



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΝΑΣΣΑΡ ΑΙΝΤΑ- ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ
ΠΑΡΑΚΤΙΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ Β. ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΛΑΙΣΤΙΝΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020





ΝΑΣΣΑΡ ΑΙΝΤΑ- ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, Α.Ε.Μ.: 5514

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ
ΠΑΡΑΚΤΙΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ Β. ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΛΑΙΣΤΙΝΗ

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Κωνσταντίνος Βουδούρης, Καθηγητής Υδρογεωλογίας

Συν επικουρία στην Επίβλεψη

Καζάκης Νεραντζής, Δρ. Υδρογεωλογίας



© Νασσάρ Άιντα- Αναστασία, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ
ΠΑΡΑΚΤΙΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ Β.ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΛΑΙΣΤΙΝΗ. – Διπλωματική
Εργασία

© Nassar Ainta- Anastasia, School of Geology, Laboratory of Technical Geology and Hydrogeology, 2020

THE ISSUE OF SEAWATER INTRUSION IN COASTAL AQUIFERS. EXAMPLES
OF N. GREECE AND PALESTINE AND MANAGEMENT PLANS. – Bachelor Thesis

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

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



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT.....	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ Α. ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ	12
2.1.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ- ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	12
2.1.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ- ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	13
2.1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	16
2.1.4 ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ.....	18
2.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΑΖΑΣ	18
2.2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ- ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	18
2.2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ- ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	19
2.2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	20
2.2.4 ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ.....	25
3. ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ	26
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	26
3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ	26
3.2.1 ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ	27
3.2.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ GALDIT	27
3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ GALDIT ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ Α. ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ	28
3.3.1 G- Ο ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ.....	28
3.3.2 A- Η ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ.....	29
3.3.3 L- ΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ.....	30
3.3.4 D- Η ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΗ.....	31
3.3.5 I- Η ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΣΗΣ	32
3.3.6 T- ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ	33
3.3.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ GALDIT	34
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	36
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	38

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από το εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. και εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Κ. Βουδούρη με συνεπικουρία του Νεραντζή Καζάκη, Διδάκτορα Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Για την ολοκλήρωση των προπτυχιακών μου σπουδών επέλεξα ένα θέμα που αφορά στην υδρογεωλογία, καθώς αυτός ο κύκλος σπουδών μου στάθηκε καθοριστικός για να συνειδητοποιήσω την σημασία του νερού, και κυρίως του υπόγειου νερού, για την ανθρώπινη ύπαρξη.

Η σημασία του νερού για τη ζωή και ως συστατικό του παγκόσμιου οικοσυστήματος είναι τεράστια, καθώς δεν εξυπηρετεί μόνο τις βασικές ανάγκες του ανθρώπου, αλλά συμβάλλει καθοριστικά και στην ανάπτυξη και διατήρηση κλάδων όπως η γεωργία, η αλιεία, η βιομηχανία, η παραγωγή ενέργειας, ο τουρισμός κ.ά.. Τέλος, είναι στοιχείο ζωτικής σημασίας για όλα τα παγκόσμια οικοσυστήματα.

Το νερό που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ονομάζεται υπόγειο. Το υπόγειο νερό συνιστά μόλις το 0,61% των συνολικών αποθεμάτων νερού του πλανήτη, ενώ τα αποθέματα υπόγειου γλυκού νερού αποτελούν περίπου το 30,1% των συνολικών αποθεμάτων γλυκού νερού. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 65% των υδατικών αναγκών των κατοίκων της Ευρώπης στηρίζεται αποκλειστικά σε υπόγεια ύδατα. Ωστόσο, η έλλειψη γλυκού νερού σε συνδυασμό με τις ολοένα αυξανόμενες υδατικές ανάγκες των ανθρώπων καθιστούν τους υπόγειους υδροφορείς ιδιαίτερα ευάλωτους απέναντι σε φαινόμενα ποιοτικής υποβάθμισης και μείωσης του όγκου των αποθεμάτων τους.

Θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι «Το πρόβλημα της διείσδυσης του θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφορείς. Παραδείγματα και μέθοδοι αντιμετώπισης από τη Β. Ελλάδα και την Παλαιστίνη» και στοχεύει στη διερεύνηση του φαινομένου της θαλάσσιας διείσδυσης σε παράκτιους υδροφορείς εστιάζοντας στην περιοχή του Ανατολικού Θερμαϊκού στη Χερσόνησο της Χαλκιδικής και την Λωρίδα της Γάζας στην Παλαιστίνη. Παράλληλα, γίνεται χρήση του πολυκριτηριακού δείκτη GALDIT για την εκτίμηση της τρωτότητας στην περιοχή του Ανατολικού Θερμαϊκού.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη που με ενέπνευσε να ασχοληθώ με το την Υδρογεωλογία και μου έδειξε εμπιστοσύνη παρέχοντας μου τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το αντικείμενο αυτό στην διπλωματική μου εργασία.

Ακόμα, η παρούσα διπλωματική εργασία θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση, την επιστημονική υποστήριξη και την ουσιαστική καθοδήγηση του μεταδιδάκτορα του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας κ. Νεραντζή Καζάκη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της προπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ τους γονείς μου για την υπομονή και διαρκή εμπύχωση και στήριξη τους τόσο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, όσο και κατά τη συνολική διάρκεια των σπουδών μου.



Τέλος, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου για την υποστήριξη, την κατανόηση και τις πολύτιμες συμβουλές τους, που στάθηκαν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την παρακολούθηση των παράκτιων υδροφορέων και τον υπολογισμό της τρωτότητας ενός υδροφορέα ως προς τη θαλάσσια διείσδυση. Οι δύο περιοχές έρευνας που εξετάζονται είναι η περιοχή του Ανατολικού Θερμαϊκού στη Χερσονήσο της Χαλκιδικής και η Λωρίδα της Γάζας στην Παλαιστίνη.

Ο παράκτιος υδροφορέας στην περιοχή του Αν. Θερμαϊκού, στον οποίο είναι αφιερωμένο το πρώτο μισό του 2^{ου} κεφαλαίου, βρίσκεται στο ΝΔ τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής και καταλαμβάνει έκταση 281 km². Τα τελευταία χρόνια πλήθος μελετών έχουν ασχοληθεί με την συγκεκριμένη περιοχή λόγω των ιδιαίτερων υδρογεωλογικών και γεωθερμικών χαρακτηριστικών της. Πρόκειται για μία περιοχή με έντονη τουριστική ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες και με έντονη γεωργική δραστηριότητα, η οποία ευνοείται από τις εύφορες πεδινές εκτάσεις που διατίθενται για καλλιέργεια. Ωστόσο, η ανθρώπινη δραστηριότητα στην περιοχή, και ειδικότερα η ανεξέλεγκτη χρήση λιπασμάτων και η μη ορθολογική διαχείριση του υπόγειου νερού, φαίνεται να είναι υπεύθυνη για την ποιοτική υποβάθμιση του υδροφορέα.

Η περιοχή της Λωρίδας της Γάζας, η οποία αναλύεται στο δεύτερο μισό του 2^{ου} κεφαλαίου, είναι μια παράλια χερσαία λωρίδα στο νοτιοανατολικό άκρο της Μεσογείου με συνολική έκταση 360 km². Η περιοχή αυτή, η οποία διεκδικείται από την Εθνική Παλαιστινιακή Αρχή, ως μέρος του κράτους της Παλαιστίνης, έχει έναν από τους πιο ραγδαία αυξανόμενους πληθυσμούς στον πλανήτη. Οι αυξημένες ανάγκες για πόσιμο νερό και η άναρχη αστικοποίηση σε συνδυασμό με τις ελάχιστες βροχοπτώσεις και μεγάλες περιόδους ξηρασίας έχουν ως αποτέλεσμα την εξάντληση του υδροφορέα και την ποιοτική του υποβάθμιση.

Το 3^ο κεφάλαιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αναλύει την τρωτότητα του παράκτιου υδροφορέα στην περιοχή του Αν. Θερμαϊκού ως προς τη θαλάσσια διείσδυση με τη χρήση του δείκτη GALDIT. Για την εφαρμογή της μεθόδου χρειάστηκε η κατασκευή 6 θεματικών χαρτών από τους οποίους προέκυψε ένας τελικός χάρτης που παρουσιάζει την τρωτότητα του παράκτιου υδροφορέα. Στο τέλος της εργασίας παρατίθενται συμπεράσματα για την έρευνα που διεξήχθη.



ABSTRACT

This dissertation aims to monitor the coastal aquifers and to evaluate the aquifer's vulnerability from the aspect of seawater intrusion. The two study areas under consideration are the area of Eastern Thermaikos Gulf in the peninsula of Halkidiki and the Gaza Strip in Palestine.

The coastal aquifer in the area of E. Thermaikos, to which the first half of the 2nd chapter is dedicated, is located in the SW region of the peninsula of Halkidiki and occupies an area of 281 km². In recent years many studies have been carried out in this area due to its particular hydrogeological and geothermal characteristics. It is an area with strong tourist growth in recent decades and with intense agricultural activity, as the fertile and low-lying lands lend themselves to cultivation. However, human activities in the area and especially the rampant usage of fertilizers and the irrational management of the groundwater resources seems to be responsible for the intensification of groundwater quality.

The Gaza Strip region, which is analyzed in the second half of the 2nd chapter, is a coastal land strip in the southeastern corner of the Mediterranean Sea with a total area of 360 km². This region, claimed by Palestine National Authority as a part of the State of Palestine, has one of the most rapidly growing populations on the planet. The increased needs for potable water and the unplanned urbanization combined with the limited annual rainfall and the long periods of drought result in the depletion of the aquifer and its qualitative degradation.

The 3rd chapter of this thesis analyzes the vulnerability of the coastal aquifer in the area of E. Thermaikos with regard to seawater intrusion using the GALDIT index. In order to implement the method, it took the construction of 6 thematic maps from which a final map emerged that depicts the vulnerability of the coastal aquifer. At the end of the thesis there are the conclusions inferred from the study.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι παράκτιες ζώνες ανήκουν στις πιο σημαντικές περιοχές του κόσμου, καθώς εκεί συναντώνται πολλές μεγάλες πόλεις, ιδιαίτερης οικονομικής σημασίας και συγκεντρώνεται μεγάλο μέρος του πληθυσμού της γης (Alongi, 1999; Tan et al., 2018). Ακόμα, περίπου το 80% όλου του τουρισμού (16,5εκ. τουρίστες ετησίως) λαμβάνει χώρα στις περιοχές αυτές (Crossland et al., 2003; Kantamaneni, 2016). Μεγάλο μέρος των υδατικών τους αναγκών (ύδρευση, άρδευση, βιομηχανία) καλύπτονται από το υπόγειο νερό που είναι συγκεντρωμένο στους παράκτιους υδροφορείς. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη χώρα μας εκτιμάται πως το 65% του πληθυσμού ζει σε παράκτιες περιοχές και καλύπτει τις ανάγκες του σε νερό από την εκμετάλλευση των παράκτιων υδροφορέων (Βουδούρης, 2017).

Με τον όρο **παράκτιοι υδροφορείς** εννοούμε τους υδροφορείς που βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές και είναι σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα. Σε έναν ελεύθερο παράκτιο υδροφορέα επειδή το γλυκό και το αλμυρό νερό έχουν διαφορετικές πυκνότητες θεωρούμε ότι δεν αναμιγνύονται. Έτσι, το γλυκό νερό ως ελαφρύτερο επιπλέει πάνω στο θαλασσινό σχηματίζοντας μεταξύ τους μια **διεπιφάνεια** παραβολικής μορφής, που καθορίζεται από τις τοπικές υδροδυναμικές συνθήκες. Η διεπιφάνεια διέρχεται από το σημείο τομής της επιφάνειας της θάλασσας και της στάθμης του υδροφορέα (Βουδούρης, 2017).

Ωστόσο, πολλοί παράκτιοι υδροφορείς αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της **θαλάσσιας διείσδυσης**, όταν οι ποσότητες υπόγειου νερού που αντλούνται είναι περισσότερες από αυτές που αναπληρώνονται μέσω του φυσικού εμπλουτισμού. Πιο αναλυτικά, ως θαλάσσια διείσδυση χαρακτηρίζεται η είσοδος θαλασσινού νερού σε έναν παράκτιο υδροφορέα, με αποτέλεσμα την ποιοτική υποβάθμιση του υδροφορέα. Πρόκειται, επομένως, για ένα τύπο **υφαλμύρισης**, όπου το γλυκό νερό του υδροφορέα εμπλουτίζεται με θαλασσινό και κατ' επέκταση με άλατα (ιόντα χλωρίου και νατρίου). Τέλος, κατά τη θαλάσσια διείσδυση πέραν της κίνησης του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα, παρατηρείται και μείωση του αποθηκευμένου όγκου γλυκού νερού.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η παρακολούθηση των παράκτιων υδροφορέων και η διερεύνηση της τρωτότητας ενός τέτοιου υδροφορέα ως προς τη θαλάσσια διείσδυση. Η εξέταση του φαινομένου επικεντρώνεται σε δύο περιοχές έρευνας, την περιοχή του Ανατολικού Θερμαϊκού στη Χερσόνησο της Χαλκιδικής και την Λωρίδα της Γάζας στην Παλαιστίνη.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει:

- Την αναζήτηση ελληνικής και ξενόγλωσσης βιβλιογραφίας σε ζητήματα σχετικά με γεωγραφικά, πληθυσμιακά, μορφολογικά, υδρολογικά, υδρογεωλογικά και κλιματικά δεδομένα που αφορούν στις δύο περιοχές έρευνας.
- Τη συλλογή γεωλογικών και τοπογραφικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε., αλλά και διάφορων θεματικών χαρτών, χρήσιμων για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις περιοχές εργασίας.



- Τη συλλογή δορυφορικών εικόνων της περιοχής από το Google Earth Pro.
- Τη χρήση του Google Earth Pro και του ArcMap 10.5 για την κατασκευή χαρτών που απεικονίζουν τις περιοχές έρευνας.
- Τη ψηφιοποίηση των τοπογραφικών και γεωλογικών χαρτών μέσω της χρήσης λογισμικού ArcMap 10.5.
- Την κατασκευή θεματικών χαρτών και χαρτών τρωτότητας του υδροφορέα στη θαλάσσια διείδυση με τη μέθοδο GALDIT.
- Την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και των ψηφιακών δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

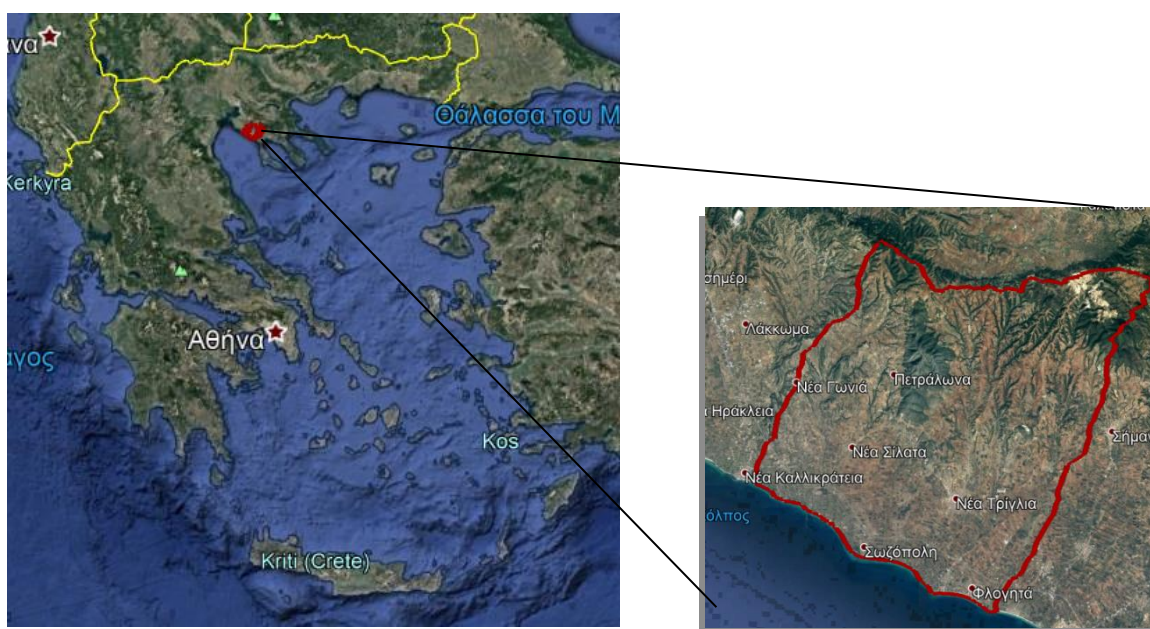
2. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει σε δύο περιοχές έρευνας, την περιοχή του Ανατολικού Θερμαϊκού στη Χερσόνησο της Χαλκιδικής και τη Λωρίδα της Γάζας στην Παλαιστίνη.

2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ Α. ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ

2.1.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ- ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

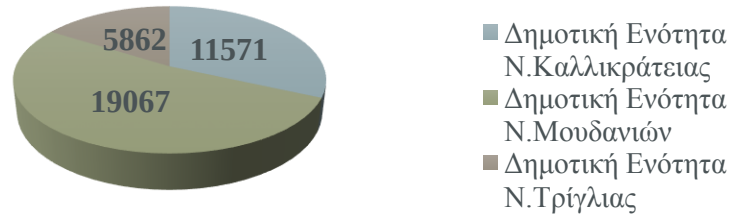
Η περιοχή του Ανατολικού Θερμαϊκού βρίσκεται στην ΒΔ Χαλκιδική και περιλαμβάνει την παράκτια περιοχή από την Νέα Καλλικράτεια μέχρι τα Φλογητά, του Δήμου Νέας Προποντίδας (Σχήμα 1). Η γεωγραφική έκταση του δήμου είναι 380,77 km² και ο αριθμός των κατοίκων του ανέρχεται σε 36.500 (ΕΛΣΤΑΤ, 2011), ενώ παρουσιάζει αύξηση της τάξης του 7,4% σε σχέση με την προηγούμενη απογραφή (2001).



Σχήμα 1 Περιοχή έρευνας Ανατολικού Θερμαϊκού (Πηγή: Google Earth)

Ο Δήμος Νέας Προποντίδας ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Χαλκιδικής και στο 10^ο υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας, ενώ παράλληλα αποτελεί τμήμα της λεκάνης απορροής Επανομής- Ν. Καλλικράτειας. Επιπλέον, χαρακτηρίζεται ως ένας νεοσύστατος Καλλικρατικός δήμος, ο οποίος συνίσταται από τις Δημοτικές Ενότητες (Δ.Ε.) της Νέας Καλλικράτειας, των Νέων Μουδανιών και της Νέας Τρίγλιας, με έδρα τα Νέα Μουδανιά. Η κατανομή του πληθυσμού στις επιμέρους Δ.Ε. εμφανίζεται άνιση, με το μεγαλύτερο ποσοστό να διαμένει στην Δ.Ε. των Νέων Μουδανιών (Σχήμα 2).

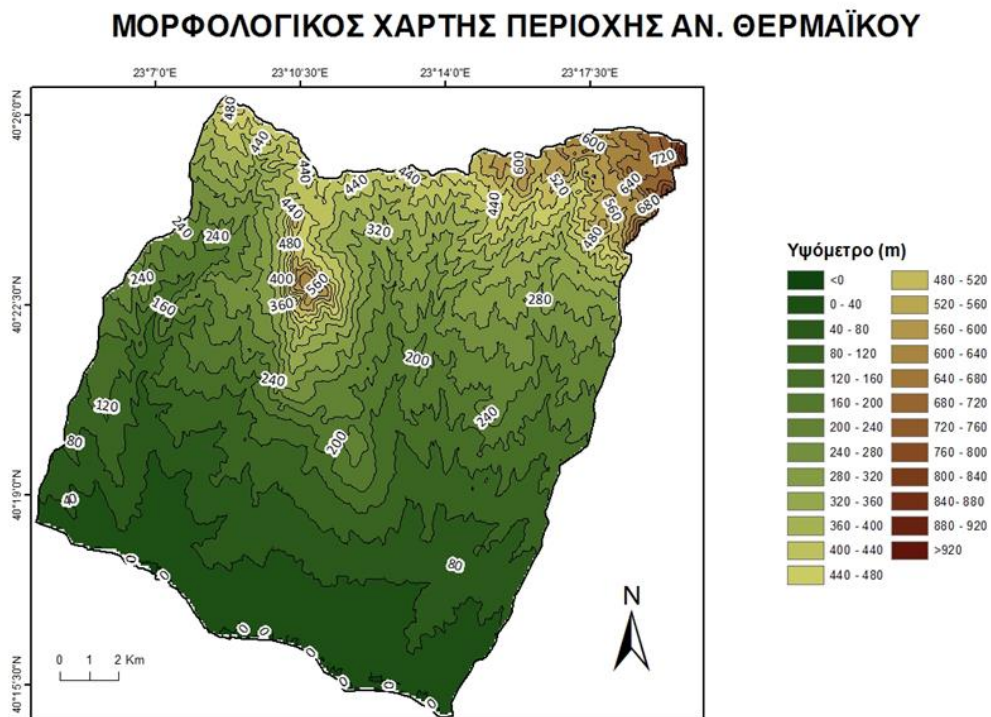
Πληθυσμιακή Κατανομή στις επιμέρους Δημοτικές Ενότητες του Δήμου Νέας Προποντίδας



Σχήμα 2 Κατανομή του πληθυσμού των Δημοτικών Ενοτήτων (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

2.1.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ- ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή έρευνας στην ανατολική πλευρά του Θερμαϊκού κόλπου χαρακτηρίζεται από έντονη γεωργική δραστηριότητα και έλλειψη δασικών εκτάσεων, ενώ προς την ενδοχώρα εντοπίζονται λόφοι χαμηλού υψομέτρου. Το μεγαλύτερο τμήμα του ανάγλυφου είναι ομαλό με μικρές κλίσεις (Σχήμα 4), ενώ όλη η περιοχή διαρρέεται από μικρούς χείμαρρους. Η σταδιακή αύξηση του υψομέτρου παρατηρείται από το παράκτιο τμήμα προς την ενδοχώρα (Σχήμα 3).

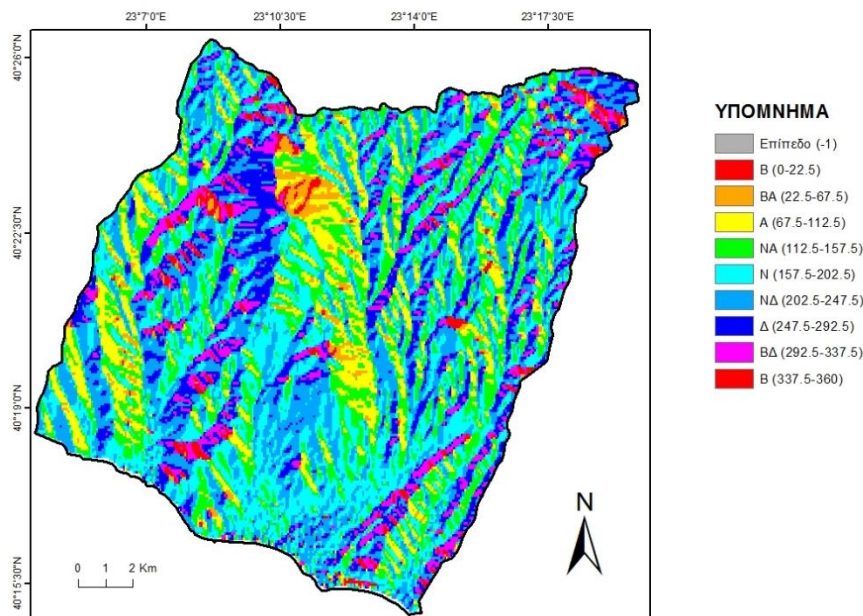


Σχήμα 3 Μορφολογικός χάρτης της περιοχής Αν. Θερμαϊκού (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλα Βασιλικών και Πολυγύρου 1:50.000).

Συγκεκριμένα, η περιοχή χαρακτηρίζεται από εύπορα εδάφη με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της να καταλαμβάνεται από καλλιεργούμενες εκτάσεις σε ποσοστό 63,5%, ενώ οι οικισμοί καλύπτουν περίπου το 12% (Σχήμα 5). Οι γεωργικές

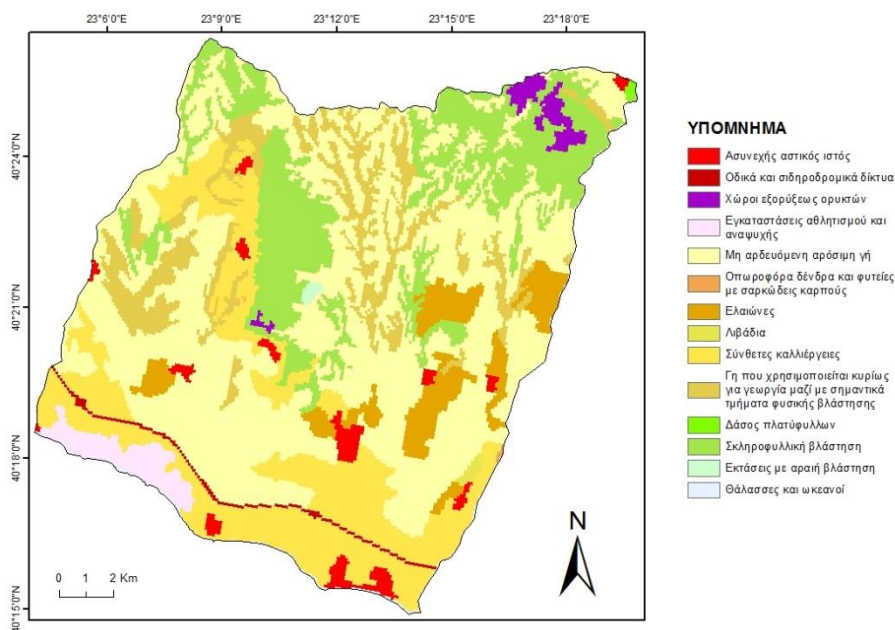
δραστηριότητες που αναπτύσσονται στην περιοχή αφορούν την καλλιέργεια σιταριού, κριθαριού, αμπελιού, ελαιόδεντρων και λαχανικών, με μόνιμη άρδευση. Ένα πολύ μικρό ποσοστό, της τάξης του 0,2%, καταλαμβάνεται από μερικά παλιά λατομεία στον ορεινό όγκο με το τοπωνύμιο «Υψωμα» ή «Μεγάλη Κατσίκια».

ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΚΛΙΤΥΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΝ.ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ



Σχήμα 4 Χάρτης προσανατολισμού κλιτύων περιοχής Αν. Θερμαϊκού (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλα Βασιλικών και Πολυγύρου 1:50.000).

ΚΑΛΥΨΗ ΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝ. ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ

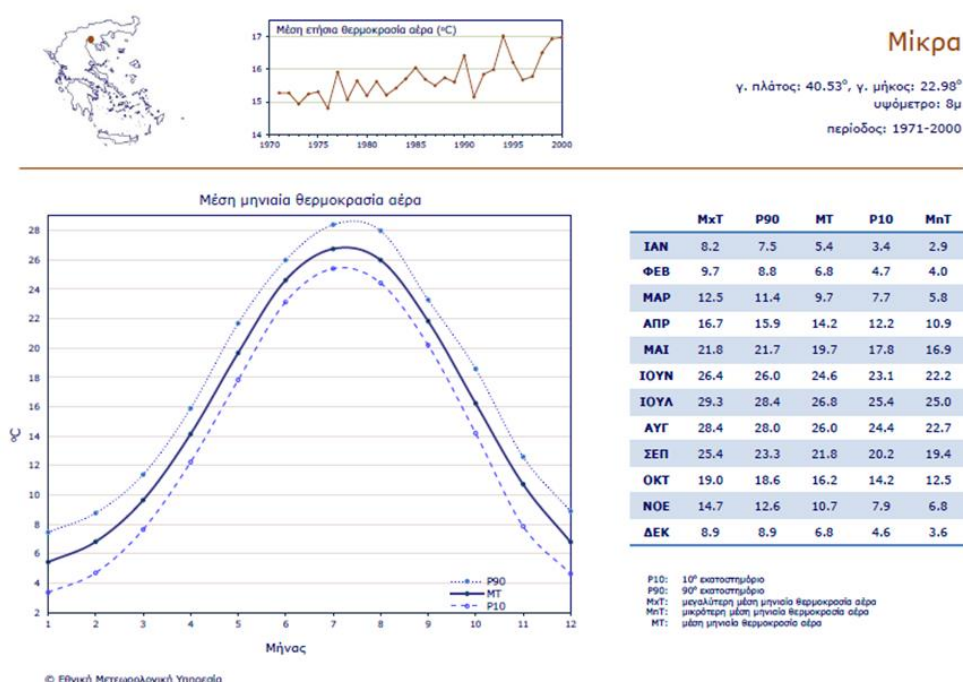


Σχήμα 5 Χρήσεις γης στην περιοχή του Αν. Θερμαϊκού για το έτος 2018 (Πηγή: land.copernicus.eu)

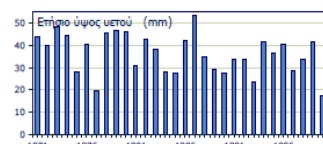
Παρά το γεγονός ότι στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής δεσπόζουν γεωργικές καλλιέργειες, οι θαλάσσιες ακτές είναι αυτές που αποτελούν το σημαντικότερο οικονομικό πόρο στην περιοχή, λόγω των αλιευτικών και παραθεριστικών δραστηριοτήτων. Οι ευρείας έκτασης, αμμώδεις και καθαρές παραλίες που συναντώνται στην περιοχή, αποτελούν ευνοϊκό παράγοντα για την τουριστική ανάπτυξη της περιοχής κατά τους θερινούς μήνες.

Ακόμα, ένας βασικός παράγοντας προσέλκυσης επισκεπτών στην περιοχή είναι και το κλίμα. Το κλίμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως παραθαλάσσιο Μεσογειακό στις χαμηλές περιοχές και μεταβαίνει σε χερσαίο Μεσογειακό στις υψηλότερες. Επιπλέον, χαρακτηρίζεται από ήπιους και υγρούς χειμώνες και δροσερά ξηρά καλοκαίρια. Σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα των ετών 1971-2000 από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό (μετεωρολογικός σταθμός Μίκρας) η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 15,7°C, ενώ θερμότερος μήνας του έτους είναι ο Ιούλιος με μέση μέγιστη θερμοκρασία 29,3°C και ψυχρότερος ο Ιανουάριος με μέση ελάχιστη θερμοκρασία 2,9°C (Σχήμα 6).

Η μέση ετήσια βροχόπτωση των ετών αυτών υπολογίζεται, με βάση το άθροισμα των μέσων μηνιαίων υετών για τα έτη 1971-2000, στα 435,5 mm. Ο πιο υγρός μήνας του έτους είναι ο Νοέμβριος με μέσο μηνιαίο υετό 60,2 mm (Σχήμα 7). Τέλος, η υγρή περίοδος στην περιοχή διαρκεί από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάιο.

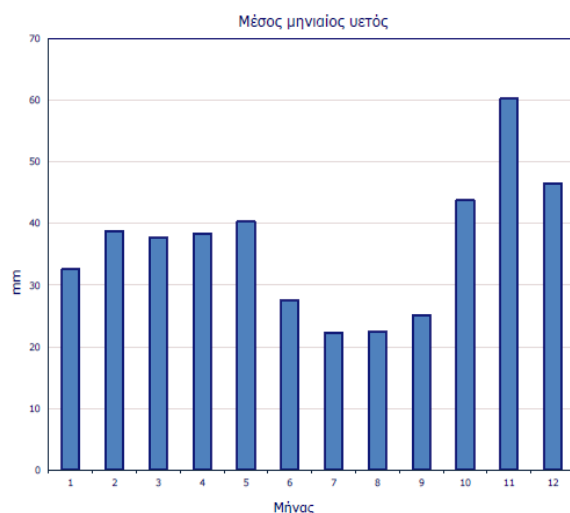


Σχήμα 6 Δεδομένα για τη μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα των ετών 1971-2000 από τον μετεωρολογικό σταθμό της Μίκρας του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης (Πηγή: Ε.Μ.Υ.)



Μίκρα

γ. πλάτος: 40.53°, γ. μήκος: 22.98°
υψόμετρο: 8μ
περίοδος: 1971-2000



	MxP	P90	MP	P10	MnP
ΙΑΝ	82.0	67.3	32.5	2.2	0.0
ΦΕΒ	167.2	68.4	38.8	5.8	0.3
ΜΑΡ	95.1	71.4	37.6	10.1	4.5
ΑΠΡ	108.0	79.8	38.4	6.3	5.1
ΜΑΙ	94.6	63.7	40.3	8.2	3.3
ΙΟΥΝ	85.6	66.8	27.5	1.3	0.0
ΙΟΥΛ	78.5	43.6	22.3	0.5	0.0
ΑΥΓ	97.5	47.7	22.4	1.8	0.0
ΣΕΠ	135.0	66.3	25.2	0.7	0.0
ΟΚΤ	150.5	94.2	43.8	7.0	0.1
ΝΟΕ	179.1	128.0	60.2	19.6	6.4
ΔΕΚ	141.6	96.1	46.5	3.1	0.2

P10 : 10^ο εκατοστημόριο
P90 : 90^ο εκατοστημόριο
MxP: μεγαλύτερος μέσος μηνιαίος υετός
MnP: μικρότερος μέσος μηνιαίος υετός
MP : μέσος μηνιαίος υετός

© Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

Σχήμα 7 Δεδομένα για τον μέσο μηνιαίο υετό των ετών 1971-2000 από τον μετεωρολογικό σταθμό της Μίκρας του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης (Πηγή: Ε.Μ.Υ.)

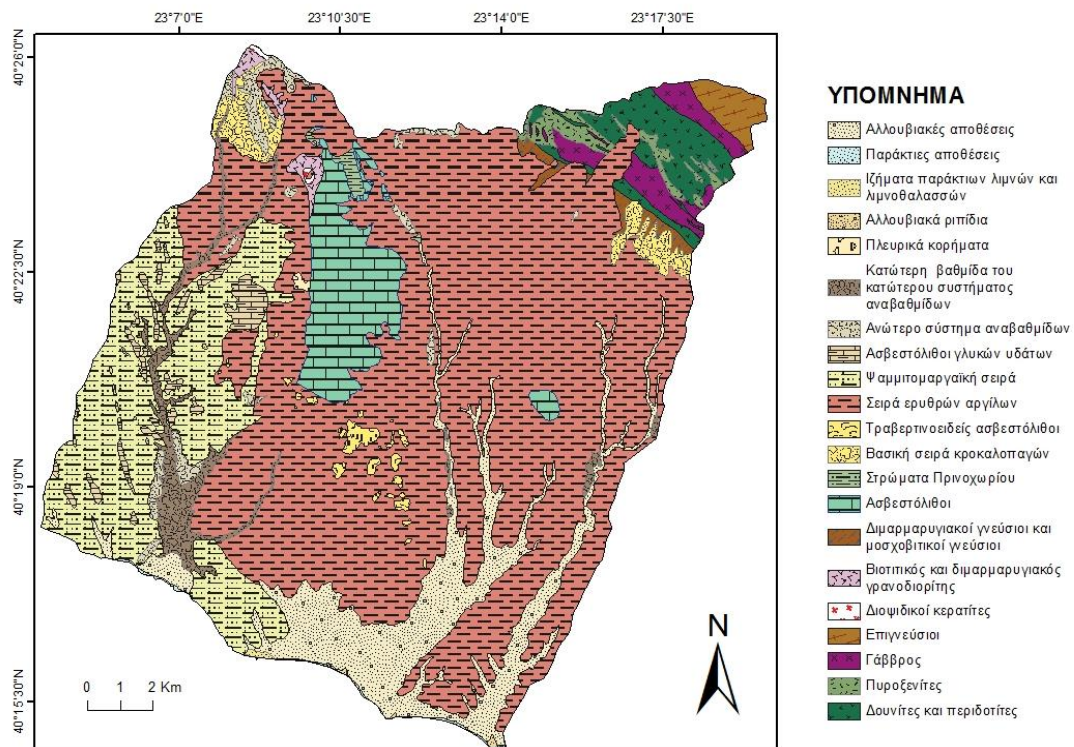
2.1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η περιοχή του Ανατολικού Θερμαϊκού ανήκει στην ζώνη Αξιού και συγκεκριμένα στην υποζώνη Παιονίας (Μουντράκης, 2010). Ως επί το πλείστον, στην περιοχή απαντώνται Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις, ωστόσο κατά θέσεις συναντώνται ασβεστόλιθοι του Ανώτερου Ιουρασικού (Ενότητα Παιονίας) και εκρηξιγενείς σχηματισμοί Μεσοζωικής περιόδου. Οι Νεογενείς αποθέσεις συγκροτούνται από την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά και την σειρά ερυθρών αργίλων, ενώ οι Τεταρτογενείς αποθέσεις συνίστανται κυρίως από τις αλλουβιακές αποθέσεις και τα συστήματα αναβαθμίδων (Σχήμα 8).

Μέσα στις Νεογενείς αποθέσεις φιλοξενείται και το πολλαπλό υδροφόρο σύστημα της περιοχής το οποίο απαρτίζεται από έναν ελεύθερο και επάλληλους υπό πίεση υδροφορείς (Σχήμα 9). Κύριες πηγές τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων είναι το βρόχινο νερό που κατεισδύει, το νερό που διηθείται από επιφανειακά νερά (π.χ. χείμαρροι) κατά την υγρή κυρίως περίοδο, οι εισροές από άλλους υδροφορείς στα ανάντη της λεκάνης απορροής και οι επιστροφές από τις αρδεύσεις.

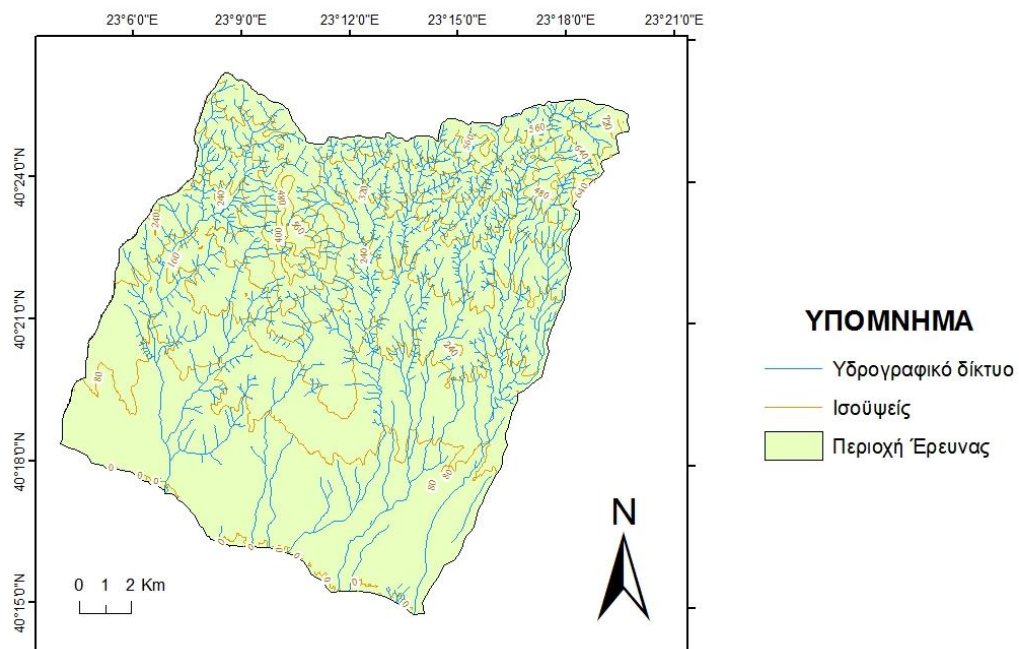
Οι υδατικές ανάγκες της περιοχής (ύδρευση και άρδευση) καλύπτονται κατά κύριο λόγο από την εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων (Ξεφτέρης, 2000; Gavrilidou et al., 2017; Ντόνα κ.ά., 2018).

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΝ. ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ



Σχήμα 8 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Αν. Θερμαϊκού
(Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλα Βασιλικών και Πολυγύρου 1:50.000).

ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΝ. ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ



Σχήμα 9 Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής Αν. Θερμαϊκού
(Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλα Βασιλικών και Πολυγύρου 1:50.000).

2.1.4 ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

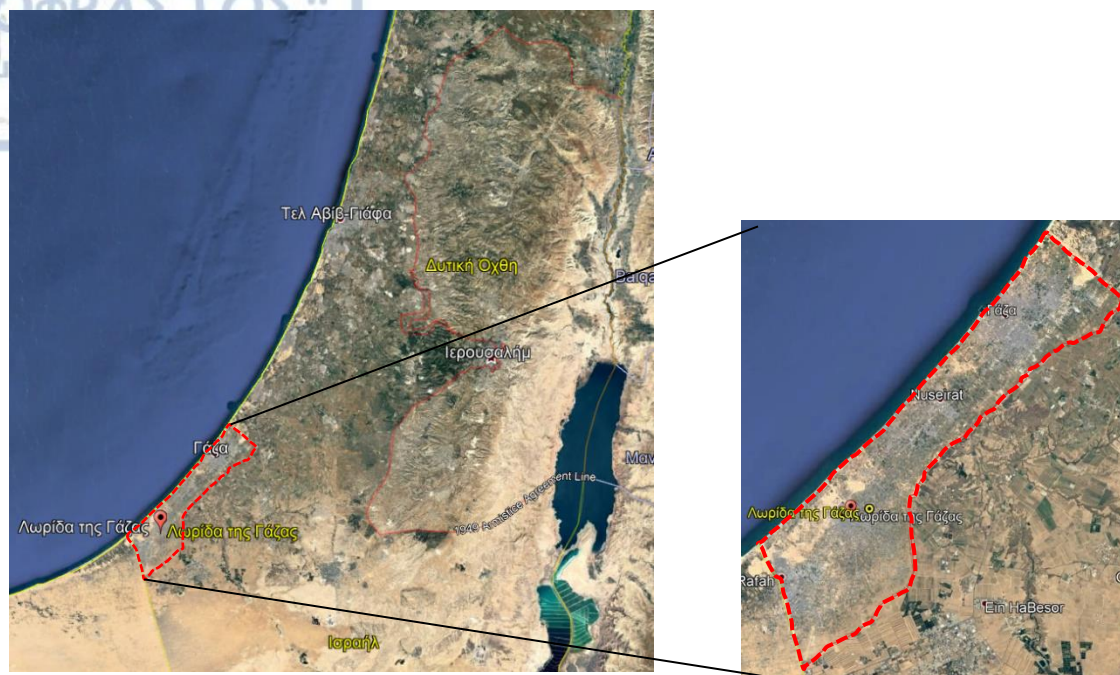
Η χημική κατάσταση του υπόγειου νερού καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τους γεωλογικούς σχηματισμούς από τους οποίους διέρχεται, τον χρόνο παραμονής του στον υδροφορέα και τις ανθρώπινες δραστηριότητες της εκάστοτε περιοχής. Για τον λόγο αυτό, ο προσδιορισμός της επίδρασης των παραπάνω παραγόντων μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τον τύπο του υδροφορέα, την προέλευση του νερού και την καταλληλότητα του νερού για κατανάλωση.

Στην περιοχή έρευνας παρατηρείται ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων, η οποία οφείλεται κυρίως στην διείσδυση θαλασσινού νερού και στην νιτρορύπανση. Ειδικότερα, ο ολοένα αυξανόμενος πληθυσμός στην περιοχή σε συνδυασμό με την προσέλκυση τουριστών κατά τους θερινούς μήνες οδήγησαν σε αύξηση των υδατικών αναγκών. Η κάλυψη των αυξημένων αναγκών σε νερό έχει ως αποτέλεσμα την υπεράντληση του παράκτιου υδροφορέα της περιοχής και κατ' επέκταση την διείσδυση θαλασσινού νερού και τη μείωση των αποθεμάτων των υδροφορέων. Παράλληλα, η νιτρορύπανση είναι απόρροια της αλόγιστης χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων. Ακόμα, μικρότερο ρόλο στην μείωση των αποθεμάτων του υδροφορέα και κατ' επέκταση στην δημιουργία ευνοϊκότερων συνθηκών για τη θαλάσσια διείσδυση καλύπτει η κλιματική αλλαγή και συγκεκριμένα η μείωση των κατακρημνισμάτων, που αναμένεται εντονότερη τις επόμενες δεκαετίες (Venetsanou et al., 2016). Τέλος, η ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας κοντά στον οικισμό της Νέας Τρίγλιας όπου τα ψυχρά υδροφόρα στρώματα της ευρύτερης περιοχής έρευνας αναμειγνύονται με τα γεωθερμικά ρευστά έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του χημισμού τους (Ντόνα κ.ά., 2017; Gavrilidou et al., 2017).

2.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΑΖΑΣ

2.2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ- ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή της Λωρίδας της Γάζας είναι μια παράλια χερσαία λωρίδα στο νοτιοανατολικό άκρο της Μεσογείου, μεταξύ του Ισραήλ και της Αιγύπτου, με συντεταγμένες 31 25 N, 34 20 E (CIA) (Σχήμα 10). Το όνομα της Λωρίδας προέρχεται από τη μεγαλύτερη πόλη της περιοχής. Το μήκος της υπολογίζεται στα 40 km, ενώ το πλάτος της ποικίλει από 8 km στο Βορά, έως 5 km στο μέσο και 12 km στο Νότο (UNEP, 2009). Η συνολική έκταση της Λωρίδας είναι 360 km² και οι κάτοικοι της υπερβαίνουν το 1,8 εκ. σύμφωνα με εκτιμήσεις της CIA για το έτος 2018. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τον ετήσιο ρυθμό αύξησης του πληθυσμού που ανέρχεται σε 3,7%, καθιστούν τον Παλαιστινιακό πληθυσμό έναν από τους πιο ραγδαία αυξανόμενους στον πλανήτη (EEA Technical report No 6/2014). Η περιοχή διεκδικείται από την Εθνική Παλαιστινιακή Αρχή, ως μέρος του κράτους της Παλαιστίνης (el.wikipedia.org), ωστόσο δεν έχει αναγνωριστεί ως ανεξάρτητο κράτος μέχρι σήμερα.



Σχήμα 10 Περιοχή της Λωρίδας της Γάζας (Πηγή: Google Earth).

2.2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ- ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η μορφολογία του εδάφους στην περιοχή της Λωρίδας της Γάζας είναι ομαλή με πολύ μικρές κλίσεις. Το χαμηλότερο υψομετρικά σημείο της είναι στο επίπεδο της Μεσογείου θάλασσας στα 0 m και το υψηλότερο στα 105 m, στα ΝΑ σύνορα με το Ισραήλ.

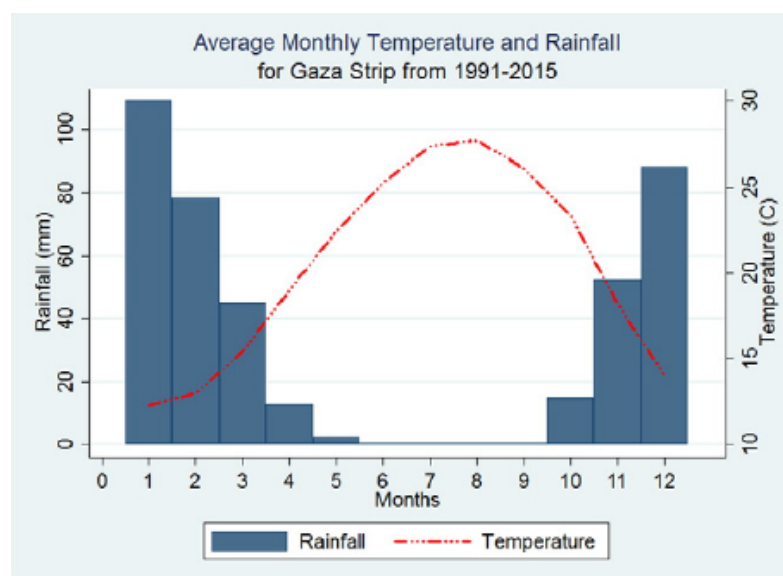
Η γεωργία αποτελεί ένας από τους πιο σημαντικούς και παραγωγικούς τομείς για την οικονομία της Παλαιστίνης, ενώ παράλληλα διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στην εξασφάλιση επισιτιστικής ασφάλειας στην περιοχή. Σύμφωνα με έρευνα της Κεντρικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Παλαιστίνης που διεξήχθη το 2008 αναφορικά με τις χρήσεις γης, οι γεωργικές δραστηριότητες που αναπτύσσονται σε ολόκληρη την επικράτεια της Παλαιστίνης αφορούν την καλλιέργεια καρποφόρων δέντρων σε ποσοστό 63,5% της καλλιεργούμενης περιοχής και τις καλλιέργειες αγρού και λαχανικών σε ποσοστά 26,3% και 10,2%, αντίστοιχα. Ειδικότερα, στην Λωρίδα της Γάζας μόλις 200.000 στρέμματα είναι κατάλληλα για γεωργική χρήση, καθώς οι υπόλοιπες εκτάσεις είναι αμμοθίνες και περιοχές ακατάλληλες για καλλιέργεια. Οι αρδευόμενες εκτάσεις ανέρχονται προς το παρόν στα 132.826 στρέμματα, με το 90% των καλλιεργούμενων με καρποφόρα δέντρα εκτάσεων να συμπεριλαμβάνονται σε αυτές. Γενικότερα, οι αρδευόμενες εκτάσεις στη Λωρίδα της Γάζας είναι περιορισμένες λόγω των μικρών εκτάσεων καλλιεργήσιμης γης και έλλειψης σε νερό. Μελλοντικές εκτιμήσεις, ωστόσο, δείχνουν πιθανή μείωση των καλλιεργούμενων εκτάσεων εξαιτίας της αστικοποίησης που οφείλεται στην ραγδαία αύξηση του πληθυσμού (PCBS, 2008).

Ταυτόχρονα, ιδιαίτερη είναι και η συμβολή του βιομηχανικού κλάδου στην οικονομική ανάπτυξη της Παλαιστίνης, όπως αναφέρει η Παλαιστινιακή Ομοσπονδία

Βιομηχανιών. Ανάμεσα στις 17.090 επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται τα τελευταία χρόνια στην περιοχή, με τις περισσότερες να αφορούν σε μικρές οικογενειακές επιχειρήσεις, ξεχωρίζουν οι βιομηχανίες μεταλλουργίας και οι κατασκευαστικές εταιρίες (USAID & PFI, 2009).

Σύμφωνα με έρευνα της Μονάδας Κλιματικών Ερευνών του Πανεπιστημίου της Ανατολικής Αγγλίας για την περιοχή μελέτης το 2017 (Portal, 2017) προκύπτει πως το κλίμα είναι χαρακτηριστικό ημι-άνυδρο Μεσογειακό με ήπιους χειμώνες και ζεστά-ξηρά καλοκαίρια. Οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του έτους κυμαίνονται κατά μέσον όρο από 11 °C τον μήνα Ιανουάριο έως 29 °C τον Αύγουστο (Σχήμα 11).

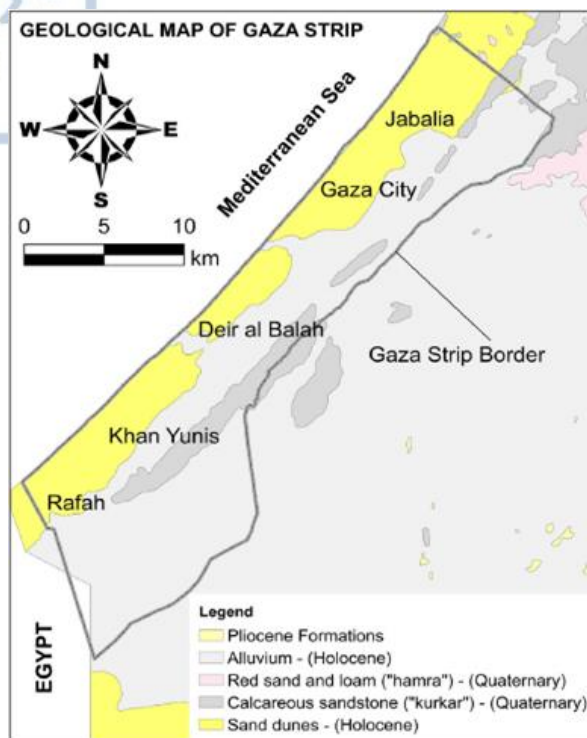
Οι βροχοπτώσεις αποτελούν την μόνη πηγή επανατροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων για την περιοχή, ωστόσο εμφανίζονται πολύ περιορισμένες κατά τη διάρκεια του έτους με τις τιμές τους να κυμαίνονται από 200 mm μέχρι 400 mm. Παράλληλα, η μέση ετήσια εξάτμιση της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 2,1 mm/d τον Δεκέμβριο έως 6,3 mm/d τον Ιούλιο (Lazarou, 2016). Γενικότερα, χαρακτηριστικά της περιοχής είναι οι συχνές περίοδοι ανυδρίας και οι ελάχιστες βροχοπτώσεις, ενώ τα αποθέματα νερού των υπόγειων υδροφορέων παρουσιάζουν μείωση και λόγω των υψηλών επιπέδων ξάτμισης.



Σχήμα 11 Δεδομένα για τη μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα και τον μέσο μηνιαίο υετό των ετών 1991-2015 (Πηγή: Portal, 2017).

2.2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αφορούν την περιοχή της Λωρίδας της Γάζας παρουσιάζονται στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 12). Στην περιοχή μελέτης απαντώνται γεωλογικοί σχηματισμοί του Τεταρτογενούς (Πλειστοκαινικής και Ολοκαινικής ηλικίας). Ειδικότερα, συναντώνται ασβεστολιθικοί ψαμμίτες, αμμοθίνες, ιλύς, άργιλος και χαλίκια.



Σχήμα 12 Γεωλογικός χάρτης της Λωρίδας της Γάζας (Πηγή: Sneh et al., 1998. Geological Map of Gaza Strip, 1:200,000. Isr. Geol. Surv.)

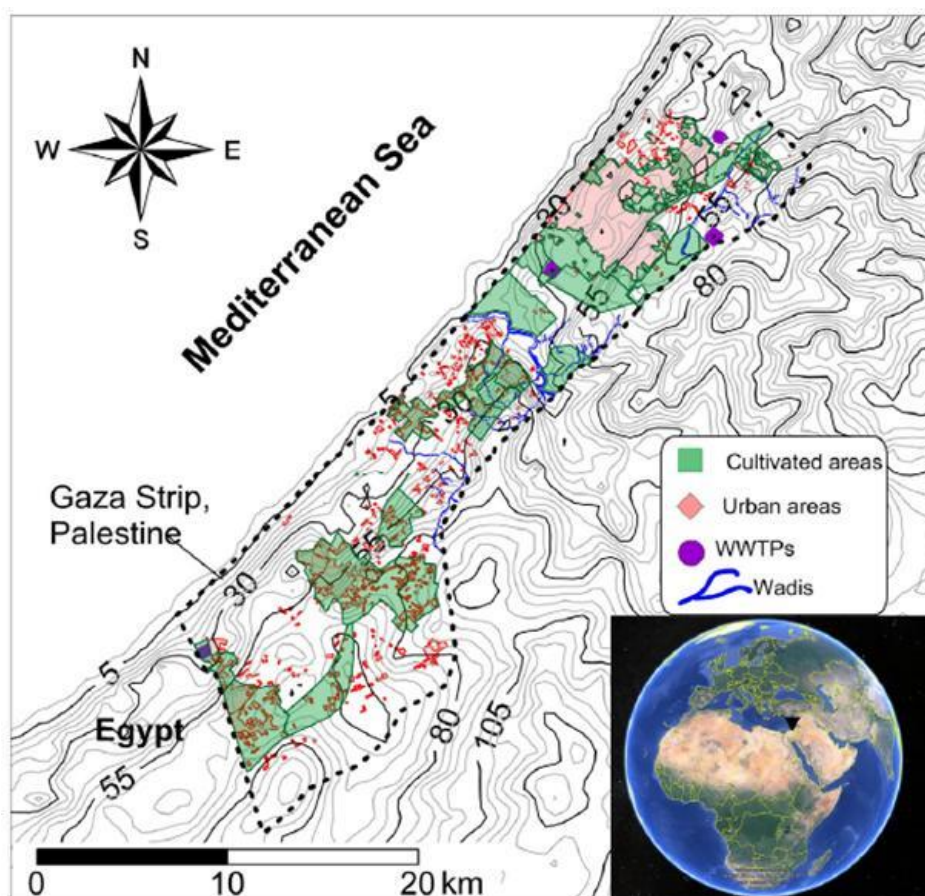
Για την περιοχή της Λωρίδας της Γάζας προκύπτει μέσα από έρευνες ότι ο εμπλουτισμός του παράκτιου υδροφορέα γίνεται από το νερό της βροχής, το οποίο διαπερνά τις αμμοθίνες, τους ασβεστολιθικούς ψαμμίτες και τους αμμώδεις πηλούς στα κεντρικά και δυτικά τμήματα του υδροφορέα. Υπολογίζεται ότι περίπου το 40% της ετήσιας βροχόπτωσης καταφέρνει να διεισδύσει μέσα στο έδαφος και να εμπλουτίσει τον υδροφορέα. Σύμφωνα και με το Ministry of Planning and International Cooperation (MOPIC, 1996) το ποσοστό του εμπλουτισμού μπορεί να αγγίζει και το 60% στις αμμώδεις περιοχές. Αντίθετα, το ανατολικό τμήμα καλύπτεται από αργιλοϊλυώδες (πηλός) έδαφος, με πάχος περίπου 20m κι έτσι δεν ευνοείται η κατείσδυση του μετεωρικού νερού λόγω της μικρότερης υδραυλικής αγωγιμότητας των σχηματισμών (Weinthal et al., 2005).

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Αρχή περιβάλλοντος (European Environment Agency, 2014) το 41% του εμπλουτισμού των αποθεμάτων του παράκτιου υδροφορέα της Γάζας προέρχεται από το νερό της βροχής, ενώ άλλες πηγές εμπλουτισμού όπως οι επιστροφές αρδεύσεων, η υπόγεια ροή από ανατολικά προς δυτικά, η διήθηση από επιφανειακά νερά, οι διαρροές από τα ανεπαρκή δίκτυα διανομής νερού και η διήθηση ακατέργαστων λυμάτων συνιστούν το υπόλοιπο 59% (Πίνακας 1). Συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι η ανεπάρκεια του δικτύου μεταφοράς νερού είναι υπεύθυνη για αδικαιολόγητες απώλειες νερού της τάξης του 50% του συνολικού αντλούμενου όγκου στην Λωρίδα της Γάζας.

Πίνακας 1 Πηγές εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα της Λωρίδας της Γάζας (Πηγή: Jayyousi et al., 2009).

ΕΙΣΡΟΕΣ	ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (m ³ /έτος)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ (%)
Βροχόπτωση	46	41
Υπόγεια ροή από ανατολικά	7	6.3
Διήθηση από επιφανειακά νερά	2	1.6
Διαρροές δικτύων	13	11.6
Διήθηση ακατέργαστων λυμάτων	14	12.5
Επιστροφές αρδεύσεων	30	26.8
Σύνολο	112	100

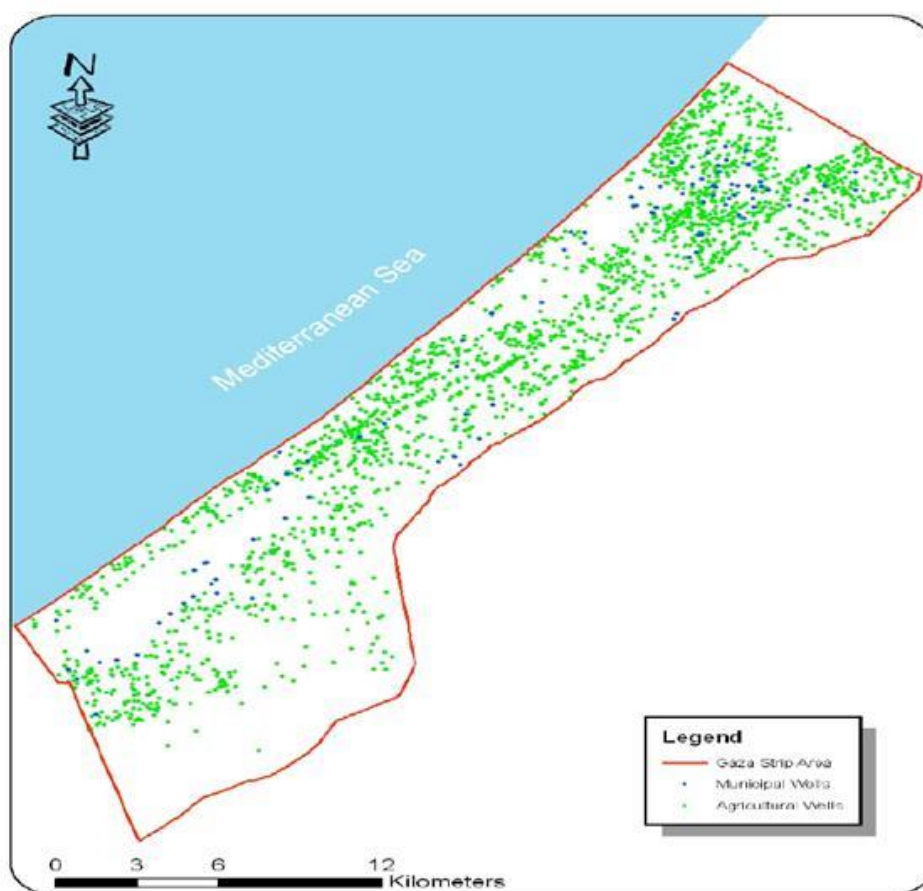
Το επιφανειακό νερό της περιοχής μελέτης συγκεντρώνεται σε τρία ρέματα (Σχήμα 13). Ωστόσο, το Ισραήλ συγκρατεί την φυσική ροή των ρεμάτων, που πηγάζουν από τις κατεχόμενες περιοχές, με αποτέλεσμα οι ποσότητες επιφανειακού νερού στην περιοχή να θεωρούνται αμελητέες. Πλέον, τα ρέματα αυτά χρησιμοποιούνται για την διάθεση υγρών λυμάτων και στερεών αποβλήτων (Rabah, 2013).



Σχήμα 13 Τοπογραφικός χάρτης της Λωρίδας της Γάζας (Πηγή: Madhat Farouk Abu-alnaeem et al., 2018).

Με βάση την Ευρωπαϊκή Αρχή περιβάλλοντος η κατά κεφαλήν παροχή νερού στην πυκνό-κατοικημένη Παλαιστίνη συγκαταλέγεται ανάμεσα στις χαμηλότερες στον κόσμο, με αποτέλεσμα το πρόβλημα της λειψυδρίας να είναι μείζονος σημασίας. Η ανεπάρκεια νερού στη χώρα οφείλεται τόσο σε φυσικούς όσο και σε ανθρωπογενείς παράγοντες, οι οποίοι συνδέονται άμεσα με το Παλαιστινιακό ζήτημα. Μοναδική πηγή νερού για την κάλυψη κάθε είδους ανάγκης (οικιακή, αρδευτική, βιομηχανική) αποτελεί το υπόγειο νερό. Σήμερα στην περιοχή λειτουργούν περισσότερες από 4.600 γεωτρήσεις, οι θέσεις των οποίων παρουσιάζονται στο Σχήμα 14. Με το πέρασμα του χρόνου αναμένεται περεταίρω επιδείνωση του προβλήματος ως αποτέλεσμα της πληθυσμιακής αύξησης, του υψηλότερου βιοτικού επιπέδου και της κλιματικής αλλαγής.

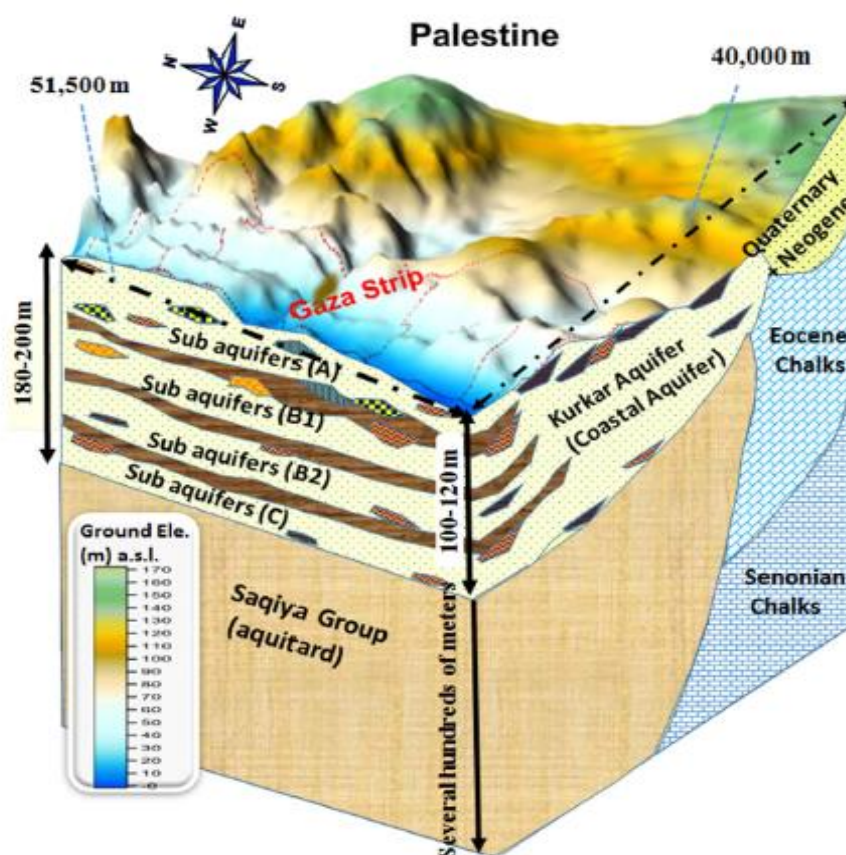
Ο παράκτιος υδροφορέας της Γάζας, ο οποίος καλύπτει τις υδατικές ανάγκες της περιοχής, αποτελεί τμήμα ενός μεγαλύτερου τοπικού υδροφορέα που εκτείνεται πέρα από τα γεωγραφικά σύνορα της Λωρίδας της Γάζας κατά μήκος της ακτογραμμής με τη Μεσόγειο θάλασσα έως τους πρόποδες του όρους Carmel στα νότια και τη χερσόνησο του Σινά (Αίγυπτος) στα βόρεια (Zilberbrand et al., 2001). Ο υδροφορέας έχει πλάτος 10-15km και το πάχος του ποικίλει από 0m στην ενδοχώρα έως 200m στην ακτή. Πρόκειται για έναν ρηχό φρεάτιο (ελεύθερο) υδροφορέα με φυσική κλίση και ροή προς τη θάλασσα.



Σχήμα 14 Όλοι οι τύποι γεωτρήσεων που λειτουργούν στην Λωρίδα της Γάζας (Πηγή: Madhat Farouk Abu-alnaeem et al., 2018).

Οι γεωολογικοί σχηματισμοί που συγκροτούν τον υδροφορέα είναι ως επί το πλείστον Πλειστοκαινικές αποθέσεις με την ονομασία «σχηματισμός Kurkar» (Σχήμα 15). Ο σχηματισμός Kurkar περιλαμβάνει ασβεστολιθικούς και ιλυώδεις ψαμμίτες, ιλύς, αργίλους, χαλαρές άμμους και κροκαλοπαγή (Vengosh and Keren, 1996). Κοντά στην ακτή οι άργιλοι εκτείνονται περίπου 2-5 km προς την ενδοχώρα, με αποτέλεσμα να διαχωρίζουν τον υδροφορέα σε τρεις ή τέσσερις υπο-υδροφορείς, αναλόγως την τοποθεσία. Οι υπο-υδροφορείς που σχηματίζονται αναφέρονται ως A, B1, B2 και C.

Το πάχος του σχηματισμού Kurkar στα νότια, πλησίον της ακτής υπολογίζεται στα 100-120m, ενώ βορειότερα κοντά στην πόλη της Γάζας αγγίζει τα 180- 200m (Vengosh et al., 2005; Zilberbrand et al., 2001). Κατά μήκος των βόρειων και ανατολικών συνόρων της Γάζας, το πάχος του σχηματισμού που είναι κορεσμένο σε νερό είναι περίπου 60-70m, ενώ στα νότια κοντά στην πόλη Rafah είναι μόλις μερικά μέτρα.



Σχήμα 15 Στρωματογραφία του παράκτιου υδροφορέα της Γάζας (Πηγή: Madhat Farouk Abu-alnaeem et al., 2018)

Ως βάση του υδροφορέα λειτουργεί ένα παχύ στρώμα από μάργες, πηλίτες και σχιστόλιθους με διεύθυνση κλίσης προς τη θάλασσα. Η ακολουθία αυτή ονομάζεται «σχηματισμός Sqiya» και έχει ηλικία Μειόκαινου- Πλειόκαινου. Σε απόσταση 10-15km από την ακτή ο σχηματισμός στενεύει μέχρι που χάνεται κι ο υδροφορέας εδράζεται απευθείας πάνω στους Ηωκαινικούς ασβεστόλιθους.

2.2.4 ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Λωρίδας της Γάζας από τους Madhat Farouk Abu-alnaeem et al. (2017) με σκοπό την αξιολόγηση της υδροχημικής κατάστασης του παράκτιου υδροφορέα της περιοχής διαπίστωσε το πρόβλημα της ποιοτικής υποβάθμισης του υδροφορέα, λόγω της υφαλμύρισης και της νιτρορύπανσης. Ως κύριοι υπεύθυνοι για τα φαινόμενα υφαλμύρισης στην περιοχή παρουσιάζονται η θαλάσσια διείσδυση κατά μήκος της ακτογραμμής της Λωρίδας της Γάζας και οι κώνοι πτώσης που έχουν δημιουργηθεί εντός της ενδοχώρας, λόγω της υπεράντλησης και πληρώνονται με θαλασσινό νερό. Σύμφωνα με την έρευνα τόσο τα υψηλότερα, όσο και τα χαμηλότερα επίπεδα υφαλμύρισης καταγράφονται στα βόρεια, αντανakλώντας την ευαισθησία της περιοχής απέναντι στις ανθρώπινες δραστηριότητες, αλλά και στους φυσικούς παράγοντες. Αντίστοιχα, η μεγάλη περιεκτικότητα νιτρικών ανιόντων, η οποία είναι εντονότερη στο βόρειο τμήμα της Λωρίδας της Γάζας, αποδίδεται κυρίως στην διάθεση λυμάτων και τη γεωργική δραστηριότητα.

Επιπλέον παράγοντες που φαίνεται να δυσχεραίνουν την κατάσταση είναι η απουσία αποχετευτικού συστήματος, η χρήση βόθρων και η άναρχη εξάπλωση των πόλεων και των βιομηχανιών. Ακόμα, οι πηλώδεις αποθέσεις που είναι πλούσιες σε ανθρακικό ασβέστιο, γύψο και αλίτη είναι πολύ πιθανό να αποτελούν πηγή υφαλμύρισης, ενώ οι υψηλές περιεκτικότητες θειικών ανιόντων στο υπόγειο νερό οφείλονται σε διάλυση της γύψου (Vengosh et al., 2005).

3. ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η έννοια της τρωτότητας ή ρυπαντικής επιδεκτικότητας ή ευαλωσιμότητας του υπόγειου νερού ορίζει την επιδεκτικότητα ή ευαισθησία του ενάντια στους εξωτερικούς ρύπους. Βασική παραδοχή αποτελεί το γεγονός ότι το φυσικό περιβάλλον μπορεί να προστατεύσει σε κάποιο βαθμό το υπόγειο νερό με αποτέλεσμα κάποιες περιοχές να χαρακτηρίζονται πιο ευάλωτες από κάποιες άλλες.

Την έννοια αυτή εισήγαγε για πρώτη φορά ο Margat (1968) με σκοπό να εκφράσει τον βαθμό προστασίας που προσφέρει το φυσικό περιβάλλον στο υπόγειο νερό ενάντια στη ρύπανση. Βασικές παράμετροι πάνω στις οποίες στηρίχτηκε είναι το βάθος του υπόγειου νερού, η διαπερατότητα, η ταχύτητα του υπόγειου νερού και η σχέση υπόγειων και επιφανειακών υδάτων (Περδικάκη, 2014). Έκτοτε, η τρωτότητα προσδιορίζεται με διάφορους τρόπους.

Σημαντικό είναι η έννοια της τρωτότητας να μην συγχέεται με αυτή της ευαισθησίας του υδροφορέα. Με τον όρο ευαισθησία του υδροφορέα αναφερόμαστε στην ευκολία με την οποία ένας ρύπος μεταναστεύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφορέα και καθορίζεται από τις γεωλογικές συνθήκες και την κορεσμένη και ακόρεστη ζώνη (Βουδούρης, 2009). Αντίθετα, η τρωτότητα αφορά στην ευκολία με την οποία ένας ρύπος, που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μεταβαίνει στον υδροφορέα κάτω από ορισμένες πρακτικές διαχείρισης των χρήσεων γης σε μια περιοχή, με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του ρύπου και της ευαισθησίας του υδροφορέα (Περδικάκη, 2014). Πρόκειται, ουσιαστικά, για συνάρτηση των χαρακτηριστικών του υδροφορέα, αλλά και της απόστασης από την πηγή ρύπανσης, των χαρακτηριστικών του ρύπου και λοιπών παραγόντων που μπορεί να επιδρούν στο ρυπαντικό φορτίο του συγκεκριμένου ρυπαντή (Βουδούρης, 2009).

Σύμφωνα με τον Βουδούρη (2009) η τρωτότητα διακρίνεται σε ειδική και γενική ή ιδιοτρωτότητα. Η πρώτη αναφέρεται σε συγκεκριμένο ρυπαντή ή ομάδα ρυπαντών, ενώ η δεύτερη αφορά αποκλειστικά στα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και του υπερκείμενου εδάφους και δεν εξειδικεύεται σε κάποιο ρυπαντή (Περδικάκη, 2014).

3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της τρωτότητας διακρίνονται σε στατιστικές, μεθόδους βαθμονόμησης και προσομοίωσης (Βουδούρης, 2009). Οι στατιστικές μέθοδοι κάνουν χρήση απλής περιγραφικής στατιστικής των συγκεντρώσεων διαφόρων επιλεγμένων ρυπαντών και ανάλυση συσχέτισης (Βουδούρης, 2009). Οι μέθοδοι βαθμονόμησης περιλαμβάνουν μεθόδους δεικτών και υβριδικές μεθόδους, που συνδυάζουν μεθόδους δεικτών με στατιστικές μεθόδους (Τσαρούχα, 2011). Τέλος, οι

μέθοδοι προσομοίωσης επιλύουν αριθμητικά τις εξισώσεις κίνησης του υπόγειου νερού. Αρκετά δημοφιλείς θεωρούνται οι κώδικες MADFLOW και MT3D (Βουδούρης, 2009).

3.2.1 ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

Στις κυριότερες τεχνικές και μέθοδοι βαθμονόμησης συγκαταλέγονται οι εξής: DRASTIC (Aller, et al., 1987), GOD (Foster., 1987), SEEPAGE (Moore & John, 1990), AVI (Van Stempvoort, Evert, & Wassenaar, 1992), SINTACS (Civita, 1994), ISIS (Civita & Regibus, 1995) και DASTI (Kabbour, Zouhri, Mania, & Colbeaux, 2006; Βουδούρης, 2009).

3.2.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ GALDIT

Η μέθοδος GLADIT αναπτύχθηκε από τους Chachadi και Lobo-Ferreira το 2005. Αποτελεί μια μέθοδο βαθμονόμησης κατάλληλη για την εκτίμησης της τρωτότητας ενός παράκτιου υδροφόρου, ως προς την υφαλμύριση και στηρίζεται στα εγγενή χαρακτηριστικά του υδροφόρου που μένουν σχεδόν σταθερά και ανεπηρέαστα από την ανθρώπινη δραστηριότητα (Περδικάκη, 2014).

Το ακρωνύμιο GALDIT προκύπτει από την αγγλική επεξήγηση των 6 παραμέτρων που αξιολογούνται κατά την εφαρμογή της μεθόδου (Τσαρούχα, 2011). Κάθε παράμετρος έχει μια καθορισμένη βαρύτητα, που εκφράζει την σημαντικότητα της καθεμίας στη θαλάσσια διείσδυση. Το εύρος της βαρύτητας κυμαίνεται από 1 έως 4, με τη μεγαλύτερη τιμή να χαρακτηρίζει τις πιο κρίσιμες παραμέτρους. Οι παράμετροι καθώς και η βαρύτητά τους, είναι οι εξής:

- Ο τύπος του υδροφορέα (Groundwater occurrence, Aquifer type): Βαρύτητα 1
- Η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου (Aquifer hydraulic conductivity): Βαρύτητα 3
- Το υδραυλικό φορτίο (Height of groundwater Level above sea level): Βαρύτητα 4
- Η απόσταση από την ακτή (Distance from the shore): Βαρύτητα 4
- Η υφιστάμενη κατάσταση της υφαλμύρισης (Impact of existing status of seawater intrusion): Βαρύτητα 1
- Το πάχος του υδροφόρου (Thickness of aquifer being mapped): Βαρύτητα 2

Ο δείκτης GALDIT υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Δείκτης GALDIT} = \frac{\sum_{i=1}^6 (w_i \times r_i)}{\sum_{i=1}^6 w_i} \quad (3.1)$$

όπου: w_i : η βαρύτητα της καθεμιάς παραμέτρου και

r_i : η βαθμονόμηση της παραμέτρου σε συγκεκριμένα σημεία (θέση γεωτρήσεων) (Βουδούρης, 2009).

3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ GALDIT ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ Α. ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ

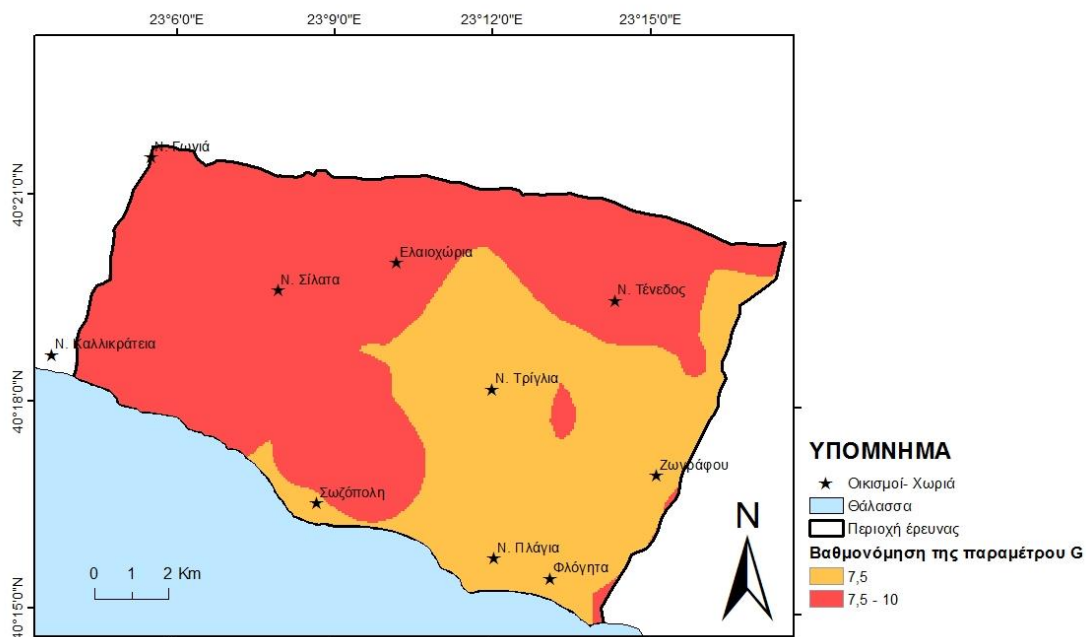
3.3.1 G- Ο ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

Οι υδροφορείς που σχηματίζονται μέσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς, με βάση την πιεζομετρία τους, διακρίνονται σε ελεύθερους, υπό πίεση, υπό μερική πίεση και σε αυτούς που περιορίζονται από ένα ή περισσότερα όρια (Τσαρούχα, 2011). Ο τύπος του υδροφορέα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της τρωτότητας, καθώς η έκταση της θαλάσσιας διείσδυσης εξαρτάται από αυτόν. Επομένως, γίνεται αντιληπτό πως ένας ελεύθερος υδροφορέας κάτω από φυσικές συνθήκες είναι περισσότερο ευάλωτος στη θαλάσσια διείσδυση σε σχέση με έναν υπό πίεση υδροφορέα. Ωστόσο, παρόλο που τα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα προστατεύονται από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού, χάρη στο υπερκείμενο αδιαπέρατο στρώμα, ο μεγαλύτερος κίνδυνος πτώσης στάθμης που δημιουργείται κατά την άντληση ενός υπό πίεση υδροφορέα, τον καθιστά πιο ευάλωτο από τους υπόλοιπους απέναντι στη θαλάσσια διείσδυση (Πεντζίδου, Α., 2019). Έτσι, η βαθμονόμηση της παραμέτρου G διαμορφώνεται ως εξής: η μεγαλύτερη τιμή (10) αντιστοιχεί στους υπό πίεση υδροφορείς και η μικρότερη (2,5) στους υδροφορείς με όρια, όπως παρατηρείται στον Πίνακα 2.

Στην περιοχή έρευνας με βάση τη βαθμονόμηση διακρίνονται δύο διαφορετικοί τύποι υδροφορέων. Ο πρώτος είναι ένας υπό πίεση υδροφορέας (βαθμονόμηση 10) και καλύπτει κατά προσέγγιση την περιοχή Δ- ΒΔ της Σωζόπολης, ενώ στα βόρεια της περιοχής έρευνας εκτείνεται μέχρι την περιοχή της Νέας Τένεδου (Σχήμα 16). Πρόκειται για έναν πορώδη υδροφορέα που αποτελείται από αργίλους, άμμους, ψηφίδες και μάργες. Ο δεύτερος υδροφορέας είναι ελεύθερος (βαθμονόμηση 7,5), καταλαμβάνει μικρότερη έκταση και αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα άμμων, μαργών και αργίλων.

Πίνακας 2 Βαθμονόμηση της παραμέτρου G.

ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ (G)		
Χαρακτηρισμός	Βαθμονόμηση	Χαρακτηριστικό χρώμα
Υπό πίεση υδροφορέας	10	
Ελεύθερος υδροφορέας	7,5	
Υπό μερική πίεση υδροφορέας	5	
Υδροφορέας με όρια	2,5	



Σχήμα 16 Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου G.

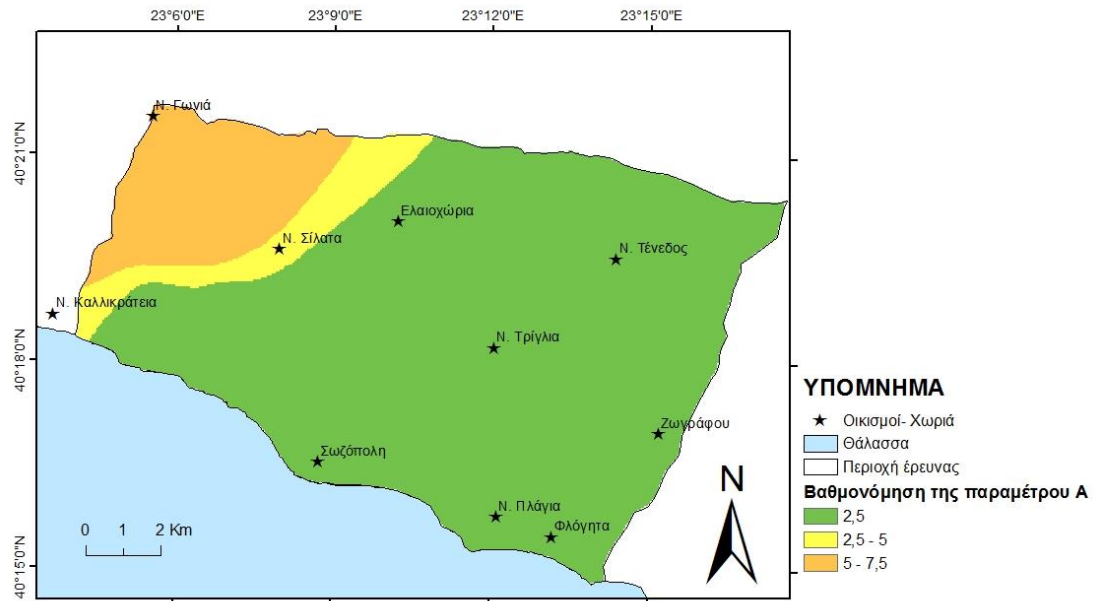
3.3.2 Α- Η ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

Η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφορέα εκφράζει το βαθμό ευκολίας με τον οποίο το νερό μπορεί να κινηθεί μέσα σ αυτόν. Η τιμή της καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του πορώδους μέσου (σχήμα, μέγεθος, διάταξη και διαστάσεις κόκκων) (Βουδούρης, 2015). Έχει διαστάσεις ταχύτητας (m/day) και επηρεάζει σημαντικά τη θαλάσσια διείσδυση, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η υδραυλική αγωγιμότητα τόσο μεγαλύτερη είναι και η κίνηση του μετώπου της υφαλμύρισης προς την ενδοχώρα (Περδικάκη, 2014). Είναι σημαντικό, ωστόσο, να λαμβάνονται υπόψη τα στρώματα αργίλου και τα παράλληλα αναχώματα προς την ακτή τα οποία λειτουργούν ως εμπόδια στη θαλάσσια διείσδυση (Βουδούρης, 2009).

Πίνακας 3 Βαθμονόμηση της παραμέτρου G.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ (Α)			
Χαρακτηρισμός		Βαθμονόμηση	Χαρακτηριστικό χρώμα
Κλάση	Διακύμανση (m/d)		
Υψηλή	>40	10	Red
Μέση	10-40	7,5	Orange
Χαμηλή	5-10	5	Yellow
Πολύ χαμηλή	<5	2,5	Green

Με βάση τη βαθμονόμηση παρατηρείται πως στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής έρευνας επικρατούν πολύ χαμηλές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας, ενώ παρατηρείται μια μικρή και σταδιακή αύξηση, που αγγίζει τις μέσες τιμές γύρω από την περιοχή της Νέας Γωνιάς (Σχήμα 17).



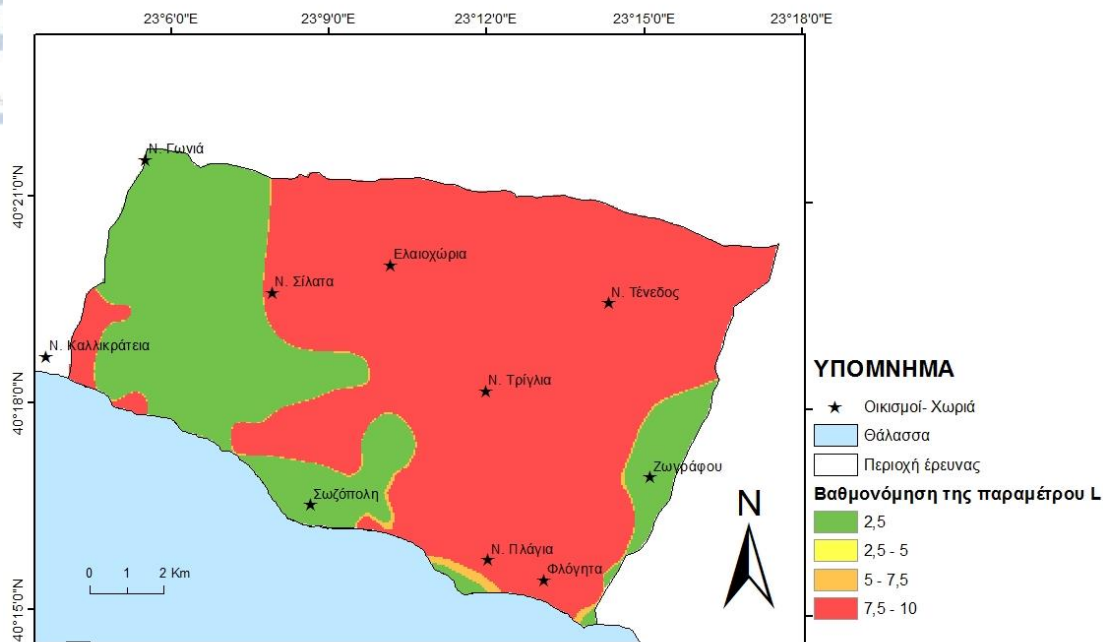
Σχήμα 17 Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου Α.

3.3.3 L- ΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Το υδραυλικό φορτίο του υπόγειου νερού πάνω από το επίπεδο της θάλασσας είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες που καθορίζουν την έκταση της θαλάσσιας διείσδυσης, αφού καθορίζει την ικανότητα της υδραυλικής πίεσης να απωθήσει το μέτωπο της υφαλμύρισης προς τα πίσω. Στην περίπτωση ενός ελεύθερου υδροφορέα το υδραυλικό φορτίο αντιστοιχεί στο απόλυτο υψόμετρο της στάθμης του υπόγειου νερού σε μια γεώτρηση, ενώ στους υπό πίεση υδροφορείς ταυτίζεται με το απόλυτο υψόμετρο που θα έφτανε το νερό, στην περίπτωση που ο σωλήνας της γεώτρησης επεκτεινόταν πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (Βουδούρης, 2015). Τέλος, με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας η ποσότητα του γλυκού νερού που εκρέει προς τη θάλασσα μειώνεται με συνέπεια την αύξηση του μήκους του ποδιού της διεπιφάνειας (Περδικάκη, 2014).

Πίνακας 4 Βαθμονόμηση της παραμέτρου L.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (L)			
Χαρακτηρισμός		Βαθμονόμηση	Χαρακτηριστικό Χρώμα
Κλάση	Διακύμανση (m)		
Υψηλή	<1	10	Red
Μέση	1,0-1,5	7,5	Orange
Χαμηλή	1,5-2,0	5	Yellow
Πολύ χαμηλή	>2,0	2,5	Green



Σχήμα 18 Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου L.

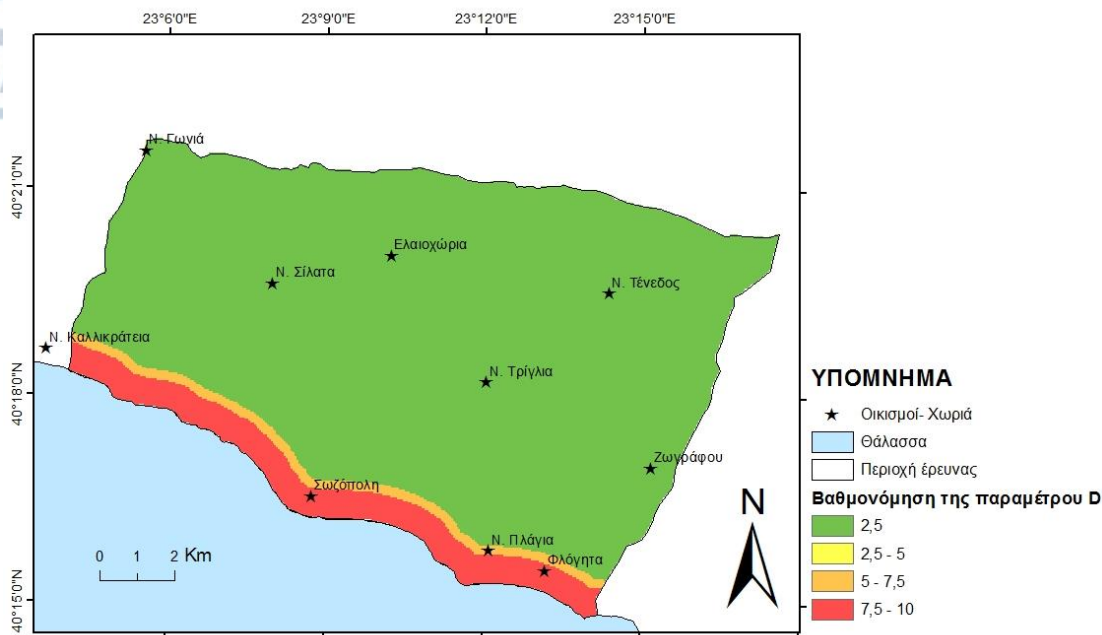
Από τον παραπάνω θεματικό βαθμονομημένο χάρτη εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι τιμές του υδραυλικού φορτίου δεν αυξάνονται παράλληλα με το υψόμετρο. Ειδικότερα, στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας καταγράφονται μικρές τιμές (βαθμονόμηση 7,5-10), ενώ δυτικά, στο τμήμα μεταξύ των περιοχών Νέας Καλλικράτειας, Νέας Γωνιάς και Νέων Σιλάτων, οι τιμές του υδραυλικού φορτίου υπερβαίνουν τα 2m (βαθμονόμηση 2,5).

3.3.4 D- Η ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΗ

Η απόσταση από την ακτή χρησιμοποιείται ως κριτήριο στην αξιολόγηση της θαλάσσιας διείσδυσης, καθώς η επίδραση της θάλασσας μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από την ακτή και κινούμαστε προς την ενδοχώρα (Τσαρούχα, Φ., 2011). Η μεγαλύτερη επίδραση της θάλασσας σημειώνεται στις περιοχές πλησίον της ακτής (Βουδούρης, 2009).

Πίνακας 5 Βαθμονόμηση της παραμέτρου D.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΗ (D)			
Χαρακτηρισμός		Βαθμονόμηση	Χαρακτηριστικό Χρώμα
Κλάση	Διακύμανση (m)		
Υψηλή	500	10	
Μέση	500-750	7,5	
Χαμηλή	750-1000	5	
Πολύ χαμηλή	>1000	2,5	



Σχήμα 19 Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου D.

Στον θεματικό χάρτη της παραμέτρου D είναι ευδιάκριτη η ομοιομορφία που επικρατεί στον βαθμό επίδρασης της θαλάσσιας διείσδυσης σε σχέση με την απόσταση από την ακτή. Συνεπώς, παράλληλα στην ακτογραμμή και σε πολύ κοντινή απόσταση από τη θάλασσα η επίδραση της θαλάσσιας διείσδυσης είναι υψηλή, ενώ προς την ενδοχώρα η επίδραση μειώνεται και γίνεται πολύ χαμηλή. Μεταξύ των υψηλών και των πολύ χαμηλών τιμών διακρίνεται μια μεταβατική ζώνη, μικρού πάχους με μεσαίες τιμές (Σχήμα 19).

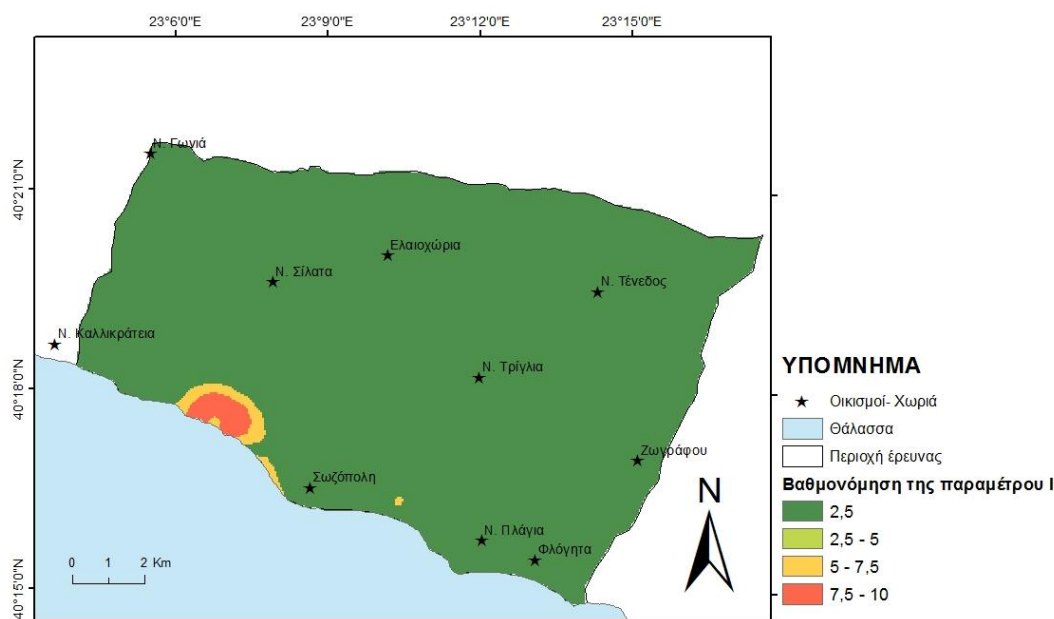
3.3.5 I- Η ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΣΗΣ

Για την εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης της υφαλμύρισης σε μια περιοχή ο χρησιμοποιείται ο συντελεστής Revelle (Chachandi και Lobo-Ferreira, 2005), που εκφράζει τον λόγο των χλωριόντων προς τα όξινα ανθρακικά ($Cl^- / [HCO_3^{-1} + CO_3^{2-}]$), με μονάδα μέτρησης το meq/L. Η τρωτότητα του υδροφορέα στην υφαλμύριση μεταβάλλεται ανάλογα με τον συντελεστή, καθώς τα χλωριόντα αυξάνονται στο θαλασσινό νερό, ενώ τα όξινα ανθρακικά αυξάνονται στο γλυκό νερό (Πεντζίδου, 2019).

Για τη δημιουργία του θεματικού χάρτη για τον συντελεστή Revelle χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα δεδομένα από προηγούμενη, σχετική έρευνα που έγινε στην περιοχή έρευνας το 2016 από τις Ντόνα Μ.Μ. και Γαβριηλίδου Ε.

Πίνακας 6 Βαθμονόμηση της παραμέτρου I.

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΣΗΣ (I)			
Χαρακτηρισμός		Βαθμονόμηση	Χαρακτηριστικό Χρώμα
Κλάση	Διακύμανση (meq/L)		
Υψηλή	>2	10	
Μέση	1,5-2,0	7,5	
Χαμηλή	1-1,5	5	
Πολύ χαμηλή	<1	2,5	



Σχήμα 20 Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου I.

Στον παραπάνω θεματικό χάρτη της παραμέτρου I επικρατούν πολύ χαμηλές τιμές υφιστάμενης υφαλμύρισης, ενώ μέσες και υψηλές τιμές εμφανίζονται μόνο τοπικά στο παράκτιο τμήμα ανάμεσα από τις περιοχές Νέα Καλλικράτεια και Σωζόπολη (Σχήμα 20).

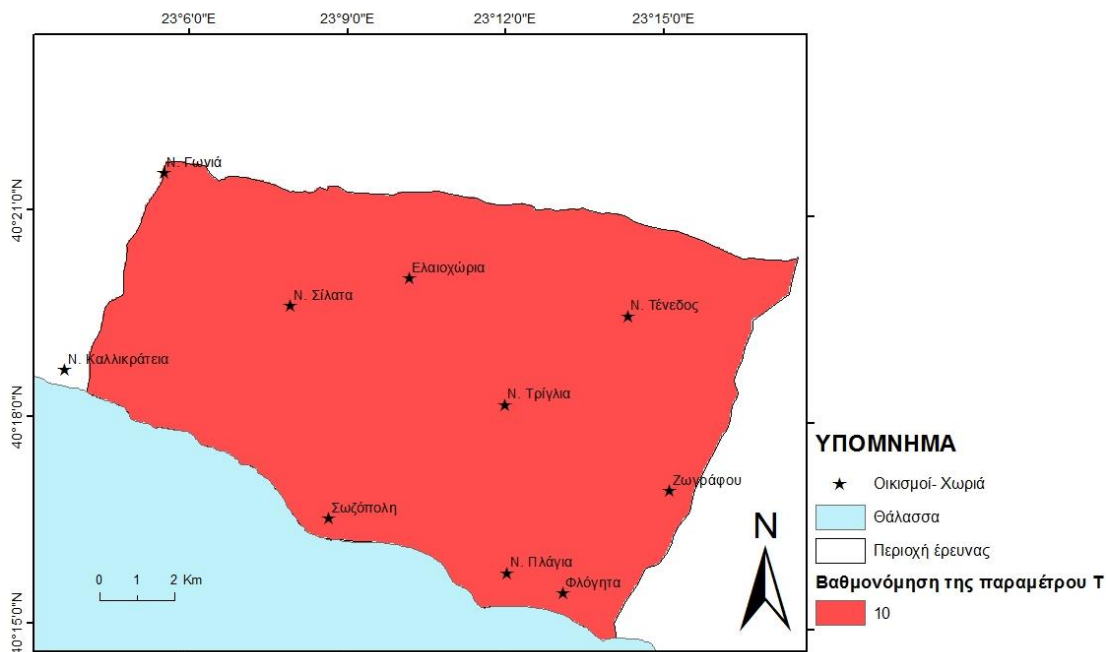
3.3.6 T- ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ

Το πάχος του υδροφορέα διαδραματίζει καταλυτικό ρόλο στον καθορισμό της έκτασης και του μεγέθους της υφαλμύρισης, καθώς τα δύο μεγέθη μεταβάλλονται ανάλογα. Έτσι, όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του υδροφορέα, τόσο μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει η θαλάσσια διείσδυση (Βουδούρης, 2009).

Πίνακας 7 Βαθμονόμηση της παραμέτρου T.

ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ			
Χαρακτηρισμός		Βαθμονόμηση	Χαρακτηριστικό Χρώμα
Κλάση	Διακύμανση (m)		
Υψηλή	>10	10	
Μέση	7,5-10	7,5	
Χαμηλή	5-7,5	5	
Πολύ χαμηλή	<5	2,5	

Στον θεματικό χάρτη της παραμέτρου T παρατηρείται ότι όλη η περιοχή καλύπτεται με κόκκινο χρώμα γεγονός που δηλώνει ότι το πάχος του υδροφορέα της περιοχής έρευνας είναι υψηλό, δηλαδή μεγαλύτερο από 10m (Σχήμα 21).



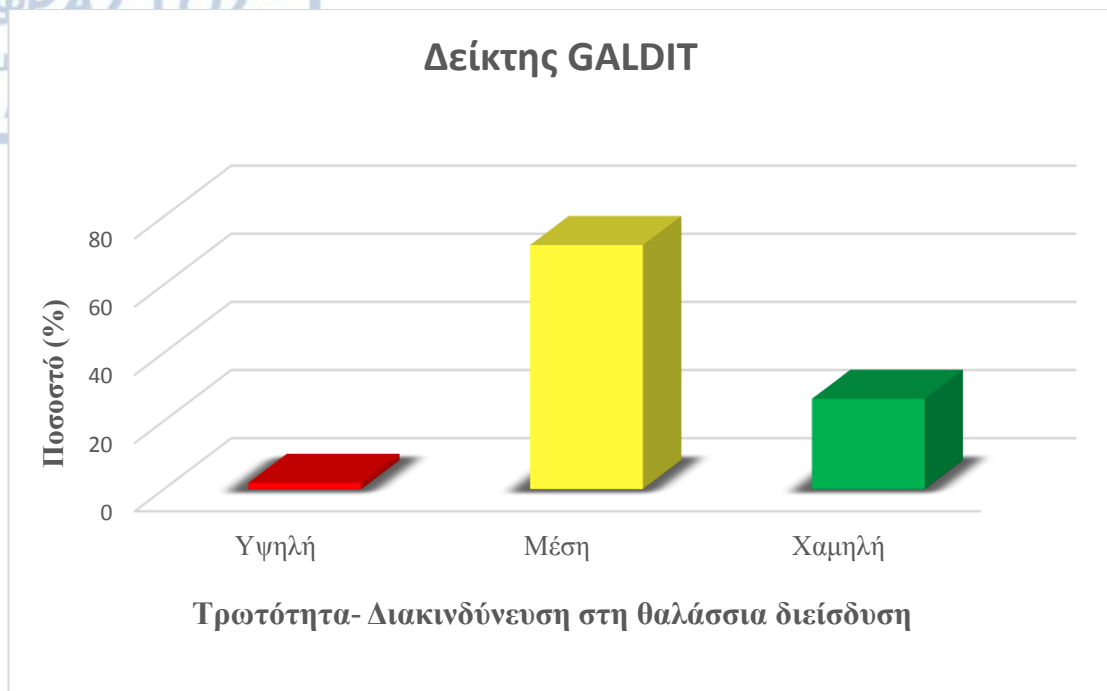
Σχήμα 21 Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου T.

3.3.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ GALDIT

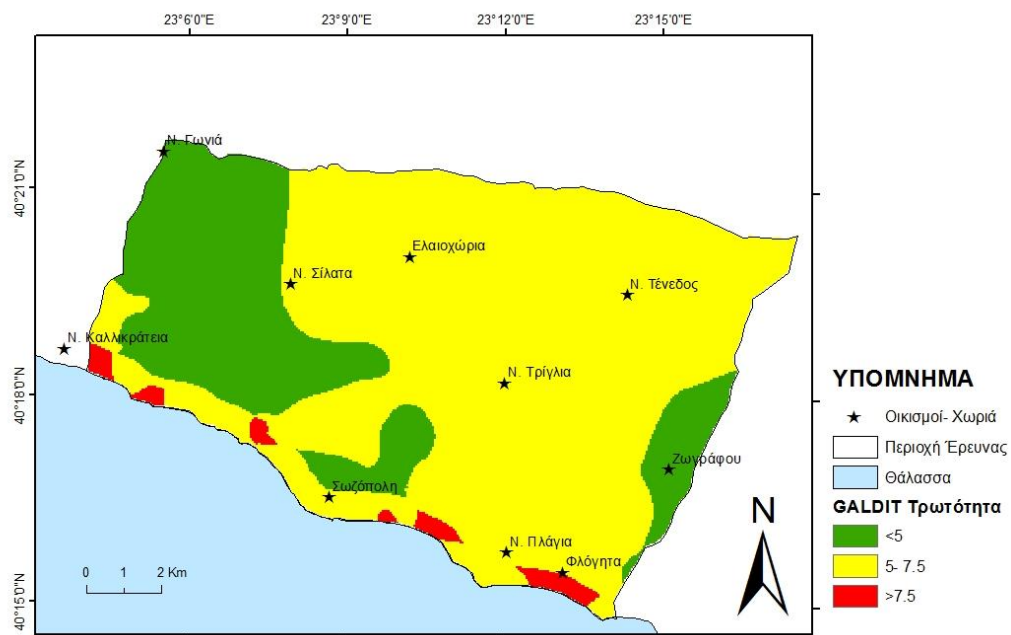
Ο υπολογισμός του τελικού χάρτη κατανομής του δείκτη τρωτότητας GALDIT στον παράκτιο υδροφορέα της περιοχής Καλλικράτειας-Φλογητών Χαλκιδικής πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη σχέση 3.1 σε περιβάλλον ArcGis. Με βάση τον τελικό χάρτη η ζώνη υψηλής τρωτότητας εμφανίζεται σε κάποια διάσπαρτα τμήματα κατά μήκος της ακτογραμμής συνολικής έκτασης 2,77 km². Η ζώνη μέσης τρωτότητας-διακινδύνευσης, σύμφωνα με το σχήμα 23, εκτείνεται από την ακτή μέχρι το εσωτερικό, με το μήκος της να κυμαίνεται από 2 έως 11 km, ενώ καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής έρευνας, με συνολική επιφάνεια 107, 44 km². Τέλος, το υπόλοιπο τμήμα της περιοχής έρευνας, με έκταση 39,79 km², χαρακτηρίζεται από χαμηλή τρωτότητα- διακινδύνευση.

Πίνακας 8 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου GALDIT.

Τιμή Δείκτη GALDIT	Τρωτότητα- Διακινδύνευση	Έκταση (Km ²)	Ποσοστό(%)
≥7,5	Υψηλή	2,77	1,85
5- 7,5	Μέση	107,44	71,63
<5	Χαμηλή	39,79	26,52
Σύνολο		150	100



Σχήμα 22 Ραβδόγραμμα με την έκταση (%) που καταλαμβάνουν οι διαφορετικές ζώνες τρωτότητας του δείκτη GALDIT.



Σχήμα 23 Χάρτης τρωτότητας του παράκτιου υδροφορέα της περιοχής του Αν. Θερμαϊκού στη διείσδυση του θαλασσινού νερού με τη μέθοδο GALDIT.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι:

1. Στην περιοχή του Αν. Θερμαϊκού εντοπίζεται, εντός των νεογενών αποθέσεων, ένα πολλαπλό σύστημα υδροφορέων το οποίο απαρτίζεται από έναν ελεύθερο και επάλληλους υπό πίεση υδροφορείς. Το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή είναι παραθαλάσσιο Μεσογειακό με ήπιους- υγρούς χειμώνες και δροσερά- ξηρά καλοκαίρια. Το μετεωρικό νερό που διηθείται συνιστά την κύρια πηγή τροφοδοσίας του υδροφόρου συστήματος. Στην περιοχή, όπου αναπτύσσεται έντονη γεωργική δραστηριότητα και η οποία τους θερινούς μήνες αποτελεί τουριστικό προορισμό, βασική πηγή νερού για την κάλυψη των υδατικών αναγκών είναι το υπόγειο νερό. Ωστόσο, η ποσοτική και ποιοτική κατάσταση του υδροφορέα παρουσιάζει επιδείνωση, κυρίως λόγω της αναποτελεσματικής διαχείρισης των υδατικών πόρων και της ανεξέλεγκτης χρήσης λιπασμάτων, αλλά και λόγω της κλιματικής αλλαγής σε μικρότερο βαθμό, με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα ποιοτικής και ποσοτικής υποβάθμισης. Συγκεκριμένα, φαινόμενα όπως η υφαλμύριση και η νιτρορύπανση απειλούν σοβαρά την ποιοτική κατάσταση του υδροφορέα και συνεπώς τη βιωσιμότητα της υδροδότησης της περιοχής.
2. Για την εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα Καλλικράτειας- Φλογητών στη θαλάσσια διείδυση χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης GALDIT και κατασκευάστηκαν 6 θεματικοί χάρτες κατανομής των παραμέτρων της μεθόδου. Έπειτα, από την αλληλοεπικάλυψη των παραπάνω χαρτών, συναρτήσε των συντελεστών βαρύτητας της καθεμιάς, προέκυψε ο τελικός χάρτης τρωτότητας- διακινδύνευσης του παράκτιου υδροφορέα απέναντι στη θαλάσσια διείδυση. Σύμφωνα με τον χάρτη αυτό, το 1,85% της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζεται από υψηλή τρωτότητα, το 71,63% είναι μέτρια τρωτό και το 26,52% της περιοχής αντιστοιχεί στη ζώνη χαμηλής τρωτότητας. Η ζώνη υψηλής τρωτότητας βρίσκεται πλησίον της ακτογραμμής, ενώ η περιοχή μέσης διακινδύνευσης καταλαμβάνει μεγάλο μέρος της περιοχής, από την ακτογραμμή προς ενδοχώρα. Τέλος, η ζώνη χαμηλής τρωτότητας βρίσκεται διάσπαρτη εντός της ενδοχώρας.
3. Ο παράκτιος υδροφορέας της Γάζας, ο οποίος καλύπτει τις υδατικές ανάγκες της περιοχής, βρίσκεται μέσα σε Πλειστοκαινικές αποθέσεις και αποτελεί τμήμα ενός μεγαλύτερου τοπικού υδροφορέα που εκτείνεται πέρα από τα γεωγραφικά σύνορα της Λωρίδας της Γάζας. Τα στρώματα αργίλων που υπάρχουν κοντά στην ακτή χωρίζουν το παράκτιο υδροφόρο σύστημα σε έναν ελεύθερο υδροφορέα και σε τρεις έως τέσσερις επάλληλους υπό πίεση υδροφορείς αναλόγως την τοποθεσία. Το κλίμα είναι χαρακτηριστικό ημι-άνυδρο Μεσογειακό με ήπιους χειμώνες και ζεστά- ξηρά καλοκαίρια. Συνεπώς, οι εκτεταμένες περίοδοι ξηρασίας και οι περιορισμένες βροχοπτώσεις έχουν οδηγήσει στη μείωση των αποθεμάτων του υδροφορέα. Ακόμα, το γεγονός ότι η Λωρίδα της Γάζας είναι μια εξαιρετικά ποικνοκατοικιμένη περιοχή, καθώς ο Παλαιστινιακό πληθυσμός είναι ένας από τους πιο ραγδαία αυξανόμενους

στον πλανήτη, καθιστά ολοένα και περισσότερες τις υδατικές ανάγκες και κατά συνέπεια εντονότερο το πρόβλημα της λειψυδρίας. Η υπεράντληση, η άναρχη επέκταση των αστικών περιοχών, η έλλειψη ικανοποιητικού αποχετευτικού συστήματος, η διάθεση λυμάτων και η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων έχουν υποβαθμίσει σημαντικά την ποιότητα του υδροφορέα, λόγω της υφαλμύρισης και της νιτρορύπανσης.

4. Από τη σύγκριση των δεδομένων για τις δύο περιοχές έρευνας προκύπτει ότι και τα δύο παράκτια υδροφόρα συστήματα αντιμετωπίζουν εκτεταμένο πρόβλημα θαλάσσιας διείσδυσης και νιτρορύπανσης, ωστόσο οι κυρίαρχοι παράγοντες που προκαλούν την ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση σε κάθε περιοχή διαφέρουν. Ειδικότερα, στην περίπτωση της περιοχής του Αν. Θερμαϊκού, η υπεράντληση για την κάλυψη των αυξημένων υδρευτικών αναγκών κατά την τουριστική περίοδο και η υπερβολική χρήση λιπασμάτων (ανθρωπογενή αίτια) εμφανίζονται ως οι κύριες αιτίες του προβλήματος. Αντίθετα, στην περιοχή της Λωρίδας της Γάζας το ζήτημα της λειψυδρίας και της ποιοτικής υποβάθμισης του υδροφορέα αποδίδεται τόσο σε φυσικούς παράγοντες, όσο και στον υπερπληθυσμό και τις τεράστιες ανάγκες σε πόσιμο νερό που προκύπτουν εξαιτίας αυτού.
5. Είτε όμως την μεγαλύτερη ευθύνη την έχει ο άνθρωπος, είτε είναι φυσικοί οι παράγοντες που καθιστούν τους παράκτιους υδροφορείς ευάλωτους στη θαλάσσια διείσδυση τα μέτρα ορθολογικής διαχείρισης που πρέπει να εφαρμοστούν είναι παρόμοια. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν:
 - Τεχνητό εμπλουτισμό των παράκτιων υδροφορέων, ώστε να διατηρηθεί το υδραυλικό φορτίο όσο το δυνατόν πιο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας.
 - Μείωση των αντλούμενων παροχών στις υδρογεωτρήσεις όπου η υδραυλική στάθμη βρίσκεται χαμηλότερα από το επίπεδο της θάλασσας.
 - Μείωση των αντλούμενων ποσοτήτων, ανακατανομή των γεωτρήσεων και απαγόρευση κατασκευής νέων.
 - Συστηματική και συνεχής καταγραφή της στάθμης, της ποιότητας των υπόγειων νερών (ηλεκτρική αγωγιμότητα, θερμοκρασία, ιόντα χλωρίου και νατρίου, ασβέστιο κ.ά.) και του όγκου του αντλούμενου νερού στους παράκτιους υδροφορείς για τον καθορισμό της κρίσιμης παροχής και της θαλάσσιας διείσδυσης. Η καταγραφή πρέπει να αρχίζει πριν την εμφάνιση της θαλάσσιας διείσδυσης, ώστε να αποφευχθεί η υφαλμύριση του αντλούμενου νερού.
- Η εφαρμογή των παραπάνω μέτρων είναι ζωτικής σημασίας για την ευημερία των παράκτιων υδροφορέων, οι οποίοι έχουν πολύ σημαντικό ρόλο στην οικονομική ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών. Αν δεν υπάρξει μέριμνα τότε οι επιπτώσεις βαραίνουν πρωτίστως τον άνθρωπο, καθώς η ανάμειξη των υδροφορέων με θαλασσινό νερό σε ποσοστό 2% καθιστά το νερό ακατάλληλο τόσο για ύδρευση, όσο και για άρδευση, αφού τα ιόντα που υπάρχουν στο θαλασσινό νερό μειώνουν την υδροπερατότητα και τη γονιμότητα του εδάφους.

Ελληνική

- Βουδούρης, Κ. (2009). *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος- Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλας.
- Βουδούρης, Κ. (2015). *Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειων νερών*. Θεσσαλονίκη: Τζιόλας.
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε). *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50.000, Φύλλα Βασιλικά και Πολύγυρος*.
- Ιορδάνου, Κ., Ζαπρίδης, Π., Μιχαλόπουλος, Χ., Γουνανά, Μ. 2015. *Σχέδιο δράσης αιεφόρου ενέργειας Δήμου Νέας Προποντίδας*. Epsilon Development.
- Καζάκης, Ν. 2013. *Εκτίμηση της διακινδύνευσης της εξωτερικής ρύπανσης των υπόγειων νερών: Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούντα*. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μουντράκης, Δ. (1985). *Γεωλογία της Ελλάδος*. University Studio Press.
- Ντώνα, Μ., 2017. *Διερεύνηση της υφαλμύρισης του υπόγειου νερού στο παράκτιο τμήμα της Σωζόπολης στη Βόρεια Ελλάδα*. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ντώνα, Μ., Γαβριηλίδου, Ε., Καζάκης, Ν., Βουδούρης, Κ. 2017. *Ποιότητα του υπόγειου νερού στον παράκτιο υδροφορέα Καλλικράτειας-Φλογητών (Χαλκιδική)*. 6^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη.
- Ντώνα, Μ., Γαβριηλίδου, Ε., Καζάκης, Ν., Βουδούρης, Κ. 2018. *Διερεύνηση της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης του παράκτιου υδροφορέα Καλλικράτειας-Φλογητών Χαλκιδικής, Ελλάδα*.
- Ξεφτέρης, Α. 2000. *Διερεύνηση της ποιοτικής υποβάθμισης των υπογείων νερών στον κάμπο της Καλαμαριάς με έμφαση στη νιτρορύπανση*. Διδακτορική Διατριβή, Τμ. Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ
- Πεντζίδου, Α., 2019. *Εκτίμηση της τρωτότητας στην διείσδυση του θαλασσινού νερού στο παράκτιο τμήμα της Επανομής*. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- .Περδικάκη, Μ., 2014. *Εκτίμηση ρυπαντικής επικινδυνότητας παράκτιων υδροφορέων με τη χρήση του πολυκριτηριακού δείκτη GALDIT*. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Τσαρούχα, Φ. (2011). *Εκτίμηση τρωτότητας παράκτιων υπόγειων υδροφορέων στη θαλάσσια διείσδυση. Εφαρμογή στο Δέλτα του Νέστου*. Πτυχιακή Εργασία, Σχολή Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Ξενόγλωσση

- Ahmad H. Helles, Saied T. Al Aklouk and Jehad S. Al Dasht 2010. *The Situation of the Gaza Strip Coastal Aquifer & the Main Challenges*. Master of Water and Environment Science, Course of Applied Hydrogeology. National Institute for Environment and Development, Al-Azhar University – Gaza.

- European Environment Agency (EEA) 2014. *Horizon 2020 Mediterranean report Annex 5: Palestine*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014.
- Gavriilidou, E., Ntona, M., Kazakis, N., Vargemezis, G. and Voudouris, K. 2017. *Seawater intrusion mapping in the coastal aquifer of Nea Kallikratia- Flogita area, North Greece*. Proceedings of the 11th International Hydrogeological Conference, 4-6 October 2017, Athens, Vol. 2, 221-231.
- Jayyousi, A., Srouji, F., 2009. *Future Water Needs in Palestine*. Palestine Economic Policy Research Institute (MAS).
- Kazakis N., Pavlou A., Vargemezis G., Voudouris K.S., Soulios G., Pliakas F., Tsokas G. 2016. *Seawater intrusion mapping using electrical resistivity tomography and hydrochemical data. An application in the coastal area of eastern Thermaikos Gulf, Greece*. Science of the Total Environment 543 (2016) 373–387.
- Lazarou, E., 2016. *Water in the Israeli-Palestinian conflict*. EPRS/European Parliamentary Research Service, pp. 1–8.
- Madhat Farouk Abu-alnaeema, Ismail Yusoff, Tham Fatt Ngb, Yatimah Alias, May Raksmeiy 2018. *Assessment of groundwater salinity and quality in Gaza coastal aquifer, Gaza Strip, Palestine: An integrated statistical, geostatistical and hydrogeochemical approaches study*. Science of the Total Environment 615 (2018) 972–989.
- Ministry of Planning and International Cooperation (MOPIC), 1996. *The Gaza Regional Plan*, MOPIC.
- Palestinian Central Bureau of Statistics (PCBS), 2008. *Land Use Statistics in the Palestinian Territory*, 2007, December 2008
- Palestinian Central Bureau of Statistics (PCBS), 2013. *Projected Population in the Palestinian Territory*, Establishments Report, Ramallah, Palestine. p. 54.
- Palestinian Water Authority (PWA) 2000. *Restructuring of the Water Sector in Palestine*.
- Palestinian Water Authority (PWA), 2009. *Agricultural and Municipal Water Demand in Gaza Governorates for 2008*.
- Palestinian Water Authority (PWA), 2013. *Seasonal Rainfall Assessment in Gaza Strip Report Prepared by PWA*, Prepared by Mahmoud Abdel Latif, Director of Water Information Bank Department. Gaza, Palestine.
- Portal, Climate Change Knowledge, 2017. *The World Bank Group*. <http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm/>, Accessed date: 14 September 2017.
- Rabah, F.K.J., 2013. *Impact assessment of wastewater and solid waste disposal in toWadi Gaza on groundwater, soil, and seawater*. Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng. 3 (9), 71–81.
- Sneh, A., Bartov, Y., Weissbrod, T., Rosensaft, M., 1998. Geological map of Israel, 1:200,000. Isr. Geol. Surv. (shapefile version). <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=ee0b0e242dc54e20bd5d953c7781f5b>, Accessed date: August 2017.
- Venetsanou, P., Kazakis, N., Anagnostopoulou, C., Voudouris, K. 2016. *Impacts of rainfall changes on groundwater balance of coastal aquifers: A case study of the Thermaikos Gulf, North Greece*. Global Nest: The International Journal, Vol. 18, No 1: 185-196.

- Vengosh, A., Keren, R., 1996. Chemical modifications of groundwater contaminated by recharge of treated sewage effluent. *J. Contam. Hydrol.* 23, 347–360.
- Vengosh, A., Kloppmann, W., Marei, A., Livshitz, Y., Gutierrez, A., Banna, M., Raanan, H., 2005. *Sources of salinity and boron in the Gaza strip: natural contaminant flow in the southern Mediterranean coastal aquifer*. *Water Resour. Res.* 41 (1).
- Weinthal, E., Vengosh, A., Marei, A., Gutierrez, A., Kloppmann, W., 2005. *The water crisis in the Gaza strip: prospects for resolution*. *Groundwater* 43 (5), 653–660.
- Zilberbrand, M., Rosenthal, E., Shachnai, E., 2001. Impact of urbanization on hydrogeochemical evolution of groundwater and on unsaturated-zone gas composition in the coastal city of Tel Aviv, Israel. *J. Contam. Hydrol.* 50 (3–4) 175–208.

Διαδικτυακές πηγές

- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. (2018, 03 15). Κλιματικός Άτλαντας της Ελλάδας. Ανάκτηση από <http://climatlas.hnms.gr/sdi/>
- Ελληνική Στατιστική Αρχή 2011. Ανάκτηση από <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/2011>
- Central Intelligence Agency (CIA), The world Factbook, Middle East: Gaza Strip Ανάκτηση από <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/gz.html>
- Copernicus, CORINE Land Cover (CLC) 2018. Ανάκτηση από <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download>
- Google Earth Pro
https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/pdf/waterislife_el.pdf
https://el.wikipedia.org/wiki/Κράτος_της_Παλαιστίνης
<http://srtm.csi.cgiar.org/download> (DEM)