος	1	Χαλίκια(60 m)	0.9	2.5 - 5	0.9	0.81
9	Ελεύθερος	1	Άργιλος (10 m)Χαλίκια (40 m)	0.8	15 - 20	0.3	0.24
10	Ελεύθερος	1	Άργιλος(3 m) Χαλίκια(45 m)	0.9	>25	0.1	0.09
11	Ημieleύθερος	0.5	Άργιλος(20 m)Αμμοχάλικο (40 m)	-	5-10	0.7	0.35
12	Ελεύθερος	1	Άργιλος(5 m)Αμμοχάλικο(25 m)	0.7	20 - 25	0.7	0.49
13	Ελεύθερος	1	Άργιλος(25 m) Χαλίκια(10 m)	0.5	5-10	0.7	0.35
14	Ελεύθερος	1	Άργιλος με Άμμο (40 m)	0.2	5-10	0.7	0.14
15	Ελεύθερος	1	Άργιλος (10 m) Χαλίκια (30 m)	0.7	5-10	0.7	0.49
16	Ελεύθερος	1	Άργιλος(3 m) Άμμος(30 m)	0.6	5-10	0.7	0.42
17	Ημieleύθερος	0.5	Άργιλος-Άμμος(18 m)Χαλίκια(7 m)	-	5-10	0.7	0.35
18	Ελεύθερος	1	Χαλίκια (25 m) Άργιλος με Χαλίκια(35 m)	0.7	10-15	0.5	0.35
19	Ελεύθερος	1	Αμμοχάλικα (15 m) Άργιλος (3 m) Χαλίκια (12 m)	0.8	10-15	0.5	0.4
20	Υπο πίεση	0.3	Χαλίκια(6 m) Άργιλος(15 m)	-	10-15	0.5	0.15
21	Ελεύθερος	1	Χαλίκια(20 m) Άμμος(18 m)	0.8	5-10	0.7	0.56
22	Ελεύθερος	1	Άργιλος(3 m)Χαλίκια με Άμμο(12 m)Άργιλος(7 m)	0.4	2.5-5	0.9	0.36
23	Υπο πίεση	0.3	Άργιλος(25 m)Χαλίκια(10 m)	-	5-10	0.7	0.21
24	Υπο πίεση	0.3	Χαλίκια(24 m) Άργιλος(16 m)	-	15-20	0.3	0.09
25	Υπο πίεση	0.3	Άμμος(12 m) Άργιλος(9 m)Κροκάλες(3 m)Χαλίκια(27 m)	-	10-15	0.5	0.15
26	Υπο πίεση	0.3	Άργιλος(22 m)Χαλίκια(10 m)	-	5-10	0.7	0.21
27	Ελεύθερος	1	Άμμος(3 m)Χαλίκια(12 m)	0.9	2.5-5	0.9	0.81
28	Ημieleύθερος	0.5	Άμμος(3 m)Χαλίκια με Άργιλο(21 m)	-	5-10	0.7	0.35
29	Ελεύθερος	1	κροκάλες (20 m)Αμμοχάλικο(20 m)	0.9	10-15	0.5	0.45
30	Υπο πίεση	0.3	Άργιλος(25 m)Χαλίκια(20 m)	-	10-15	0.5	0.15
31	Ελεύθερος	1	Άργιλος(m)άμμος(9 m)Άργιλος(3 m)	0.5	5-10	0.5	0.25
32	Ελεύθερος	1	Άργιλος(3 m)Άμμος(2 m)χαλίκια(8 m)	0.5	5-10	0.5	0.25
33	Ελεύθερος	1	Αμμοχάλικο (30 m)	0.8	5-10	0.5	0.4
34	Ημieleύθερος	0.5	Άργιλος(5 m)Αμμοχάλικο(20 m)Άργιλος(10 m)	-	2.5-5	0.9	0.45
35	Ελεύθερος	1	Χαλίκια(40 m) Άργιλος(16 m)	0.5	10-15	0.5	0.25
36	Υπο πίεση	0.3	Άργιλος(12 m)Χαλίκια(3 m)Άργιλος(8 m)	-	2.5-5	0.9	0.27
37	Ελεύθερος	1	Άργιλος(3 m)Χαλίκια(12 m)Άργιλος(9 m)	0.5	2.5-5	0.9	0.45
38	Υπο πίεση	0.3	Άργιλος με χαλίκια(6 m)Άργιλος(3 m)Άμμος(5 m)	-	2.5-5	0.9	0.27
39	Υπο πίεση	0.3	Άργιλος(7 m)άμμος(11 m)	-	0 - 2.5	1	0.3
40	Ελεύθερος	1	Άμμος(6 m)Χαλίκια(12 m)Άργιλος(3 m)	0.6	0 - 2.5	1	0.6

ΧΑΡΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ



Σχήμα 27: Τελικός χάρτης τρωτότητας στον προσχωματικό υδροφόρεα της Φλώρινας με βάση τη μέθοδο GOD.

8. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ AVI

Για την εκτίμηση της τρωτότητας με τη μέθοδο AVI χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από 34 λιθολογικές τομές όπου μετρήθηκε το πάχος κάθε στρώματος της ακόρεστης ζώνης. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας με βάση τον πίνακα 4 της παραγράφου 2.4.1.1. (Πρότυπος πίνακας).

Με βάση τη σχέση (1) υπολογίστηκε ο συντελεστής υδραυλικής αντίστασης για κάθε σημείο (Πίνακας 39). Στη συνέχεια έγινε η χωρική κατανομή του με τη βοήθεια των G.I.S. και της μεθόδου kriging όπως και στους προϋγούμενους δείκτες και κατασκευάστηκε ο τελικός χάρτης τρωτότητας του σχήματος 28. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγράφονται στον πίνακα 38.

Πίνακας 38: Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων του δείκτη AVI.

ΤΙΜΗ	Δείκτης AVI	Έκταση	
		Km ²	%
Πολύ Υψηλή	< -2	28.8	15.64
Υψηλή	-2 έως 0	32.46	17.63
Μέση Υψηλή	0 έως 2	24.16	13.12
Χαμηλή Μέση	2 έως 4	28.43	15.44
Χαμηλή	4 έως 5	45.17	24.54
Πολύ Χαμηλή	> 5	25.08	13.62
	Σύνολο	184.1	100

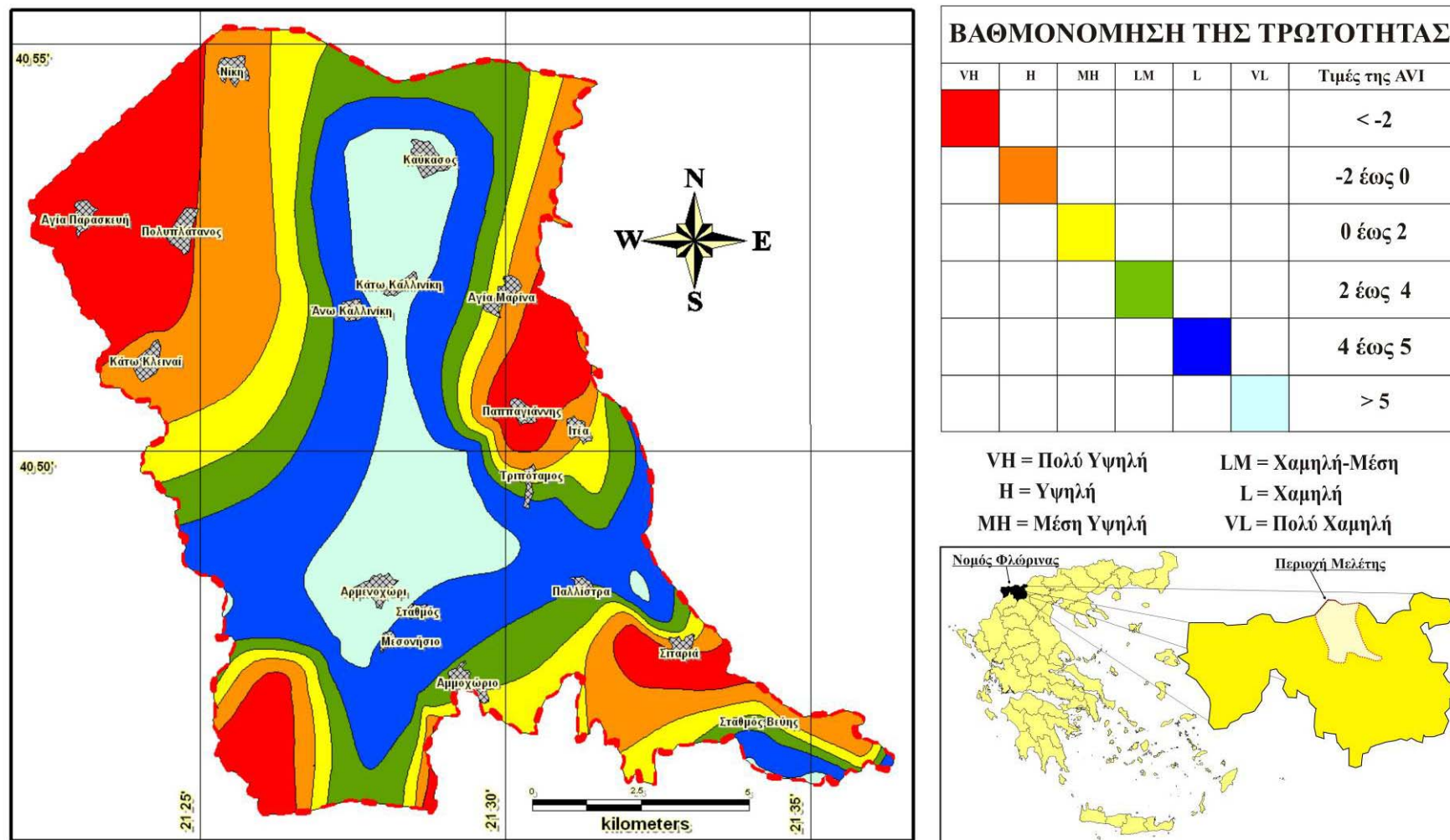
Με βάση το χάρτη που κατασκευάστηκε παρατηρούμε ότι υψηλή διακινδύνευση τρωτότητας (<-2) εμφανίζεται στο ΒΔ/κό και ΝΔ/κό τμήμα της περιοχής καθώς, σε ένα τμήμα στην περιοχή του χωριού Σιταριά και σε ένα τμήμα του χωριού Παπαγιάννης. Ενώ η περιοχή χαμηλής διακινδύνευσης τρωτότητας (>5) εμφανίζεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης της Φλώρινας.

Πίνακας 39: Συγκεντρωτικός πίνακας των δεδομένων και τελική τιμή του δείκτη AVI.

Γεώτρηση	Στρώμα	Κώδικας AVI	Συντελεστής υδραυλικής Αγωγιμότητας (m/s)	Πάχος(m)	s	s/year	Years	AVI Value
2	Αλλούβια	B	0.001	12	12000	3153600	0.003805175	-2.419625361
	Άργιλος	H	1.00E-11	6.8	6.80E+11	3153600	215626.5855	5.333702306
							215626.5893	5.333702313
3	Άργιλος	H	1.00E-11	5	5.00E+11	3153600	158548.9599	5.200163397
	Άμμος-Χαλίκια	B	1.00E-03	16	1.60E+04	3153600	0.005073567	-2.294686624
							158548.965	5.200163411
4	Άμμος	C	1.00E-04	4.5	4.50E+04	3153600	0.014269406	-1.845594093
5	Άμμος μεσόκοκη	C	1.00E-04	8.5	8.50E+04	3153600	0.026953323	-1.569387681
7	Άμμος	C	1.00E-04	2.8	2.80E+04	3153600	0.008878742	-2.051648576
8	Χαλίκια	A	1.00E-02	2.5	2.50E+02	3153600	7.92745E-05	-4.100866598
10	Χαλίκια με κόκκινη Άργιλο	E	1.00E-06	10	1.00E+07	3153600	3.170979198	0.501193393
	Χαλίκια	A	1.00E-02	4.6	4.60E+02	3153600	0.000145865	-3.836048775
							3.171125063	0.50121337
11	Άργιλος	H	1.00E-11	3	3.00E+11	3153600	95129.37595	4.978314648
	Χαλίκια	C	1.00E-04	26.65	2.67E+05	3153600	0.084506596	-1.073109394
							95129.46046	4.978315034
12	Άργιλος	H	1.00E-11	13.2	1.32E+12	3153600	418569.2542	5.621767324
13	Άργιλος	H	1.00E-11	5	5.00E+11	3153600	158548.9599	5.200163397
	Άμμος-Χαλίκια	B	1.00E-03	22.5	2.25E+04	3153600	0.007134703	-2.146624089
							158548.9671	5.200163417
16	Άργιλος με Χαλίκια	G	1.00E-10	12	1.20E+11	3153600	38051.75038	4.580374639
	Άμμος με άργιλο	E	1.00E-06	1	1.00E+06	3153600	0.31709792	-0.498806607
							38052.06748	4.580378258
17	Άργιλος	H	1.00E-11	10	1.00E+12	3153600	317097.9198	5.501193393
	Χαλίκια	A	1.00E-02	2	2.00E+02	3153600	6.34196E-05	-4.197776611
							317097.9199	5.501193393
18	Άργιλος	H	1.00E-11	3	3.00E+11	3153600	95129.37595	4.978314648
	Άμμος	C	1.00E-04	2.5	2.50E+04	3153600	0.007927448	-2.100866598
							95129.38388	4.978314684
19	Άμμος με άργιλο	E	1.00E-06	9.4	9.40E+06	3153600	2.980720446	0.474321247
20	Αλλούβια	B	0.001	12	1.20E+04	3153600	0.003805175	-2.419625361
	Χαλίκια	A	1.00E-02	4	4.00E+02	3153600	0.000126839	-3.896746616
							0.003932014	-2.405384922
21	Άμμος-Χαλίκια	B	1.00E-03	4	4.00E+03	3153600	0.001268392	-2.896746616
22	Αλλούβια	B	0.001	6	6.00E+03	3153600	0.001902588	-2.720655357
	Άργιλος	H	1.00E-11	15	1.50E+12	3153600	475646.8798	5.677284652
	Χαλίκια	A	1.00E-02	11	1.10E+03	3153600	0.000348808	-3.457413922

							475646.882	5.677284654
23	Χαλίκια	A	1.00E-02	20	2.00E+03	3153600	0.000634196	-3.197776611
25	Άργιλος	H	1.00E-11	2.3	2.30E+11	3153600	72932.52156	4.862921229
26	Άργιλος	H	1.00E-11	22	2.20E+12	3153600	697615.4236	5.843616074
27	Αλλούβια	B	0.001	14	1.40E+04	3153600	0.004439371	-2.352678571
28	Άμμος	C	1.00E-04	12	1.20E+05	3153600	0.03805175	-1.419625361
	Άργιλος	H	1.00E-11	3	3.00E+11	3153600	95129.37595	4.978314648
	Χαλίκια	A	1.00E-02	9	9.00E+02	3153600	0.000285388	-3.544564097
	Άργιλος	H	1.00E-11	30	3.00E+12	3153600	951293.7595	5.978314648
							1046423.174	6.019707349
29	Άργιλος	H	1.00E-11	20	2.00E+12	3153600	634195.8397	5.802223389
30	Άμμος	C	1.00E-04	2.5	2.50E+04	3153600	0.007927448	-2.100866598
31	Άμμος	C	1.00E-04	3	3.00E+04	3153600	0.009512938	-2.021685352
32	Αλλούβια	B	0.001	16	1.60E+04	3153600	0.005073567	-2.294686624
33	Άργιλος	H	1.00E-11	15	1.50E+12	3153600	475646.8798	5.677284652
34	Άργιλος	H	1.00E-11	3	3.00E+11	3153600	95129.37595	4.978314648
	Άμμος	C	1.00E-04	3	3.00E+04	3153600	0.009512938	-2.021685352
							95129.38546	4.978314691
35	Άργιλος	H	1.00E-11	2	2.00E+11	3153600	63419.58397	4.802223389
36	Άμμος-Χαλίκια-Άργιλος	E	1.00E-06	32	3.20E+07	3153600	10.14713343	1.006343371
37	Άργιλος	H	1.00E-11	1.5	1.50E+11	3153600	47564.68798	4.677284652
38	Αλλούβια	B	0.001	17	1.70E+04	3153600	0.005390665	-2.268357686
39	Άργιλος	H	1.00E-11	12	1.20E+12	3153600	380517.5038	5.580374639
40	Άργιλος	H	1.00E-11	3	3.00E+11	3153600	95129.37595	4.978314648
	Άμμος-Χαλίκια	B	1.00E-03	0.5	5.00E+02	3153600	0.000158549	-3.799836603
							95129.37611	4.978314649
41	Άργιλος με Χαλίκια	G	1.00E-10	6	6.00E+10	3153600	19025.87519	4.279344643
	Άργιλος	H	1.00E-11	3	3.00E+11	3153600	95129.37595	4.978314648
							114155.2511	5.057495894
42	Άργιλος	H	1.00E-11	7	7.00E+11	3153600	221968.5439	5.346291433
43	Άμμος	C	1.00E-04	2.9	2.90E+04	3153600	0.00919584	-2.036408609

ΧΑΡΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ



Σχήμα 28: Τελικός χάρτης τρωτότητας στον προσχωματικό υδροφόρα της Φλώρινας με βάση τη μέθοδο AVI.

9. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ (DRASTIC, GOD, AVI)

9.1 Ποιοτική και στατιστική σύγκριση μεταξύ των χαρτών τρωτότητας.

Μια ποσοτική σύγκριση των μεθόδων εκτίμησης της τρωτότητας περιλαμβάνει μια διαδικασία εξομάλυνσης για να λάβει τις συγκρίσιμες τιμές. Η εξομάλυνση είναι μια αρκετά σύνθετη λειτουργία επειδή πολλοί παράγοντες πρέπει να εξεταστούν όπως οι ελάχιστες και μέγιστες πιθανές τιμές που κάθε μέθοδος μπορεί να πάρει καθώς και η διαδικασία για την εκτίμηση της τρωτότητας μεταξύ των μέγιστων και ελάχιστων τιμών. Για το λόγο αυτόν ορίστηκαν τρεις κοινές τιμές διακινδύνευσης. Οι τρεις τιμές είναι : χαμηλή, μέση, υψηλή τρωτότητα (Πίνακας 40) και προέκυψαν μετά από ομαδοποίηση των τιμών : πολύ υψηλή & υψηλή σε υψηλή, υψηλή μέση & μέση χαμηλή σε μέση και χαμηλή & πολύ χαμηλή σε χαμηλή. Με βάση την παραπάνω ομαδοποίηση που έγινε προέκυψαν τρεις νέοι χάρτες τρωτότητας (Σχήματα 31, 32 και 33)

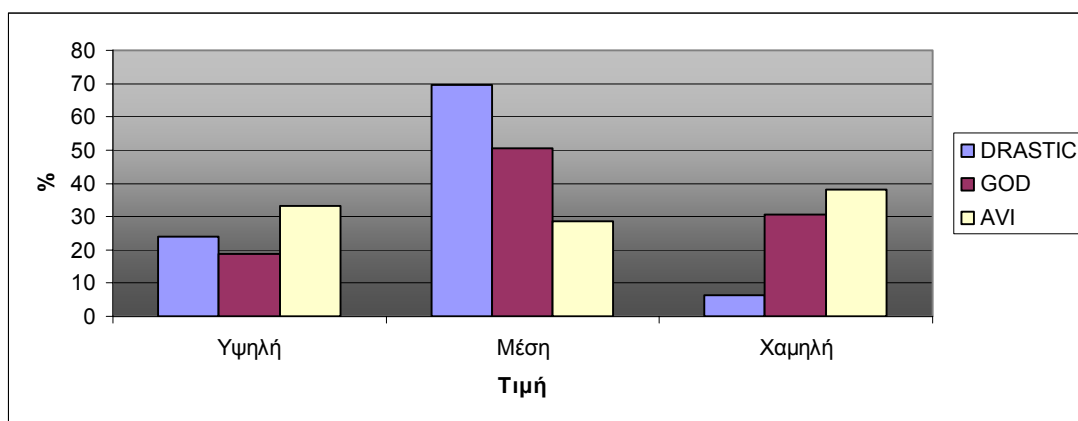
Πίνακας 40: Κοινές τιμές των τριών μεθόδων

ΤΙΜΗ	Δείκτης		
	GOD	AVI	DRASTIC
Υψηλή	0.6-1	< 0	>140
Μέση	0.3-0.6	0 - 4	100-140
Χαμηλή	0-0.3	>4	<100

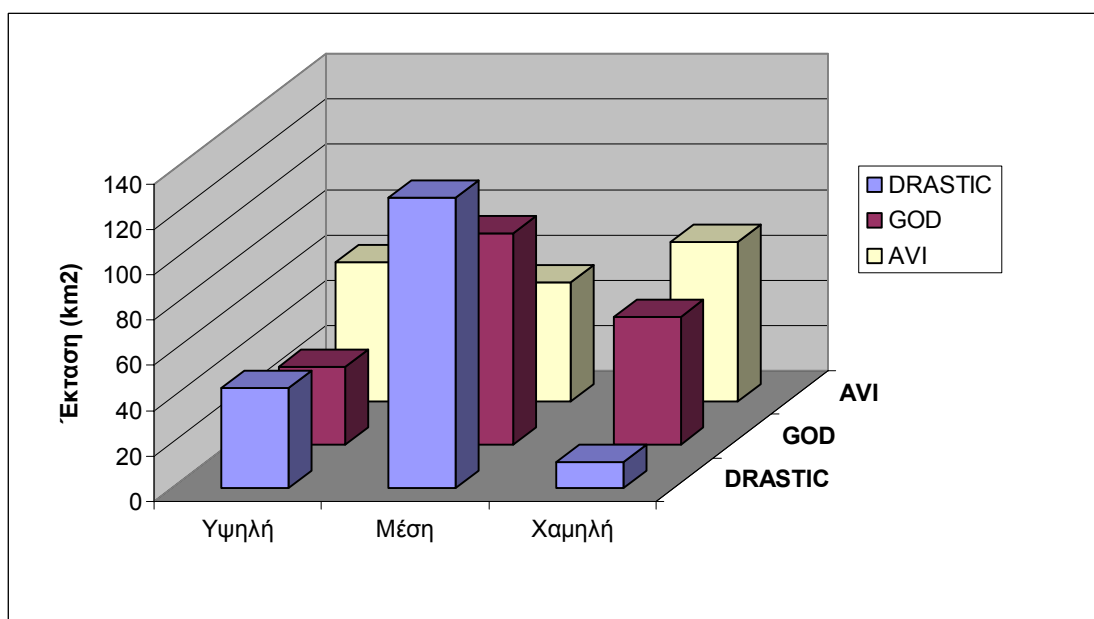
Στον Πίνακα 41 (Σχήματα 29 και 30) παρουσιάζεται η αριθμητική και η ποσοστιαία σύγκριση μεταξύ των κοινών περιοχών διακινδύνευσης των τριών μεθόδων (DRASTIC-GOD-AVI). Σύμφωνα με τον πίνακα 20 κατά τη μέθοδο DRASTIC και GOD η μέση τρωτότητα καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής, ενώ με τη μέθοδο AVI εκτιμήθηκε ότι το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής παρουσιάζει χαμηλή τρωτότητα. Κατά τη μέθοδο DRASTIC μικρότερη έκταση καταλαμβάνουν οι περιοχές με χαμηλή τρωτότητα. Σύμφωνα με τα διαγράμματα των σχημάτων 29 & 30 οι τιμές της DRASTIC είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένες, ενώ οι τιμές των μεθόδων GOD και AVI δείχνουν μεγαλύτερη ομοιομορφία.

Πίνακας 41: Συγκριτικός πίνακας των εκτάσεων που καταλαμβάνουν οι ομαδοποιημένες τιμές τρωτότητας με τις τρεις μεθόδους (DRASTIC, GOD, AVI)

ΤΙΜΗ	Δείκτης			DRASTIC		GOD		AVI	
	GOD	AVI	DRASTIC	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Υψηλή	0.6-1	< 0	>140	44.01	23.91	34.56	18.77	61.25	33.27
Μέση	0.3-0.6	0 έως 4	100-140	128.38	69.73	93.24	50.65	52.61	28.58
Χαμηλή	0-0.3	>4	<100	11.71	6.36	56.3	30.58	70.24	38.15
			Σύνολο	184.1	100	184.1	100	184.1	100

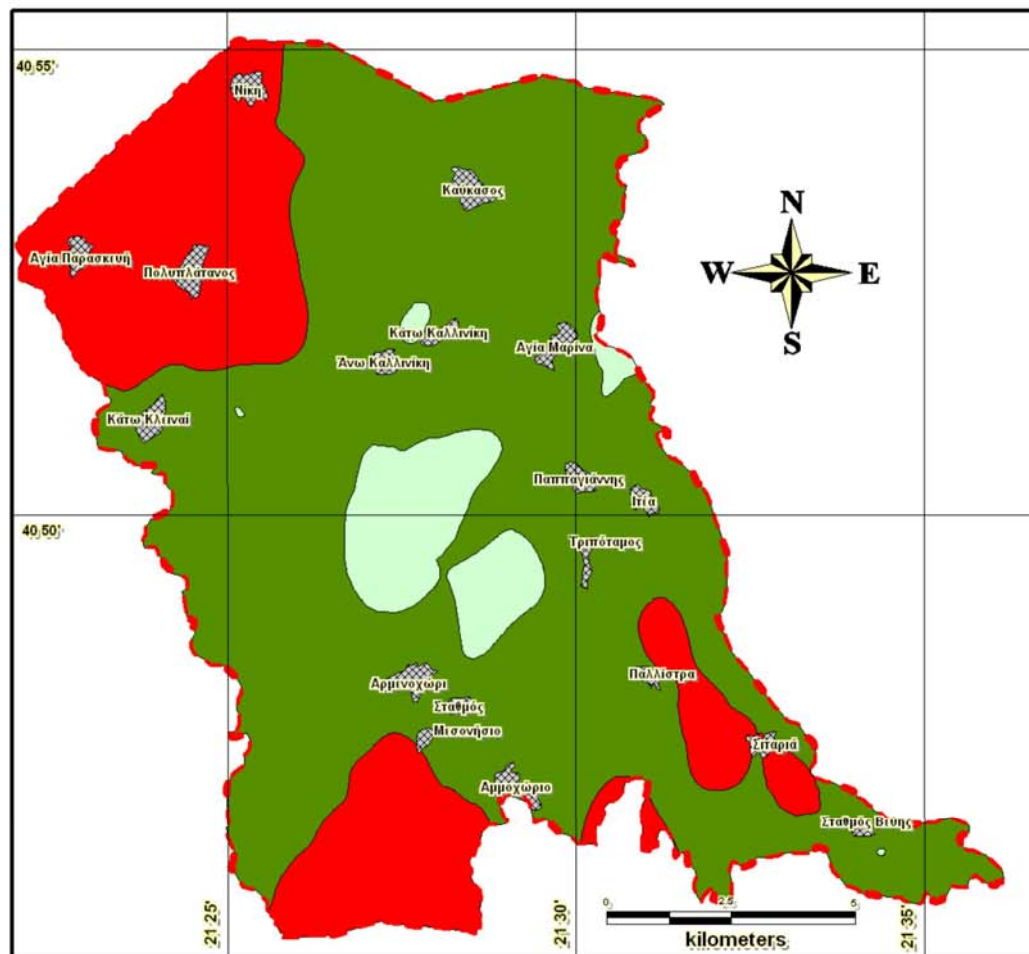


Σχήμα 29: Ποσοστιαίο Ραβδόγραμμα που δείχνει τη σύγκριση των εκτάσεων που καταλαμβάνουν οι τιμές της τρωτότητας με τις τρεις μεθόδους (DRASTIC, GOD, AVI).



Σχήμα 30: Ιστόγραμμα που δείχνει τη σύγκριση εκτάσεων που καταλαμβάνουν οι τιμές της τρωτότητας με τις τρεις μεθόδους (DRASTIC, GOD, AVI).

ΧΑΡΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ

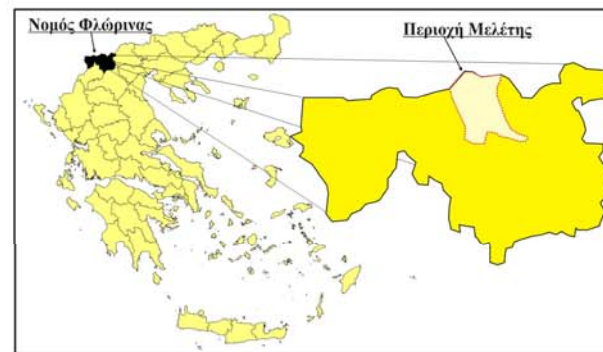


ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ			
H	M	L	Τιμές της DRASTIC
			>140
			100-140
			<100

H = Υψηλή

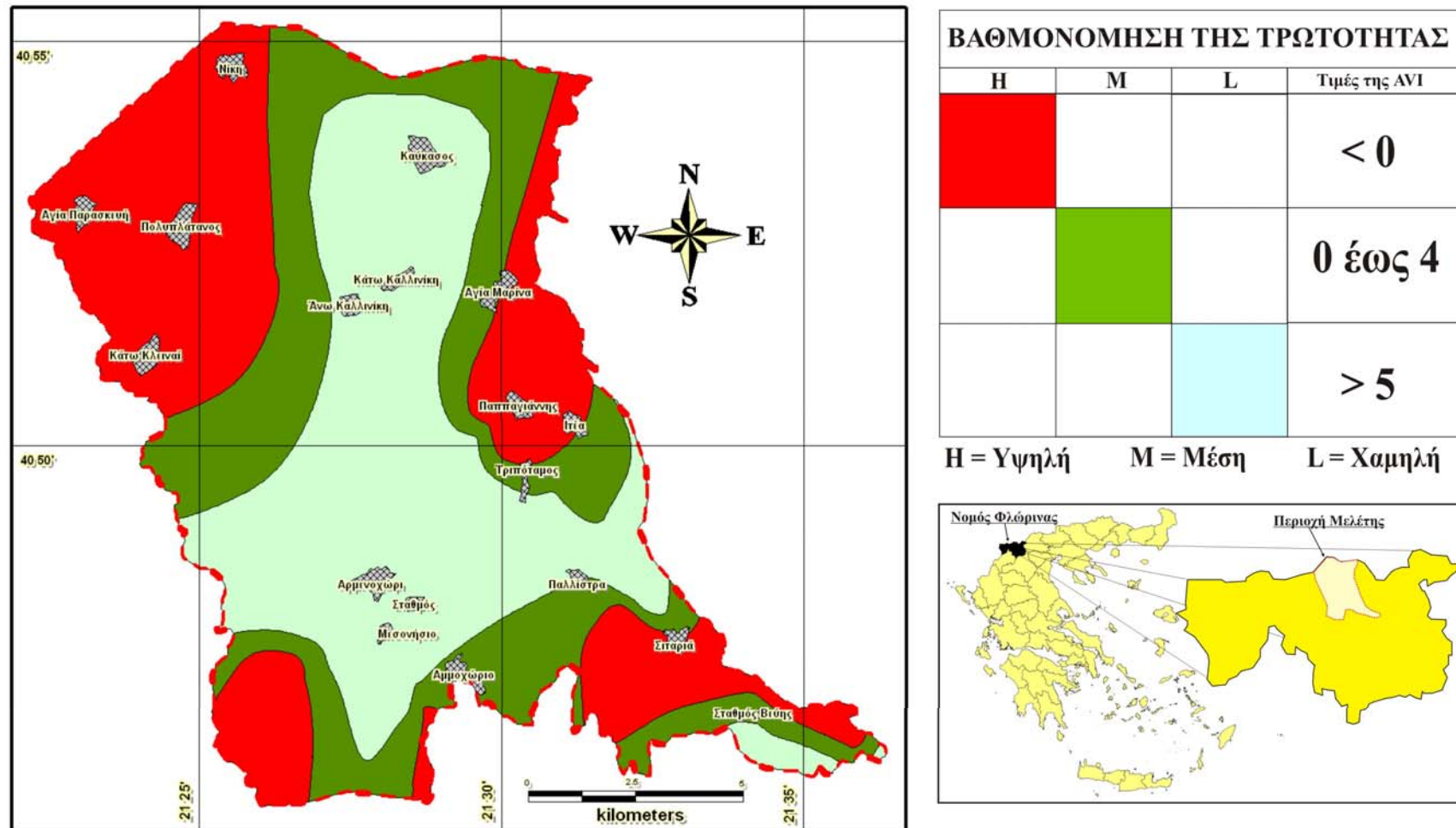
M = Μέση

L = Χαμηλή



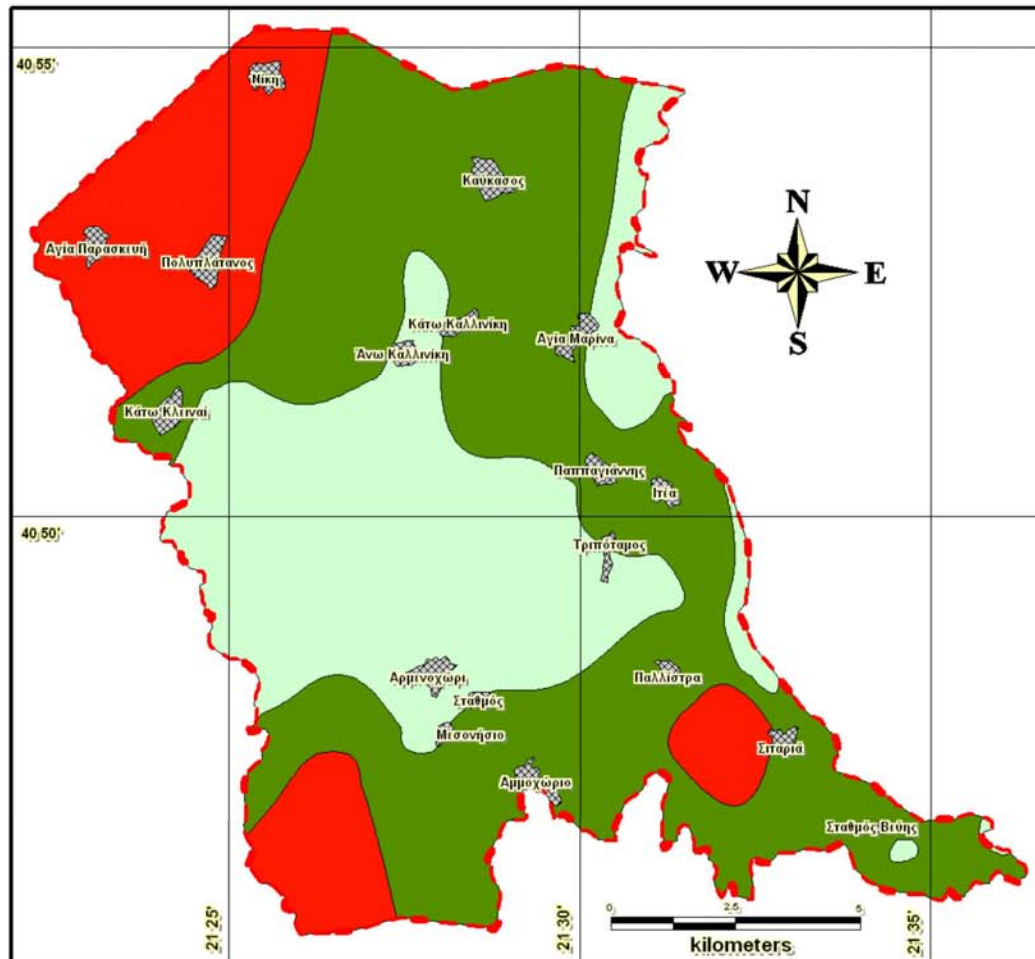
Σχήμα 31: Τελικός χάρτης τρωτότητας στον προσχωματικό υδροφόρεα της Φλώρινας με βάση τη μέθοδο DRASTIC με ομαδοποίηση.

ΧΑΡΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ

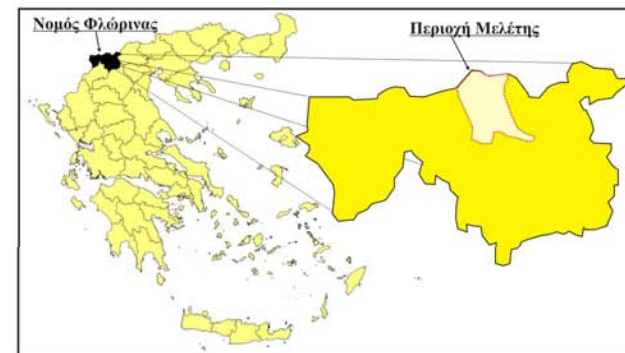


Σχήμα 32: Τελικός χάρτης τρωτότητας στον προσχωματικό υδροφόρα της Φλώρινας με βάση τη μέθοδο AVI με ομαδοποίηση.

ΧΑΡΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ



ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ			
H	M	L	Τιμές της GOD
			0.6-1
			0.3-0.6
			0-0.3
H = Υψηλή M = Μέση L = Χαμηλή			

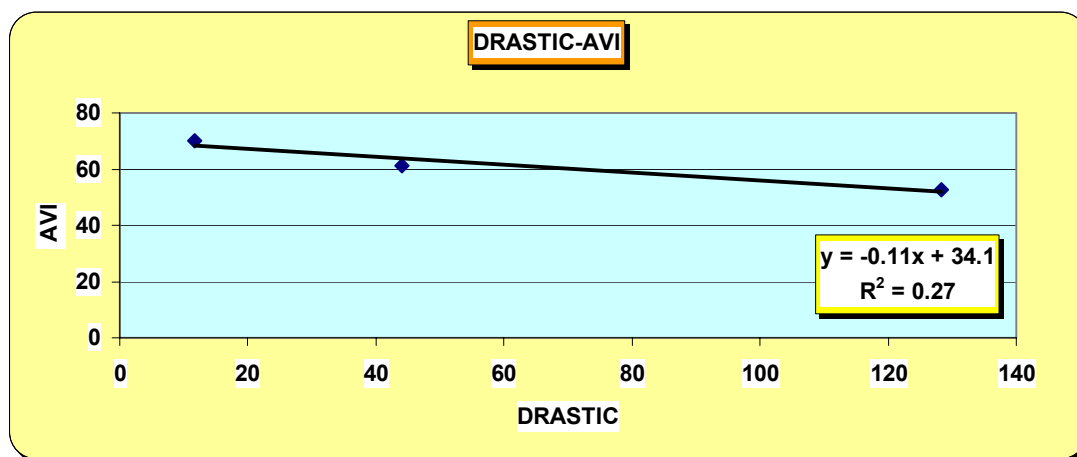


Σχήμα 33: Τελικός χάρτης τρωτότητας στον προσχωματικό υδροφόρεα της Φλώρινας με βάση τη μέθοδο GOD με ομαδοποίηση.

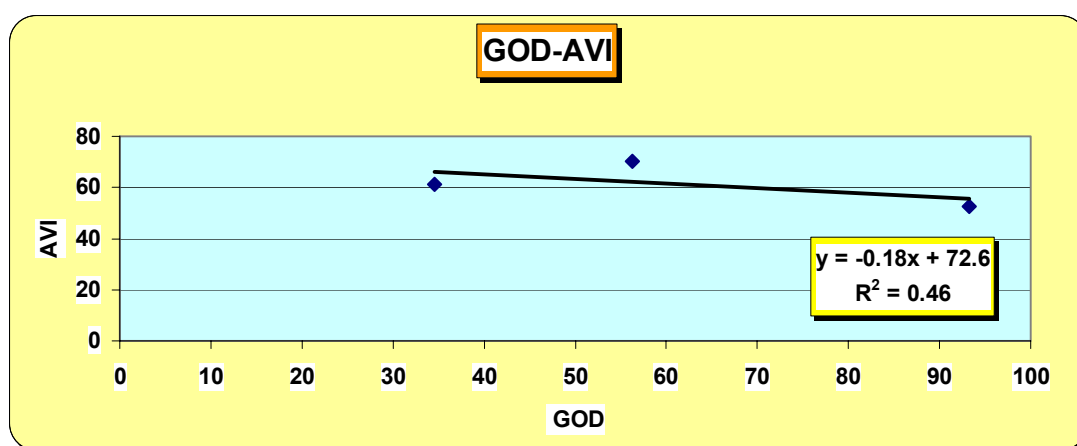
Για την καλύτερη σύγκριση μεταξύ των χαρτών που προέκυψαν από τις τρεις μεθόδους πραγματοποιήθηκε συσχετισμός με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και προέκυψαν τα δεδομένα του Πίνακα 42 (Σχήματα 34, 35 και 36).

Πίνακας 42 : Πίνακας συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των χαρτών που συντάχθηκαν με βάση τις μεθόδους (DRASTIC, GOD, AVI).

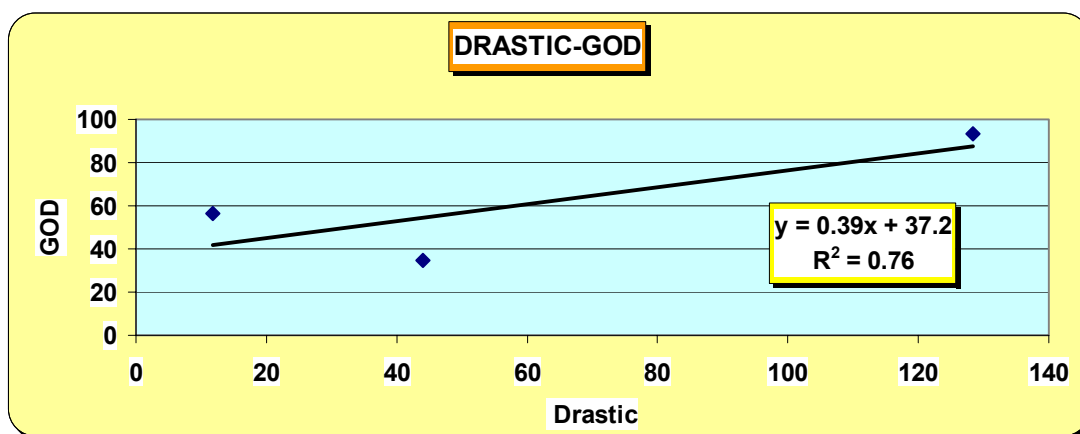
-	DRASTIC	AVI	GOD
DRASTIC	1	0.27	0.76
AVI	-	1	0.46
GOD	-	-	1



Σχήμα 34: Γραφική παράσταση με την ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης που συσχετίζει τις μεθόδους DRASTIC-AVI.



Σχήμα 35: Γραφική παράσταση με την ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης που συσχετίζει τις μεθόδους GOD-AVI.



Σχήμα 36: Γραφική παράσταση με την ευθεία γραμμικής Παλινδρόμησης που συσχετίζει τις μεθόδους DRASTIC-GOD.

Η μεγαλύτερη συσχέτιση παρατηρείται μεταξύ των μεθόδων DRASTIC και GOD όπως αναμενόταν. Από τον πίνακα των συντελεστών συσχέτισης προκύπτει ότι υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των μεθόδων AVI και GOD, ενώ το μικρότερο συσχετισμό παρουσιάζουν οι μέθοδοι DRASTIC και AVI. Οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ των τριών μεθόδων οφείλεται στο γεγονός ότι για τον υπολογισμό του εκάστοτε δείκτη λαμβάνεται διαφορετικός αριθμός παραμέτρων και με διαφορετική βαρύτητα. Η μέθοδος DRASTIC λαμβάνει υπόψη επτά παραμέτρους με μεγαλύτερη βαρύτητα στο βάθος του υπόγειου νερού και στην επίδραση της ακόρεστης ζώνης. Η μέθοδος GOD λαμβάνει υπόψη το βάθος του υπόγειου νερού και την επίδραση της ακόρεστης ζώνης με τη ίδια όμως βαρύτητα με τον τύπο του υδροφόρου. Η μέθοδος AVI υπολογίζει ένα παράγοντα υδραυλικής αντίστασης που έχει να κάνει με το χρόνο που χρειάζεται ένας ρύπος να φτάσει στον υδροφόρο με βάση το πάχος της ακόρεστης ζώνης και το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας κάθε στρώματος. Δεν υπολογίζεται η αλληλεπίδραση των ρύπων με το έδαφος και την ακόρεστη ζώνη.

Στη μέθοδο DRASTIC δίνεται βαρύτητα στον εμπλουτισμό, δηλαδή στην ποσότητα του νερού της βροχής που καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα. Αντίθετα στις άλλες δύο μεθόδους δε λαμβάνεται υπόψη ο εμπλουτισμός. Τέλος η DRASTIC λαμβάνει υπόψη την τοπογραφία της περιοχής, το υλικό του υδροφορέα και το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας που την καθιστά πιο ολοκληρωμένη μεθοδολογία.

Η σύγκριση μεταξύ των τριών μεθόδων έγινε καθαρά με αριθμητικά δεδομένα. Για να είναι πιο ολοκληρωμένη η σύγκριση πρέπει να δούμε και κατά πόσο συμπίπτουν χωρικά οι περιοχές υψηλής, μέσης και χαμηλής τρωτότητας από κάθε μεθοδολογία. Με τη χρήση των G.I.S. συντάχθηκαν οι χάρτες (Σχήματα 37, 38, 39 και 40) κοινών περιοχών των μεθόδων DRASTIC-GOD, DRASTIC-AVI, GOD-AVI και DRASTIC-AVI-GOD και προέκυψε ο πίνακας 43.

Πίνακας 43 : Συγκριτικός πίνακας των κοινών εκτάσεων που καταλαμβάνουν οι ομαδοποιημένες τιμές τρωτότητας με τις τρεις μεθόδους (DRASTIC, GOD, AVI).

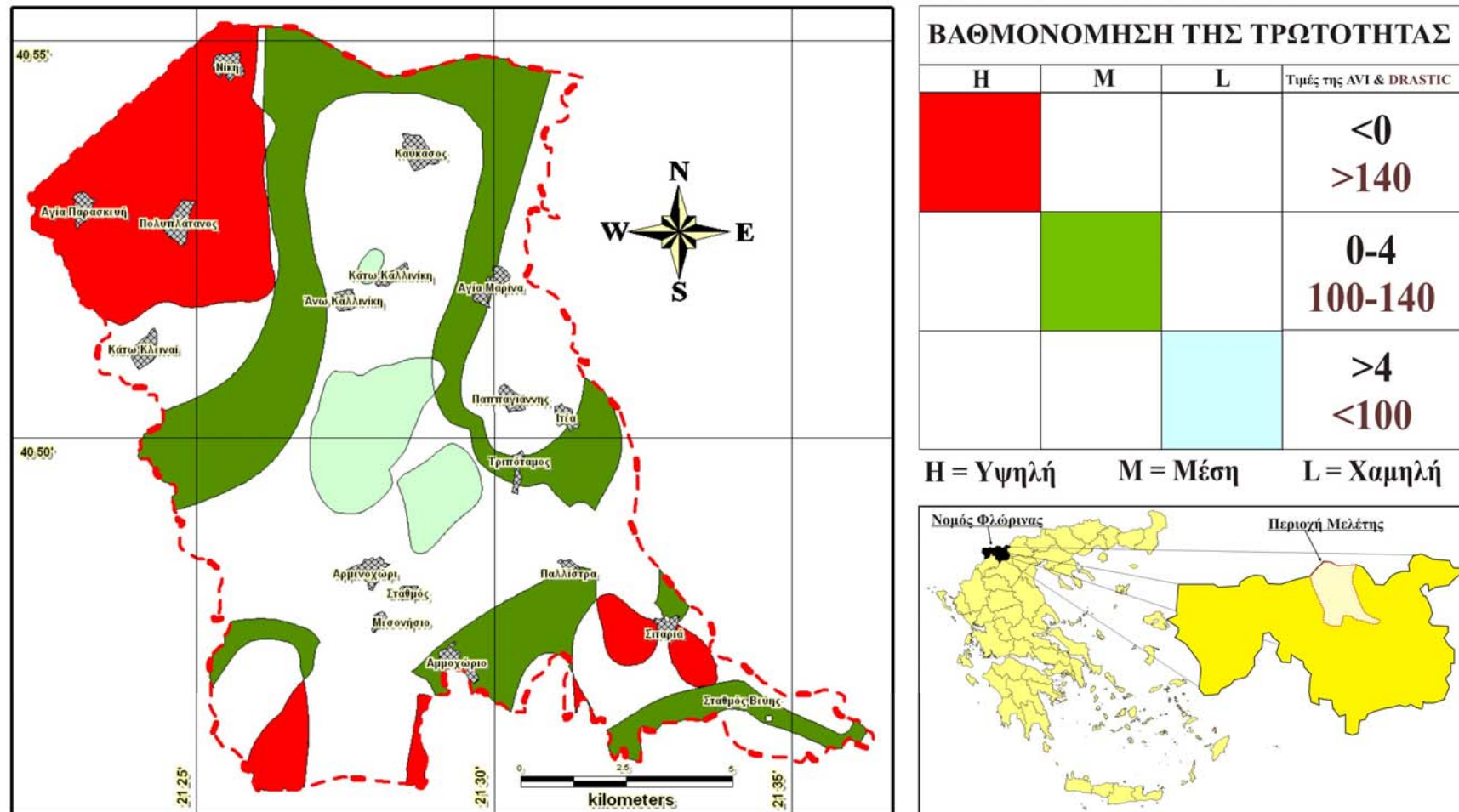
ΤΙΜΗ	DRASTIC-GOD		DRASTIC-AVI		GOD-AVI		DRASTIC-AVI-GOD	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Υψηλή	28.4	24.4	32.3	36.3	31.8	30.2	26.6	38.2
Μέση	77.3	66.2	45.9	51.5	37.8	35.9	32.8	47.1
Χαμηλή	10.9	9.4	10.9	12.2	35.6	33.9	10.2	14.7
Σύνολο	116.6	63.3	89.1	48.4	105.2	57.1	69.6	37.9
	184.1							

Σύμφωνα με τον πίνακα 43 οι μέθοδοι DRASTIC & GOD παρουσιάζουν ταύτιση στις περιοχές τους σε ποσοστό 63 % που είναι και το μεγαλύτερο. Οι περιοχές κοινής επικινδυνότητας μεταξύ των μεθόδων GOD και AVI παρουσιάζουν ταύτιση σε ποσοστό 57 % ενώ η μικρότερη ταύτιση συναντάτε μεταξύ των μεθόδων DRASTIC και AVI. Τα αποτελέσματα κρίνονται φυσιολογικά και εναρμονίζονται με το γραμμικό συσχετισμό που αναλύσαμε παραπάνω.

Σημαντικά είναι και τα αποτελέσματα του χάρτη, που παρουσιάζεται στο σχήμα 36, των κοινών εκτάσεων που καταλαμβάνουν οι ομαδοποιημένες τιμές και των τριών μεθόδων. Σύμφωνα με το χάρτη του σχήματος 36 οι τρεις μέθοδοι ταυτίζονται σε ποσοστό 37.8 %. Η περιοχή υψηλής τρωτότητας καταλαμβάνει ποσοστό 38.23 % επί της συνολικής ταυτιζόμενης περιοχής μεγαλύτερο από τα αντίστοιχα ποσοστά που παρουσιάζουν ανά δύο οι τρεις μέθοδοι. Γεγονός που σημαίνει ότι οι περιοχές υψηλής τρωτότητας προσδιορίζονται καλύτερα χωρικά από τις τρεις μεθόδους που εφαρμόζονται στην ίδια περιοχή. Συγκεντρωτικά θα λέγαμε ότι στη λεκάνη της Φλώρινας οι περιοχές υψηλής τρωτότητας εμφανίζονται στο ΒΔ/κό και στο ΝΔ/κό τμήμα καθώς και σε μια περιοχή μεταξύ των χωριών Σιταριά και Παλλίστρα. Ο τομέας χαμηλής τρωτότητας εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, αλλά η

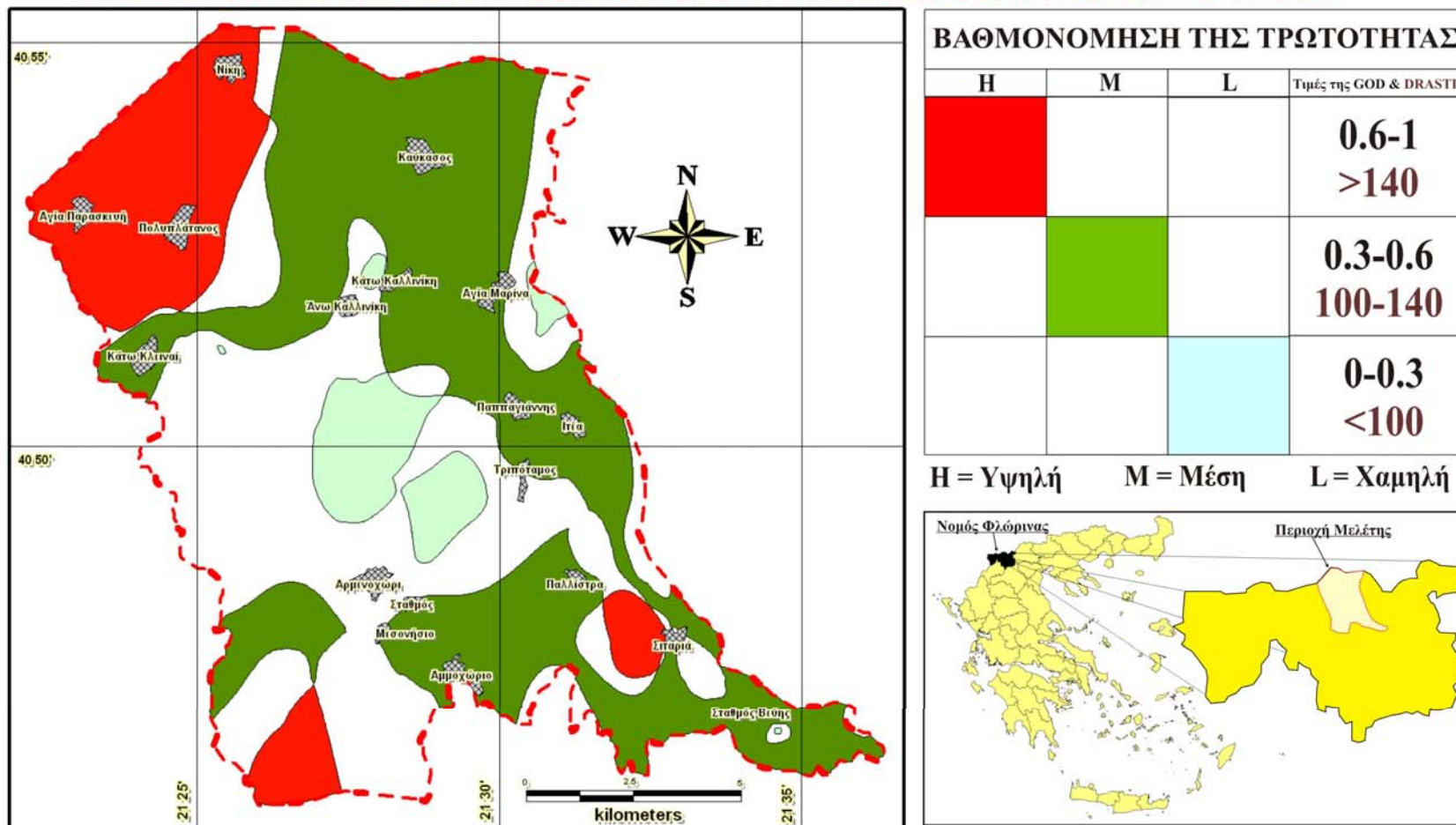
έκταση του μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με τη μέθοδο που εφαρμόστηκε. Το υπόλοιπο τμήμα της περιοχής παρουσιάζει μέση τρωτότητα με σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεθόδων. Ο χάρτης τρωτότητας που εκτιμήθηκε με τη μέθοδο DRASTIC παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με το χάρτη που εκτιμήθηκε με τη μέθοδο GOD. Επίσης οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν υψηλό συσχετισμό με βάση τα στοιχεία του πίνακα 21. Αναμενόμενο καθώς οι μέθοδος GOD για τον υπολογισμό του δείκτη της λαμβάνει υπόψη τρεις παραμέτρους που είναι κοινές με αυτούς της μεθόδου DRASTIC. Η μέθοδος GOD είναι πολύ πιο απλή στην εφαρμογή από τη μέθοδο DRASTIC και θα μπορούσε να προηγηθεί της DRASTIC με στόχο να γίνει μία γρήγορη εκτίμηση της περιοχής, ώστε να καθοδηγηθεί η έρευνα πεδίου δίνοντας έμφαση σε συγκεκριμένες περιοχές.

ΧΑΡΤΗΣ ΚΟΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ DRASTIC & AVI



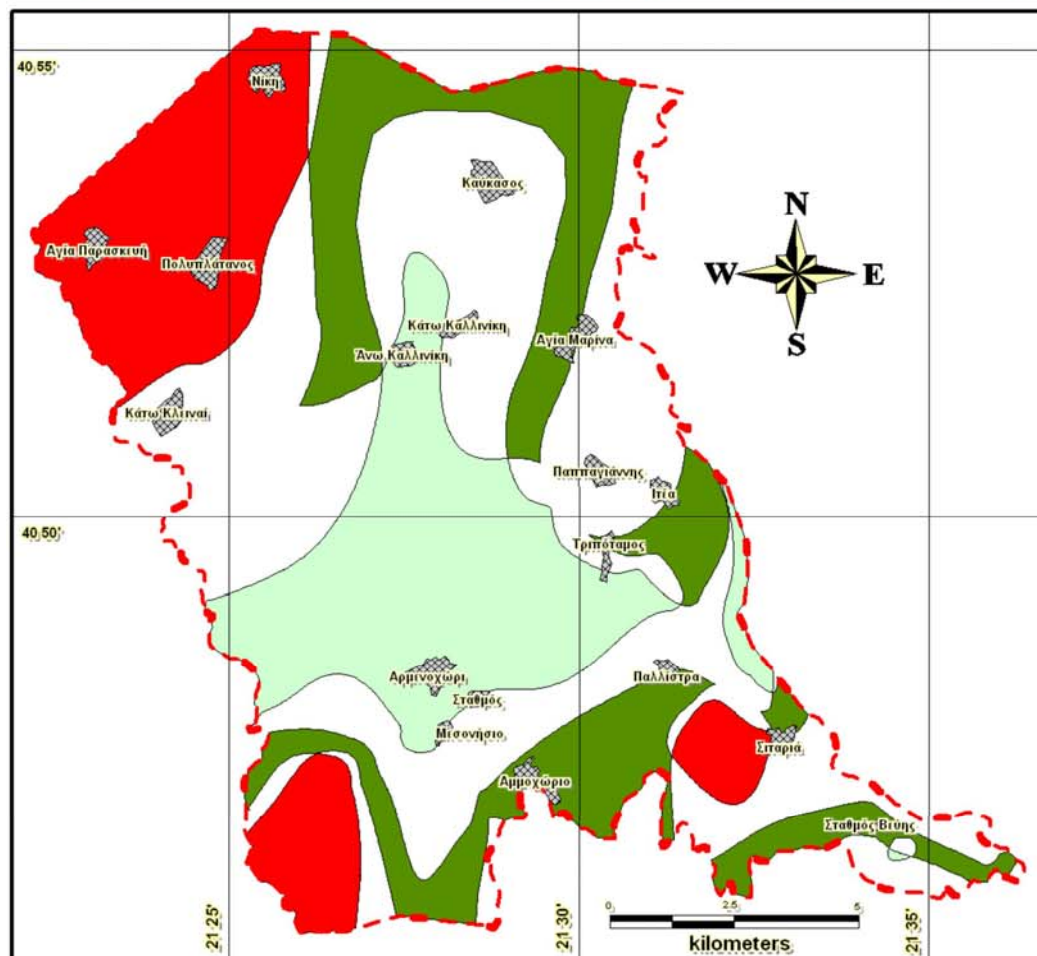
Σχήμα 37: Χάρτης κοινών περιοχών τρωτότητας του Αλλουβιακού υδροφορέα της Φλώρινας μεταξύ των μεθόδων DRASTIC & AVI.

ΧΑΡΤΗΣ ΚΟΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ DRASTIC & GOD



Σχήμα 38: Χάρτης κοινών περιοχών τρωτότητας του Αλλουβιακού υδροφορέα της Φλώρινας μεταξύ των μεθόδων DRASTIC & GOD.

ΧΑΡΤΗΣ ΚΟΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ GOD & AVI



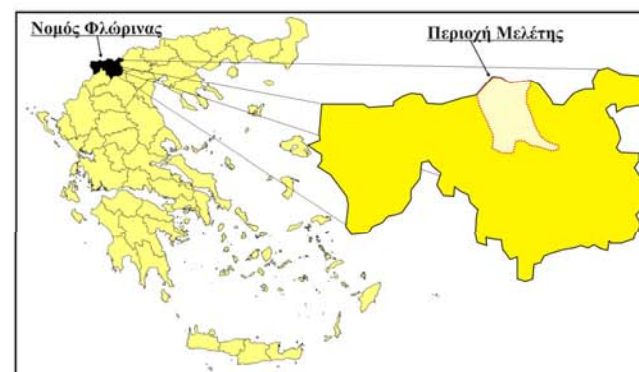
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

H	M	L	Τιμές της AVI & GOD
			<0 0.6-1
			0-4 0.3-0.6
			>4 0-0.3

H = Υψηλή

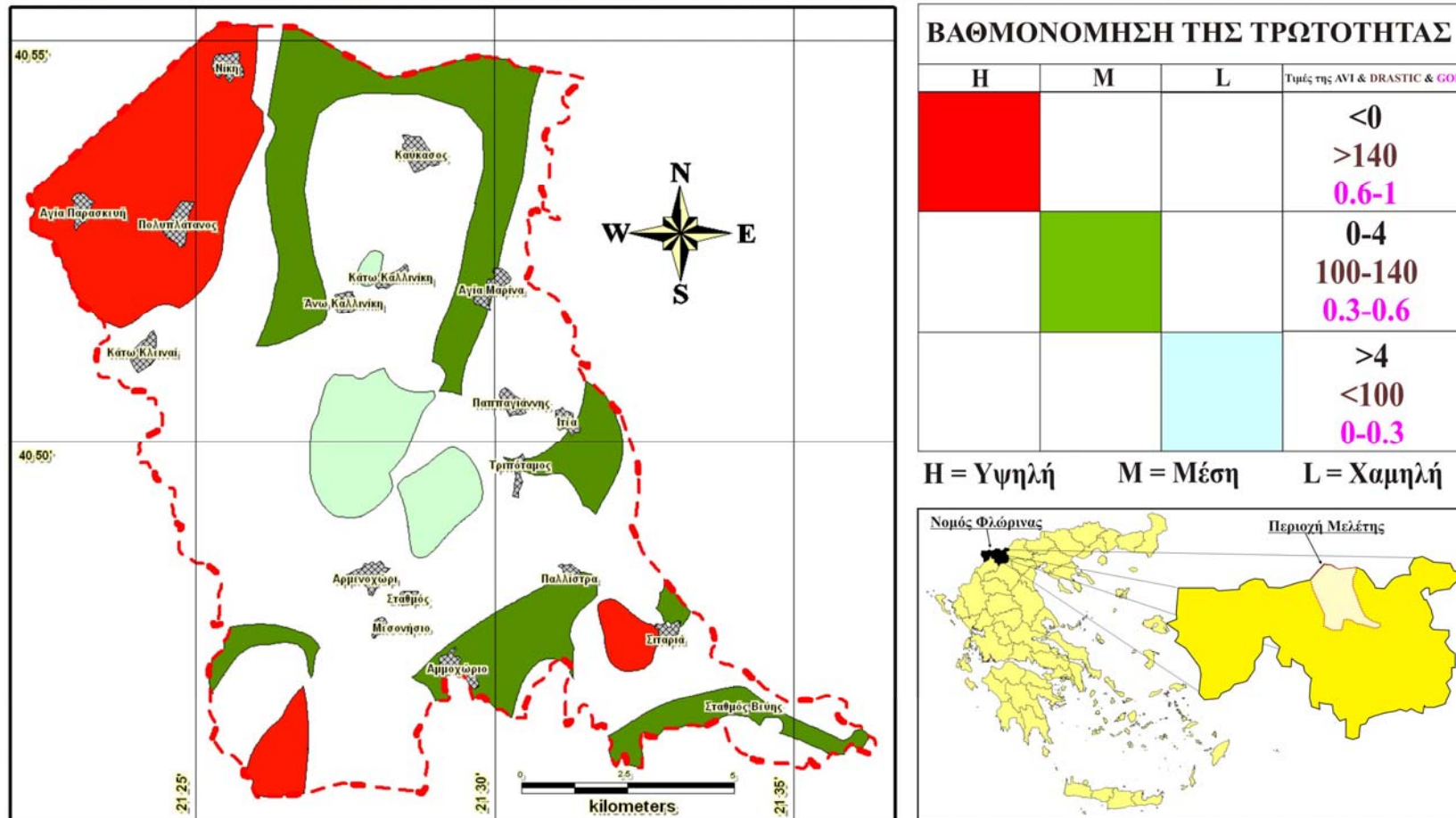
M = Μέση

L = Χαμηλή



Σχήμα 39: Χάρτης κοινών περιοχών τρωτότητας του Αλλουβιακού υδροφορέα της Φλώρινας μεταξύ των μεθόδων GOD & AVI.

ΧΑΡΤΗΣ ΚΟΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ DRASTIC, AVI & GOD



Σχήμα 40: Χάρτης κοινών περιοχών τρωτότητας του Αλλουβιακού υδροφορέα της Φλώρινας μεταξύ των μεθόδων DRASTIC, AVI & GOD.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά για τη λεκάνη της Φλώρινας

- Το πεδινό τμήμα της λεκάνης της Φλώρινας καλύπτεται από αλλουβιακές αποθέσεις, εντός των οποίων αναπτύσσεται ο κύριος υδροφορέας της περιοχής, από την εκμετάλλευση του οποίου καλύπτονται οι υδατικές ανάγκες της περιοχής.
- Ο υδροφορέας δέχεται πιέσεις λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων.
- Η εξεταζόμενη περιοχή έχει έκταση $E = 184,1 \text{ km}^2$ και περίμετρο 82,04 km. Το μέσο υψόμετρο αυτής είναι 622 m. Το μέγιστο υψόμετρο είναι 660 m και το ελάχιστο που βρίσκεται στην έξοδο της υπό μελέτη λεκάνης είναι 580 m. Έχει έντονο ανάγλυφο και μέση κλίση περίπου $P = 3,12\%$. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής.
- Η περιοχή έρευνας δέχεται κάθε χρόνο κατά μέσο όρο κατακρημνίσματα ύψους 467,3 mm (Σταθμός Καλλινίκης).
- Για την εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα αυτού εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι DRASTIC, GOD & AVI με τη χρήση GIS.

Μέθοδος DRASTIC

- Η μέθοδος DRASTIC λαμβάνει υπόψη επτά παραμέτρους με μεγαλύτερη βαρύτητα στο βάθος του υπόγειου νερού και στην επίδραση της ακόρεστης ζώνης.
- Η μέθοδος DRASTIC λαμβάνει υπόψη την τοπογραφία της περιοχής, το υλικό του υδροφορέα και το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας που την καθιστά ποιο ολοκληρωμένη μεθοδολογία.
- Σύμφωνα με το χάρτη τρωτότητας που συντάχθηκε με βάση τη μέθοδο DRASTIC υψηλή διακινδύνευση τρωτότητας (>160) εμφανίζεται στο ΒΔ/κό τμήμα του υδροφορέα και σχετίζεται κυρίως με το μικρό βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού. Ο τομέας μέσης διακινδύνευσης (120-140)

καλύπτει το Ανατολικό τμήμα του, ενώ ο τομέας χαμηλής τρωτότητας (80-100) καταλαμβάνει μικρή έκταση στο κεντρικό τμήμα του υδροφορέα.

- Κατά τη μέθοδο DRASTIC μικρότερη έκταση καταλαμβάνουν οι περιοχές με χαμηλή τρωτότητα.

Μέθοδος GOD

- Η μέθοδος GOD λαμβάνει υπόψη το βάθος του υπόγειου νερού και την επίδραση της ακόρεστης ζώνης με τη ίδια όμως βαρύτητα με τον τύπο του υδροφόρου όταν αυτός είναι ελεύθερος. Όταν ο υδροφόρος είναι υπό πίεση δε λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της ακόρεστης ζώνης.
- Σύμφωνα με το χάρτη τρωτότητας που συντάχθηκε με βάση τη μέθοδο GOD υψηλή διακινδύνευση τρωτότητας (>0.75) εμφανίζεται στο ΒΔ/κό τμήμα του υδροφορέα και σε ένα μικρό τμήμα μεταξύ των χωριών Σιταριά και Παλλίστρα και σχετίζεται κυρίως με το μικρό βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού. Ο τομέας μέσης διακινδύνευσης (0.45-0.60) καλύπτει το Ανατολικό τμήμα του, ενώ ο τομέας χαμηλής τρωτότητας (0-0.15) καταλαμβάνει μικρή έκταση στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του υδροφορέα.

Μέθοδος AVI

- Η μέθοδος AVI υπολογίζει ένα παράγοντα υδραυλικής αντίστασης που έχει να κάνει με το χρόνο που χρειάζεται ένας ρύπος να φτάσει στον υδροφόρο με βάση το πάχος της ακόρεστης ζώνης και το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας κάθε στρώματος. Δε λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση των ρύπων με το έδαφος και την ακόρεστη ζώνη.
- Με βάση το χάρτη που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο AVI υψηλή διακινδύνευση τρωτότητας (<-2) εμφανίζεται στο ΒΔ/κό και ΝΔ/κό τμήμα της περιοχής καθώς, σε ένα τμήμα στην περιοχή του χωριού Σιταριά και σε ένα τμήμα του χωριού Παπαγιάννης. Ενώ η περιοχή

χαμηλής διακινδύνευσης τρωτότητας (>5) εμφανίζεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης της Φλώρινας.

Σύγκριση μεταξύ των μεθόδων DRASTIC, GOD και AVI

- Για τη σύγκριση μεταξύ των χαρτών που προέκυψαν από τις τρεις μεθόδους πραγματοποιήθηκε συσχετισμός με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης.
- Για την εκτίμηση της τρωτότητας οι τρεις μέθοδοι λαμβάνουν υπόψη διαφορετικό αριθμό παραμέτρων και με διαφορετική βαρύτητα.
- Στη μέθοδο DRASTIC δίνεται βαρύτητα στον εμπλουτισμό, δηλαδή στην ποσότητα του νερού της βροχής που καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα. Αντίθετα στις άλλες δύο μεθόδους δε λαμβάνεται υπόψη ο εμπλουτισμός.
- Σύμφωνα με τη μέθοδο DRASTIC και GOD η μέση τρωτότητα καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής, ενώ με τη μέθοδο AVI εκτιμήθηκε ότι το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής παρουσιάζει χαμηλή τρωτότητα.
- Οι τιμές της DRASTIC είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένες, ενώ οι τιμές των μεθόδων GOD και AVI δείχνουν μεγαλύτερη ομοιομορφία.
- Η μεγαλύτερη συσχέτιση παρατηρείται μεταξύ των μεθόδων DRASTIC και GOD.
- Μεταξύ των μεθόδων AVI και GOD υπάρχει καλή συσχέτιση.
- Το μικρότερο συσχετισμό παρουσιάζουν οι μέθοδοι DRASTIC και AVI.
- Οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ των τριών μεθόδων οφείλονται στο γεγονός ότι για τον υπολογισμό του εκάστοτε δείκτη λαμβάνεται διαφορετικός αριθμός παραμέτρων και με διαφορετική βαρύτητα.
- Οι μέθοδοι DRASTIC & GOD παρουσιάζουν ταύτιση στις περιοχές τους σε ποσοστό 63 % που είναι και το μεγαλύτερο. Οι περιοχές κοινής επικινδυνότητας μεταξύ των μεθόδων GOD και AVI παρουσιάζουν ταύτιση σε ποσοστό 57 % ενώ η μικρότερη ταύτιση συναντάτε μεταξύ των

μεθόδων DRASTIC και AVI. Τα αποτελέσματα κρίνονται φυσιολογικά και εναρμονίζονται με το γραμμικό συσχετισμό.

- Οι κοινές εκτάσεις που καταλαμβάνουν οι ομαδοποιημένες τιμές και των τριών μεθόδων αποτελούν το 37.8 % της περιοχής μελέτης.
- Η περιοχή υψηλής τρωτότητας καταλαμβάνει ποσοστό 38.23 % επί της συνολικής ταυτιζόμενης περιοχής, ποσοστό μεγαλύτερο από τα αντίστοιχα ποσοστά που παρουσιάζουν ανά δύο οι τρεις μέθοδοι για την υψηλή τρωτότητα.
- Οι περιοχές υψηλής τρωτότητας προσδιορίζονται καλύτερα χωρικά από τις τρεις μεθόδους που εφαρμόζονται στην ίδια περιοχή.
- Ο χάρτης τρωτότητας που εκτιμήθηκε με τη μέθοδο DRASTIC παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με το χάρτη που εκτιμήθηκε με τη μέθοδο GOD.
- Η μέθοδος GOD για τον υπολογισμό του δείκτη της λαμβάνει υπόψη τρεις παραμέτρους που είναι κοινοί με αυτούς της μεθόδου DRASTIC.
- Η μέθοδος GOD είναι πιο απλή στην εφαρμογή της σε σχέση με τη μέθοδο DRASTIC και θα μπορούσε να προηγηθεί της DRASTIC με στόχο να γίνει μία γρήγορη εκτίμηση της περιοχής ώστε να καθοδηγηθεί η έρευνα πεδίου δίνοντας έμφαση σε συγκεκριμένες περιοχές.

Γενικά για τους χάρτες τρωτότητας των υπόγειων νερών

- Ο χάρτης τρωτότητας μπορεί να αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο στους φορείς της δημόσιας διοίκησης και της τοπικής αυτοδιοίκησης που χαράσσουν πολιτική στον τομέα των υδάτων. Με βάση τον χάρτη τρωτότητας μπορεί να γίνει ο βέλτιστος χωροταξικός σχεδιασμός για την προστασία των υπόγειων νερών από την εξωτερική ρύπανση, καθώς επίσης και χάραξη ζωνών προστασίας των υδροληπτικών έργων.
- Επισημαίνεται ότι, ο χάρτης τρωτότητας δεν μπορεί να αντικαταστήσει σε καμιά περίπτωση την έρευνα πεδίου, αλλά είναι ένας γενικός οδηγός για τους επιστήμονες, τους διοικητικούς και τους διαχειριστές των νερών.

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Al-Adamat R.A.N., I.D.L. Foster, S.M.J. Baban (2003) 'Groundwater vulnerability and risk mapping for the basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC'. Applied Geography 23, 303-324.
2. Aller L., T. Bennet, J.H. Lehr, R.J. Petty, G. Hackett (1987) 'DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological setting'. EPA/600/2-87/035. US Environmental Protection Agency, 163 p.
3. Al-Zabet, T. (2002) 'Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method'. Environmental Geology 43, 203-208.
4. Βασιλειάδης Γ. (2005). «Υδρογεωλογική Μελέτη Βορειοανατολικής Λεκάνης Ν. Φλώρινας». Τεχνική Έκθεση, Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας – Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Φλώρινας.
5. Βουβαλίδης Κ., (2004): Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., σελ 145
6. Βουδούρης Κ. και Δ. Μανδηλαράς (2004) 'Εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών με τη μέθοδο DRASTIC: Η περίπτωση του αλλουβιακού υδροφορέα της λεκάνης του Γλαύκου (Ν. Αχαΐας)', Υδροτεχνικά, Τόμος 14, 17-30.
7. Βουδούρης Κ. (2008) 'Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος'. Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Εκδόσεων ΑΠΘ, σελ. 248.
8. Brunn, J.(1956). Contribution a l'etude geologique du Pinde septentrional et d'une partie de la Macedoine occidentale. Ann. Geol. Pays Hell., 7, 1-358.
9. Γρηγοράκου Ελ. (1996) Υδρογεωλογικές συνθήκες Λιγνιτορυχείων ζώνης Αχλάδας-Κλειδί Ν.Φλώρινας. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα. (Επιβλέπων Καθηγητής Ι.Κουμαντάκης).
10. Civita, M. (1994): Le carte della vulnerabilita degli acquiferi all'inquinamento. Teoria & practica. (Aquifer vulnerability maps to pollution). Pitarora Ed., Bologna (in Italian).
11. Civita, M. , Regibus, C. (1995): Sperimentazione di alcune metodologie per la

- valutazione della vulnerabilità degli acquiferi. Quaderni di Geologia Applicata, Pitarora Ed., Bologna (in Italian).
12. Corniello A. (1997). 'Comparison between parametric methods to evaluate aquifer pollution vulnerability using a GIS: An example in 'Piana Campana', southern Italy. Balkema, Rotterdam.
 13. Diputacion de Alicante (2004) 'Vulnerability map to groundwater pollution. DRASTIC method'. www.dip-alicante.es.
 14. Foster, S.S.D. (1987): Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: van Duijvenbooden W., Weageningh H.G. (eds) TNO Committee on Hydrological Research, The Hague. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Proc. Inf. 38, 69-86.
 15. Gemitzi A., C. Petalas, V. Tsihtintzis, V. Pisinaras (2006) 'Assessment of groundwater vulnerability to pollution: A combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques'. Environmental Geology 49, 653-673.
 16. Gianneli C., K. Voudouris, A. Stamou, G. Soulios (2007) 'Proposed method to assess the intrinsic groundwater vulnerability of shallow aquifers: An example from Amyntaion basin, N. Greece'. Publicaciones del Instituto Geologico y Minero de España. Serie: Hidrogeologia y aguas subterráneas No 22, 129-135.
 17. Ι.Γ.Μ.Ε. (1987) «Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Φλώρινας», κλίμακας 1: 50.000
 18. Ι.Γ.Μ.Ε. (1981) «Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Βέυη», κλίμακας 1: 50.000
 19. J. P. Lobo Ferreira and Manuel M. Oliveira (2004). 'Groundwater vulnerability assessment in Portugal'. *Lab. Nacional de Engenharia Civil. Hydraulics and Environment Department. Lisbon, Portugal. Geofísica Internacional (2004), Vol. 43, Num. 4, pp. 541-550.*
 20. Καζάκης Ν., Βουδούρης Κ., Παύλου Αθ., Πατρικάκη Ολ., (2008) «Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS». Εργ. Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. 3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία.
 21. Καλλέργης Γ., (2001),: Εφαρμοσμένη - Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Τόμος Γ', σελ. 421.
 22. Κέντρο Τεχνολογικής έρευνας (2006) 'Εδαφολογική- εδαφοχημική μελέτη του

- Νομού Φλώρινας'. Κέντρο Τεχνολογικής Έρευνας Δυτικής Μακεδονίας.
23. Κουμαντάκης Ι. (1995) 'Υδρογεωλογική Μελέτη Φλώρινας'. Τεχνική έκθεση, ΔΕΗ-Διεύθυνση ανάπτυξης ορυχείων. Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
24. Μουντράκης, Δ. & Σούλιος, Γ. (1978). Περί μιας επωθημένης σχιστοκερατολιθικής διαπλάσεως με οφειολίθους και της παρουσίας οφειολιθικών μιγμάτων στην περιοχή της Άρνισσας. Η σημασία αυτών για την τεκτο-ορογενετική εξέλιξη της Πελαγονικής ζώνης. Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Ετ., XIII/2, 18-33.
25. Μουντράκης, Δ. (1983). Η γεωλογική δομή της βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγματεία για Υψηγεία Πανεπ. Θεσσαλονίκης, 289 p.
26. Μουντράκης Δ., (1985): Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press, σελ. 204
27. Μουντράκης Δ., (1988): Συνοπτική γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου Ελληνικού χώρου, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., σελ 130
28. Παπαζάχος Β., (1985): Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, University Studio Press, σελ. 150
29. Πάτσιος Ε., (2007). Εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC για τον υπολογισμό της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση: Εφαρμογή στον Αλλουβιακό υδροφορέα της Σαριγκιόλ. Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Κ. Βουδούρης).
30. Παυλίδης Σπ. (1985): Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
31. Panagopoulos G., A. Antonakos, N. Lambrakis (2005) 'Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS'. Hydrogeology Journal 14, 894-911.
32. Rosen, L. (1994) 'A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions'. Ground Water, Vol. 32, No 2, 278-285.
33. Σούλιος Γ., (1986): Γενική Υδρογεωλογία Τόμοι 1 και 2. University Studio Press.
34. Σούλιος Γ., (2004), : Γενική Υδρογεωλογία Τόμος 3, Εκδόσεις Κυριακίδη, σελ. 249
35. S. I. Belmonte-Jiménez, (2005). Vulnerability to contamination of the Zaachila

- aquifer, Oaxaca, Mexico. *Geofisica Internacional* (2005), Vol. 44, Num. 3, pp. 283-300.
36. Stamatis, G., Voudouris, K., Karafilakis, Th. (2001): Groundwater pollution by heavy metals in historical and mineral area of Lavrio, Greece. *Water, Air and Soil Pollution*, 128:61-83, 2001.
37. Van Stempvoort, D, Evert, L, Wassenaar, L. (1992): Aquifer Vulnerability Index: A GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping. *Canadian Water Resources Journal*, 18, 25-37.
38. Zektser I.S., A.P. Belousova, V.Yu. Dudov (1995) 'Regional assessment and mapping of groundwater vulnerability'. *Environmental Geology* 25, 225-231.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

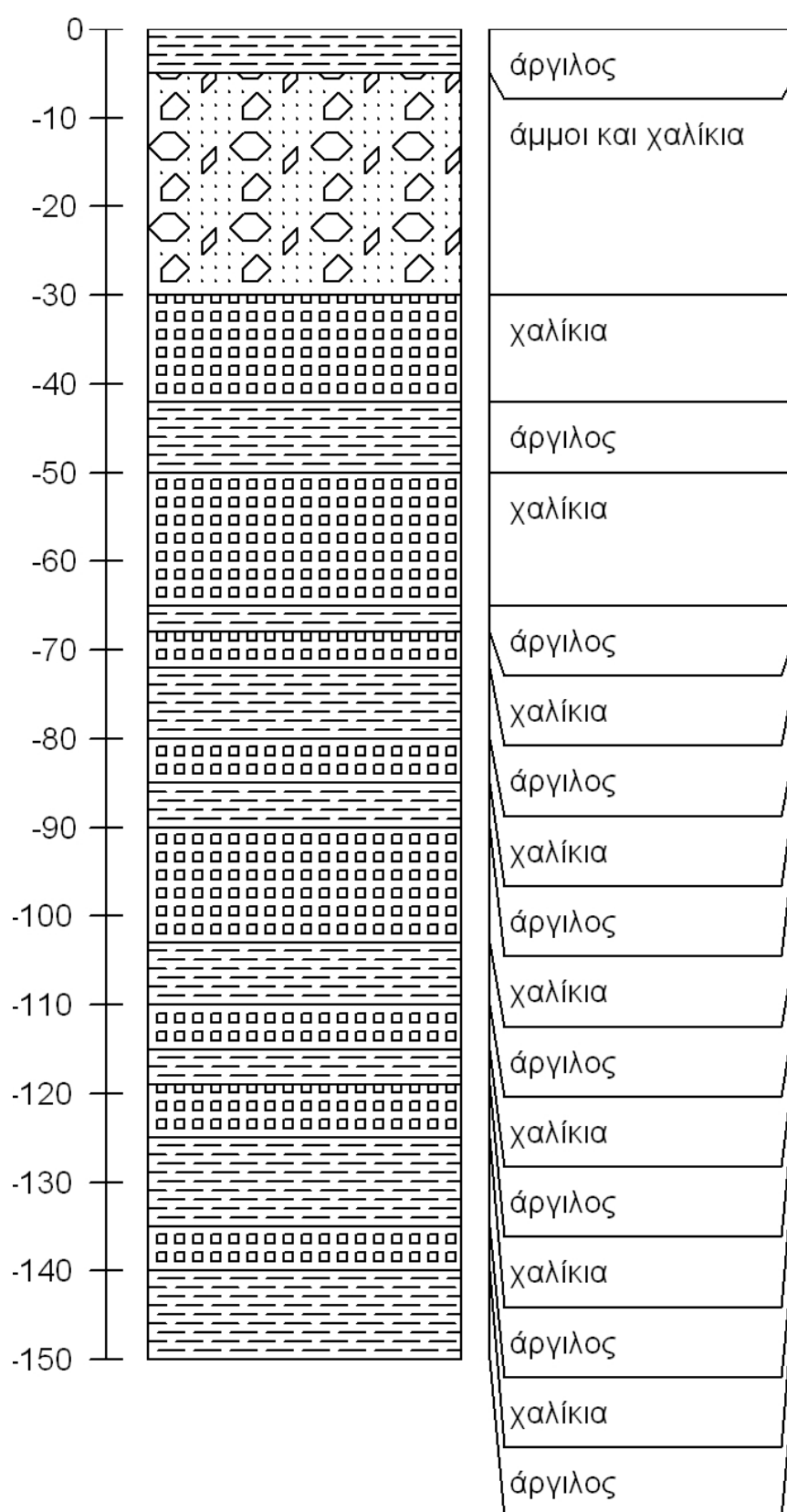
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ



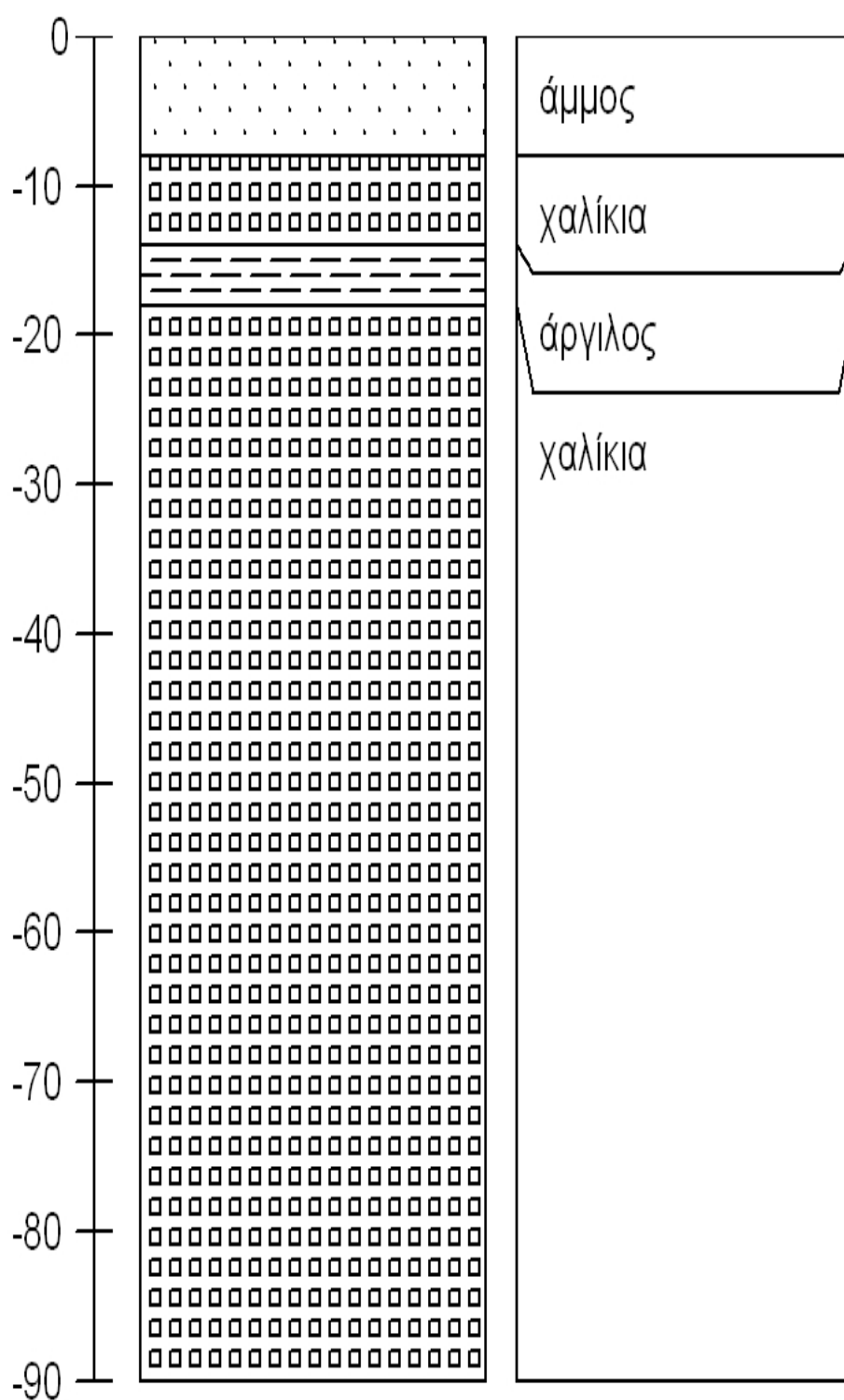




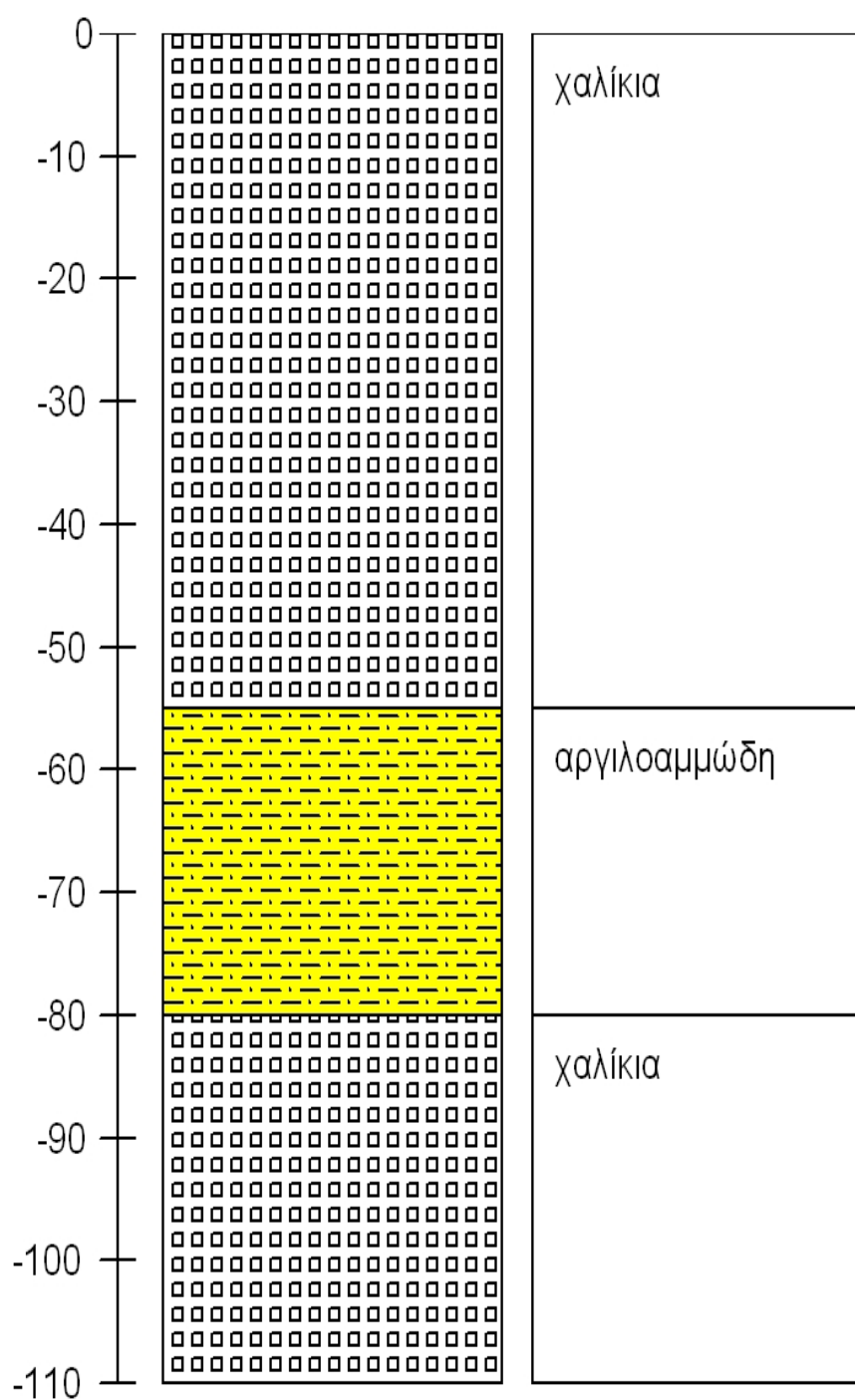
ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ



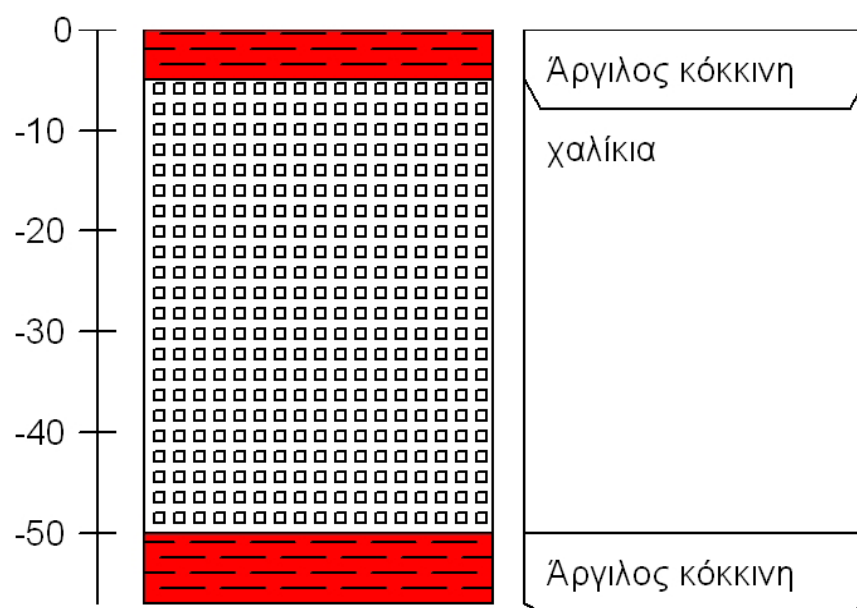
Γεώτρηση Νούμερο 3



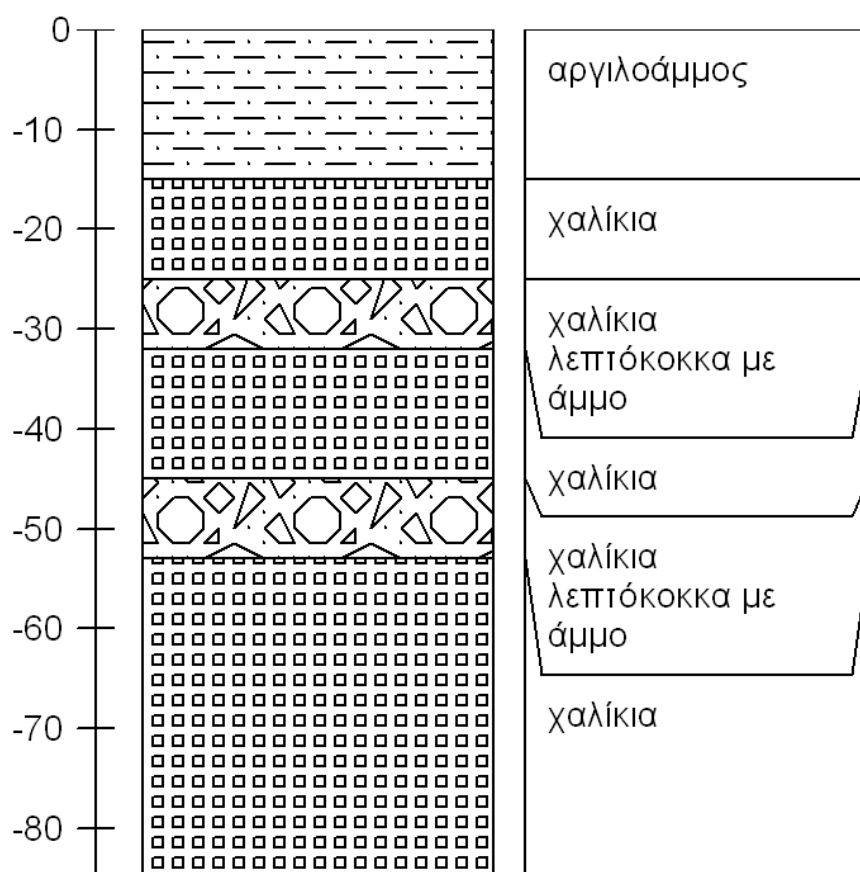
Γεώτρηση Νούμερο 4



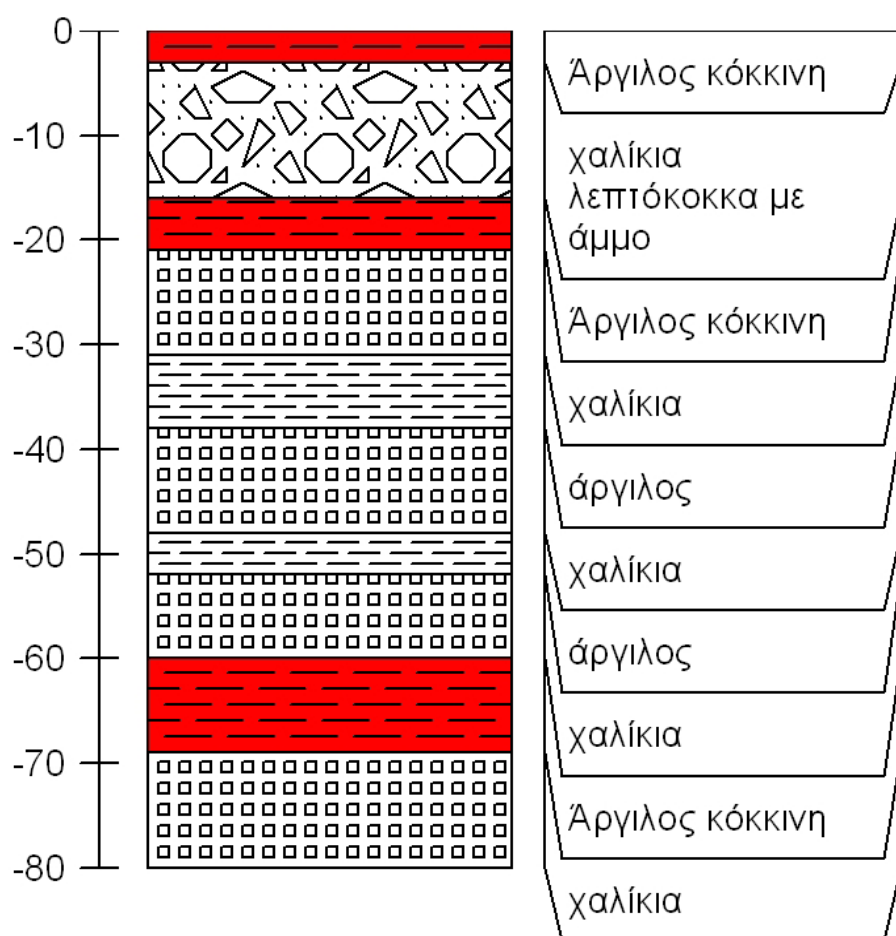
Γεώτρηση Νούμερο 8



Γεώτρηση Νούμερο 10



Γεώτρηση Νούμερο 17



Γεώτρηση Νούμερο 22