



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



**ANNA Σ. ΚΑΡΑΝΙΚΟΛΑ**

Πτυχιούχος Γεωλόγος

**ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΙΘΑΝΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ*

*‘ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ’*

*ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ*

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2024



[λευκή σελίδα]



ANNA Σ. ΚΑΡΑΝΙΚΟΛΑ  
Πτυχιούχος Γεωλόγος

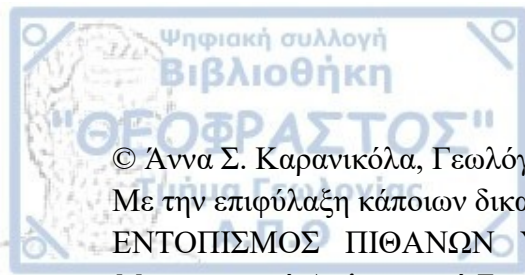
## ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΙΘΑΝΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας  
στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών  
‘Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Γεωλογία’,  
Κατεύθυνση ‘Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον’

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 29/02/2024

### Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Βουδούρης Κ., Καθηγητής ΑΠΘ, Επιβλέπων  
Καζάκης Ν., Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών, Μέλος της Τριμελούς  
Εξεταστικής Επιτροπής  
Κακλής Τρ., Δρ. Υδρογεωλογίας, ΕΔΙΠ, Μέλος της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής



© Άννα Σ. Καρανικόλα, Γεωλόγος, 2024

Με την επιφύλαξη κάποιων δικαιωμάτων

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΙΘΑΝΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS –  
*Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

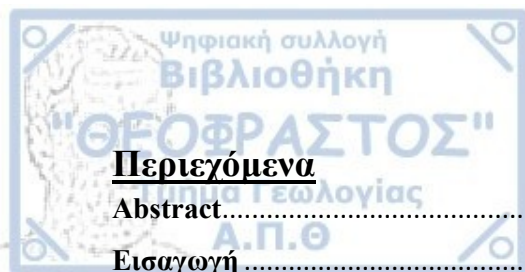
© Anna S. Karanikola, Geologist, 2024

Some rights reserved.

LOCATION OF POTENTIAL AQUIFERS BY USING GIS– *Master Thesis*

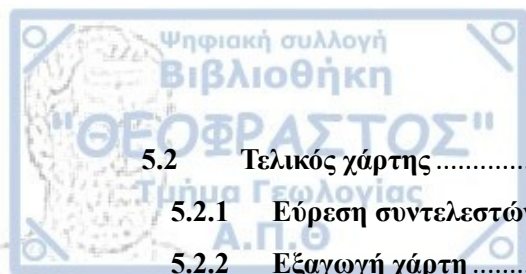
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται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

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



## Περιεχόμενα

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abstract.....                                                                   | 11 |
| Εισαγωγή .....                                                                  | 12 |
| Αντικείμενο και σκοπός .....                                                    | 12 |
| Εργασίες που υλοποιήθηκαν .....                                                 | 12 |
| 1. Γεωγραφικά - Γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής έρευνας .....              | 13 |
| 1.1 Γεωγραφική θέση .....                                                       | 13 |
| 1.2 Πληθυσμιακά στοιχεία .....                                                  | 13 |
| 1.3 Μορφολογία / Ανάγλυφο.....                                                  | 16 |
| 1.4 Χρήσεις γης .....                                                           | 17 |
| 1.5 Κλιματικά-Υδρομετεωρολογικά στοιχεία και Ισοζύγιο.....                      | 18 |
| 1.5.1 Γενικά .....                                                              | 18 |
| 1.5.2 Θερμοκρασία .....                                                         | 20 |
| 1.5.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.....                                         | 22 |
| 1.5.4 Σχέση βροχής - Υψομέτρου .....                                            | 24 |
| 1.5.5 Εξατμισοδιαπνοή .....                                                     | 26 |
| 1.5.6 Υδρολογικό Ισοζύγιο .....                                                 | 30 |
| 2. Γεωλογία της περιοχής έρευνας .....                                          | 31 |
| 2.1 Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας.....                          | 31 |
| 3. Τεκτονική.....                                                               | 38 |
| 4. Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας.....                            | 40 |
| 4.1 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά .....                                          | 40 |
| 4.2 Υπόγειο και επιφανειακό υδροδυναμικό.....                                   | 41 |
| 4.3 Υδρολιθολογική κατάταξη σχηματισμών .....                                   | 43 |
| 4.3.1. Υδροπερατότητα σχηματισμών της περιοχής έρευνας.....                     | 45 |
| 4.4 Ποσοτική και ποιοτική κατάσταση του Υπόγειου Υδατικού Συστήματος .....      | 47 |
| 5. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Υδρογεωλογία .....                     | 50 |
| 5.1 Εφαρμογή Μοντέλου στην περιοχή έρευνας/Περιγραφή διόρθωσης μεθοδολογίας.... | 50 |
| 5.1.1 Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου (DEM) .....                                     | 52 |
| 5.1.2 Βροχόπτωση .....                                                          | 53 |
| 5.1.3 Κατείσδυση .....                                                          | 56 |
| 5.1.4 Λιθολογία .....                                                           | 61 |
| 5.1.5 Κλίση αναγλύφου .....                                                     | 66 |
| 5.1.6 Υδρογραφικό δίκτυο.....                                                   | 69 |
| 5.1.7 Δίκτυο Ρηγμάτων .....                                                     | 72 |
| 5.1.8 Χρήσεις γης.....                                                          | 75 |



|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 5.2   | Τελικός χάρτης .....                | 79 |
| 5.2.1 | Εύρεση συντελεστών βαρύτητας .....  | 79 |
| 5.2.2 | Εξαγωγή χάρτη .....                 | 84 |
| 5.2.3 | Υδροσημεία και Τελικός Χάρτης ..... | 87 |
| 6.    | Συμπεράσματα-Προτάσεις .....        | 90 |
| 7.    | Βιβλιογραφία .....                  | 92 |
|       | Παράρτημα .....                     | 96 |

## Περιεχόμενα Γραφημάτων

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Γράφημα 1:</b> Απογραφές 2011 & 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).....                                          | 15 |
| <b>Γράφημα 2:</b> Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες ανά μήνα σε κάθε σταθμό (Πηγή: Meteo). ....            | 22 |
| <b>Γράφημα 3:</b> Ετήσια ύψη βροχής ανά Σταθμό (Πηγή: Meteo). ....                                   | 24 |
| <b>Γράφημα 4:</b> Διάγραμμα συσχέτισης ύψους βροχής και υψομέτρου. ....                              | 25 |
| <b>Γράφημα 5:</b> Ενδοετήσια διακύμανση των τιμών P, E <sub>Δ</sub> , E <sub>π</sub> , Q σε mm. .... | 29 |

## Περιεχόμενα Εξισώσεων

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Εξίσωση 1:</b> Βροχοβαθμίδα.....                                           | 25 |
| <b>Εξίσωση 2:</b> Thornthwaite-Mather.....                                    | 26 |
| <b>Εξίσωση 3:</b> Υδρολογικό Ισοζύγιο .....                                   | 30 |
| <b>Εξίσωση 4:</b> Τροποποιημένη μορφή Υδρολογικού Ισοζυγίου.....              | 30 |
| <b>Εξίσωση 5:</b> Βροχοβαθμίδα.....                                           | 53 |
| <b>Εξίσωση 6:</b> Εφαρμογή των συντελεστών και δημιουργία τελικού χάρτη ..... | 84 |

## Περιεχόμενα Πινάκων

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Πίνακας 1:</b> Πληθυσμιακά στοιχεία ανά Δήμο σύμφωνα με την απογραφή του 2011 & 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ). ....                                            | 15 |
| <b>Πίνακας 2:</b> Παράγοντες που παράχθηκαν από το Zonal Statistics (ArcGis). ....                                                                      | 16 |
| <b>Πίνακας 3:</b> Βροχομετρικοί Σταθμοί (Πηγή: Meteo) .....                                                                                             | 19 |
| <b>Πίνακας 4:</b> Έναρξη επεξεργασίας δεδομένων για κάθε σταθμό (Πηγή: Meteo). ....                                                                     | 20 |
| <b>Πίνακας 5:</b> Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες Οκτώβριος- Σεπτέμβριος ανά βροχομετρικό σταθμό καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας τους (Πηγή: Meteo). .... | 21 |
| <b>Πίνακας 6:</b> Ύψη βροχής ανά υδρολογικό έτος σε όλους τους σταθμούς πλησίον της ερευνώμενης περιοχής (Πηγή: Meteo).....                             | 23 |
| <b>Πίνακας 7:</b> Υψόμετρο και ύψος βροχής σταθμών για εύρεση της βροχοβαθμίδας. ....                                                                   | 24 |
| <b>Πίνακας 8:</b> Μέσες τιμές κατακρημνισμάτων περιοχής έρευνας.. ....                                                                                  | 25 |
| <b>Πίνακας 9:</b> Συντελεστής N εξαρτώμενος από το γεωγραφικό πλάτος (50°) (Τροποποιημένο από Βουδούρη Κ., 2017).....                                   | 27 |
| <b>Πίνακας 10:</b> Υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με την μέθοδο Thornthwaite-Mather. ...                                                    | 27 |
| <b>Πίνακας 11:</b> Τιμές εδαφικών δεικτών εδαφικής υγρασίας (mm) ανά σχηματισμό. ....                                                                   | 28 |
| <b>Πίνακας 12:</b> Εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite-Mather για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.....                                    | 29 |
| <b>Πίνακας 13:</b> Υπολογισμός ισοζυγίου με την μέθοδο Thornthwaite-Mather.....                                                                         | 30 |
| <b>Πίνακας 14:</b> Γεωλογικοί σχηματισμοί στην ερευνώμενη περιοχή (Ειδική Γραμματεία Υδάτων). ....                                                      | 43 |
| <b>Πίνακας 15:</b> Βαθμονόμηση βροχής με βάση την εντολή ίσων διαστημάτων. ....                                                                         | 53 |
| <b>Πίνακας 16:</b> Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή κατείδυσης (Βουδούρης, 2021).....                                                               | 56 |
| <b>Πίνακας 17:</b> Βαθμονόμηση Κατείδυσης με βάση την εντολή των ίσων διαστημάτων. ....                                                                 | 57 |
| <b>Πίνακας 18:</b> Συντελεστές κατείδυσης των γεωλογικών σχηματισμών. ....                                                                              | 58 |
| <b>Πίνακας 19:</b> Διαχωρισμός κλάσεων στους συντελεστές κατείδυσης .....                                                                               | 62 |
| <b>Πίνακας 20:</b> Βαθμονόμηση Κλίσεων Κλιτύων με βάση την εντολή ίσων διαστημάτων. ....                                                                | 66 |
| <b>Πίνακας 21:</b> Βαθμονόμηση απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο. ....                                                                                | 69 |
| <b>Πίνακας 22:</b> Βαθμονόμηση με βάση την απόσταση από τα ρήγματα.....                                                                                 | 72 |
| <b>Πίνακας 23:</b> Αναλυτικός πίνακας στο λογισμικό. ....                                                                                               | 76 |
| <b>Πίνακας 24:</b> Παρόμοιες εργασίες σε παγκόσμια κλίμακα. ....                                                                                        | 79 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Πίνακας 25:</b> Υδροσημεία εντός του κόκκινου περιγράμματος της περιοχής έρευνας. ....                 | 80 |
| <b>Πίνακας 26:</b> Γεωτρήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε βαθμονόμηση . ....                                 | 81 |
| <b>Πίνακας 27:</b> Τελικοί συντελεστές βαρύτητας. ....                                                    | 82 |
| <b>Πίνακας 28:</b> Συγκεντρωτικός πίνακας παραγόντων, με τα αντίστοιχα εύρη και βαρύτητες. ....           | 82 |
| <b>Πίνακας 29:</b> Βαθμονόμηση πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού.....                                    | 84 |
| <b>Πίνακας 30:</b> Πιθανότητα ύπαρξης νερού στην έκταση της περιοχής. ....                                | 87 |
| <b>Πίνακας 31:</b> Υδροσημεία σε σχέση με την θέση τους πάνω στην πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού. .... | 87 |

## Περιεχόμενα Σχημάτων

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Σχήμα 1:</b> Περιοχή έρευνας: Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου (ArcGis).....                                                                                                                        | 13 |
| <b>Σχήμα 2:</b> Δήμοι που εντάσσονται στην περιοχή μελέτης (ArcGis). ....                                                                                                                                 | 14 |
| <b>Σχήμα 3:</b> Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρου στην ερευνώμενη περιοχή (ArcGis). ....                                                                                                                          | 16 |
| <b>Σχήμα 4:</b> Χάρτης κλίσεων σε μοίρες του Υποσυστήματος Χολομώντα- Ωραιοκάστρου (ArcGis). ....                                                                                                         | 17 |
| <b>Σχήμα 5:</b> Χρήσεις γης (ArcGis & Surfer). ....                                                                                                                                                       | 18 |
| <b>Σχήμα 6:</b> Βροχομετρικοί Σταθμοί (Πηγή: Meteo, Επεξεργασία: ArcGis). ....                                                                                                                            | 20 |
| <b>Σχήμα 7:</b> Γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδος (Μουντράκης, 1983), με κόκκινο πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή έρευνας. ....                                                                                    | 31 |
| <b>Σχήμα 8:</b> Γεωλογία εξεταζόμενης περιοχής (ArcGis). ....                                                                                                                                             | 32 |
| <b>Σχήμα 9:</b> Χάρτης της Περιοδοπικής ζώνης (Μουντράκης, 2010). ....                                                                                                                                    | 34 |
| <b>Σχήμα 10:</b> Οι τρεις βασικές ενότητες που συγκροτούν την Περιοδοπική ζώνη (Ενότητα Ντεβέ Κοράν -Δουμπιά, Ενότητα Μελισσοχωρίου- Χολομώντα, Ενότητα Ασπρης Βρύσης -Χορτιάτη) (Μουντράκης, 2010). .... | 35 |
| <b>Σχήμα 11:</b> Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας (Μουντράκης, 2010). ....                                                                                                                  | 36 |
| <b>Σχήμα 12:</b> Γενικευμένος γεωλογικός και τεκτονικός χάρτης Κεντρικής Μακεδονίας (Τρανός κ.ά., 2003). ....                                                                                             | 38 |
| <b>Σχήμα 13:</b> Τεκτονικός χάρτης από την ψηφιοποίηση των γεωλογικών φύλλων του ΙΓΜΕ (ArcGis). ..                                                                                                        | 39 |
| <b>Σχήμα 14:</b> Υδατικό διαμέρισμα της κεντρικής Μακεδονίας και οι λεκάνες απορροής (Ι.Γ.Μ.Ε. Βεράνης, 2010). ....                                                                                       | 40 |
| <b>Σχήμα 15:</b> Λεκάνες απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας). ....                                             | 41 |
| <b>Σχήμα 16:</b> Λεκάνες απορροής Υποσυστήματος Χολομών-Ωραιοκάστρου (σε περιβάλλον ArcGis με το εργαλείο basins στο hydrology tools).....                                                                | 42 |
| <b>Σχήμα 17:</b> Ρέματα/Ποτάμια του Υποσυστήματος Χολομών- Ωραιοκάστρου έπειτα από ψηφιοποίηση των γεωλογικών φύλλων 1:50.000 (ArcGis). ....                                                              | 42 |
| <b>Σχήμα 18:</b> Υδρολιθολογικός χάρτης υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012). ....                                                                                | 44 |
| <b>Σχήμα 19:</b> Συντελεστές κατείσδυσης του EL1000193 (ArcGis). ....                                                                                                                                     | 46 |
| <b>Σχήμα 20:</b> Χάρτης ποσοτικής κατάστασης Υπόγειων Υδατικών συστημάτων (με κόκκινο απεικονίζεται η κακή και με πράσινο η καλή, Κλίμακα :1:300.000), (Πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων). ....             | 48 |
| <b>Σχήμα 21:</b> Χάρτης ποιοτικής κατάστασης Υπόγειων Υδατικών συστημάτων (με κόκκινο απεικονίζεται η κακή και με πράσινο η καλή, Κλίμακα :1:300.000), (Πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων). ....             | 49 |
| <b>Σχήμα 22:</b> Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας. ....                                                                                                                                                        | 51 |
| <b>Σχήμα 23:</b> Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου του EL1000193 (ArcGis). ....                                                                                                                                   | 52 |
| <b>Σχήμα 24:</b> Βροχόπτωση με βάση το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου του EL1000193 (ArcGis). ....                                                                                                             | 54 |
| <b>Σχήμα 25:</b> Βαθμονομημένη κατανομή βροχόπτωσης του EL1000193 (ArcGis). ....                                                                                                                          | 55 |
| <b>Σχήμα 26:</b> Κατείσδυση του EL1000193 (ArcGis). ....                                                                                                                                                  | 59 |

|                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Σχήμα 27:</b> Βαθμονομημένη Κατείσδυση του EL1000193 (ArcGis).....                                                                                                                                   | 60  |
| <b>Σχήμα 28:</b> Γεωλογικός χάρτης του του EL1000193 (ArcGis & Surfer).....                                                                                                                             | 63  |
| <b>Σχήμα 29:</b> Απεικόνιση Συντελεστών κατείσδυσης του EL1000193 (ArcGis).....                                                                                                                         | 64  |
| <b>Σχήμα 30:</b> Βαθμονομημένος χάρτης συντελεστών Κατείσδυσης του EL100019 (ArcGis). ....                                                                                                              | 65  |
| <b>Σχήμα 31:</b> Κλίση αναγλύφου του EL1000193 (ArcGis). ....                                                                                                                                           | 67  |
| <b>Σχήμα 32:</b> Βαθμονόμηση της Κλίση αναγλύφου του EL1000193 (ArcGis). ....                                                                                                                           | 68  |
| <b>Σχήμα 33:</b> Απόσταση από το Υδρογραφικό δίκτυο του του EL1000193 (ArcGis).....                                                                                                                     | 70  |
| <b>Σχήμα 34:</b> Βαθμονομημένος χάρτης απόστασης από το υδρογραφικό του EL1000193 (ArcGis). ....                                                                                                        | 71  |
| <b>Σχήμα 35:</b> Χάρτης απόστασης από ρήγματα του EL1000193 (ArcGis).....                                                                                                                               | 73  |
| <b>Σχήμα 36:</b> Βαθμονομημένος χάρτης απόστασης από ρήγματα του EL1000193 (ArcGis).....                                                                                                                | 74  |
| <b>Σχήμα 37:</b> Χάρτης χρήσεων Γης του EL1000193 (ArcGis & Surfer). ....                                                                                                                               | 77  |
| <b>Σχήμα 38:</b> Βαθμονομημένος χάρτης χρήσεων Γης του EL1000193 (ArcGis). ....                                                                                                                         | 78  |
| <b>Σχήμα 39:</b> Υδροσημεία εντός του του EL1000193 (ArcGis).....                                                                                                                                       | 80  |
| <b>Σχήμα 40:</b> Πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού του EL1000193 (ArcGis).....                                                                                                                          | 85  |
| <b>Σχήμα 41:</b> Χάρτης πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού του EL1000193 (ArcGis).....                                                                                                                  | 86  |
| <b>Σχήμα 42:</b> Χάρτης πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού & υδροσημείων του EL1000193 (ArcGis).<br>.....                                                                                               | 88  |
| <b>Σχήμα 43:</b> Θέση με συντεταγμένες: X: 442600.85, Y: 4488441.81, εντός ασβεστολίθων και<br>Πλειστοκαινικών αποθέσεων (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm *7<br>cm) .....    | 96  |
| <b>Σχήμα 44:</b> Θέση με συντεταγμένες: X: 447390.49, Y: 4483590.41, εντός ανακρυσταλλωμένων<br>ασβεστολίθων (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm *7 cm).....                    | 96  |
| <b>Σχήμα 45:</b> Θέση με συντεταγμένες: X: 448212.26, Y: 4482204.81, εντός ψαμμιτών (μέγεθος<br>κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm *7 cm).....                                          | 97  |
| <b>Σχήμα 46:</b> Θέση με συντεταγμένες: X:450528.93, Y: 4474366.37, εντός ψαμμιτών (μέγεθος<br>κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm *7 cm).....                                           | 97  |
| <b>Σχήμα 47:</b> Θέση με συντεταγμένες: X: 475441.7, Y: 4455288.65, εντός βιοτιτικού διμαρμαρυγιακού<br>γρανιοδιορίτη (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm *7 cm).....           | 98  |
| <b>Σχήμα 48:</b> Θέση με συντεταγμένες: X:472928.55, Y: 4458476.36, εντός του σχηματισμού χαλαζιτών<br>& χαλαζιακών ψαμμιτών (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm *7 cm)98       |     |
| <b>Σχήμα 49:</b> Θέση με συντεταγμένες: X: 472986.79, Y: 4487261.32,εντός του σχηματισμού των<br>γρανιτών (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm *7 cm) .....                      | 99  |
| <b>Σχήμα 50:</b> Θέση με συντεταγμένες: X:465918.2, Y: 4481477.57,εντός πρόσφατων αποθέσεων<br>(μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm *7 cm).....                                  | 99  |
| <b>Σχήμα 51:</b> Θέση με συντεταγμένες: X:464264.46, Y: 4481903.99,εντός αποσθρωμένου<br>διμαρμαρυγιακού βιοτιτικού γρανίτη (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16<br>cm *7 cm) ..... | 100 |



## Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αφορά την περιοχή του Υποσυστήματος Χολομώντα-Ωραιοκάστρου, έκτασης 1597,41 km<sup>2</sup> και περιμέτρου 535,58 Km. Γεωγραφικά, βρίσκεται στην Περιφέρεια της Κεντρικής Μακεδονίας και λαμβάνει τον χαρακτηρισμό του ρωγματικού υπόγειου υδατικού συστήματος. Μορφολογικά, η περιοχή χαρακτηρίζεται ημιορεινή έως ορεινή και αποτελείται από σχηματισμούς των γεωτεκτονικών ζωνών Σερβομακεδονικής, Περιοδοπικής και Αξιού. Η παρουσία σε μεγάλη έκταση αδιαπέρατων πετρωμάτων και η αυξημένη ζήτηση σε νερό λόγω της γεωργίας και της αύξησης του πληθυσμού προκάλεσε την ανάγκη για εύρεση νέων πηγών νερού.

Η μέθοδος που κρίθηκε κατάλληλη για την περιοχή έρευνας αξιολογεί τις περιοχές ανάλογα με την πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού. Οι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη στη συγκεκριμένη μέθοδο ήταν η βροχόπτωση, η κατείσδυση, η λιθολογία, οι κλιτύες, η απόσταση από τα ρήγματα, η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο και οι χρήσεις γης. Σε καθένα από αυτούς τους παράγοντες δόθηκε ένας συντελεστής βαρύτητας ανάλογα με τη σημαντικότητα κάθε παραμέτρου για την ύπαρξη υπόγειου νερού, και έπειτα δημιουργήθηκε ο τελικός χάρτης. Ο τελικός χάρτης αποτελείται από πέντε (5) διαβαθμίσεις, που παρουσιάζουν την πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού από χαμηλή σε υψηλή.

Με την χρήση νέων τεχνολογιών όπως τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών καθώς και με τον συνδυασμό αυτών με πρωτογενή δεδομένα υπαίθρου, μπορούν να δημιουργηθούν χάρτες πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού και να προταθούν νέες θέσεις γεωτρήσεων κάνοντας την διαδικασία συμπληρωματικό εργαλείο για τις αντίστοιχες έρευνες και μελέτες.



## Abstract

This master's thesis concerns the area of the Holomontas-Oreokastro Subsystem, with an area of 1597.41 Km<sup>2</sup> and a perimeter of 535.58 Km. Geographically, it is located in the Region of Central Macedonia and is classified as a fractured underground water system. Morphologically, the area is semi-mountainous to mountainous and consists of geotectonic formations from the Serbo-Macedonian, Perirodopiki and Axios geotectonic Zones. The presence of a large area of impermeable rocks, and the increased demand for water due to agriculture and population growth, caused the need to find new sources of water.

The method, which deemed suitable for the survey area, evaluates the areas according to the probability of groundwater. The factors taken into account in this method were precipitation, recharge, lithology, slopes, distance from faults, distance from the hydrographic network and land uses. Each of these factors was given a weighting factor according to the importance of each parameter for the existence of groundwater, and then the final map was created. The final map consists of five (5) gradations, showing the probability of groundwater from low to high.

By using new technologies such as Geographical Information Systems (GIS), as well as by combining these with primary field data, groundwater availability maps can be created and proposed new drilling sites, making the process a complementary tool for the respective researches and studies.



## **Εισαγωγή**

### **Αντικείμενο και σκοπός**

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Α.Π.Θ. «Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Γεωλογία» με κατεύθυνση την «Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον».

Έχει ως κύριο αντικείμενο μελέτης τον εντοπισμό των πιθανών υπόγειων υδροφορέων στο Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου, με τη χρήση του λογισμικού GIS. Αναλυτικότερα, ο απώτερος σκοπός αυτής της διατριβής είναι η χαρτογράφηση του υπόγειου νερού σε ένα ρωγματικό σύστημα στην Κεντρική Μακεδονία, με τη συμβολή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Τα στοιχεία που μελετώνται είναι η βροχόπτωση, η κατείσδυση, η λιθολογία, η τοπογραφική κλίση, οι αποστάσεις από το ρωγματικό και υδρογραφικό δίκτυο και οι χρήσεις γης. Το αποτέλεσμα είναι ένας τελικός χάρτης κατανομής της πιθανότητας για την ύπαρξη υπόγειων υδροφορέων.

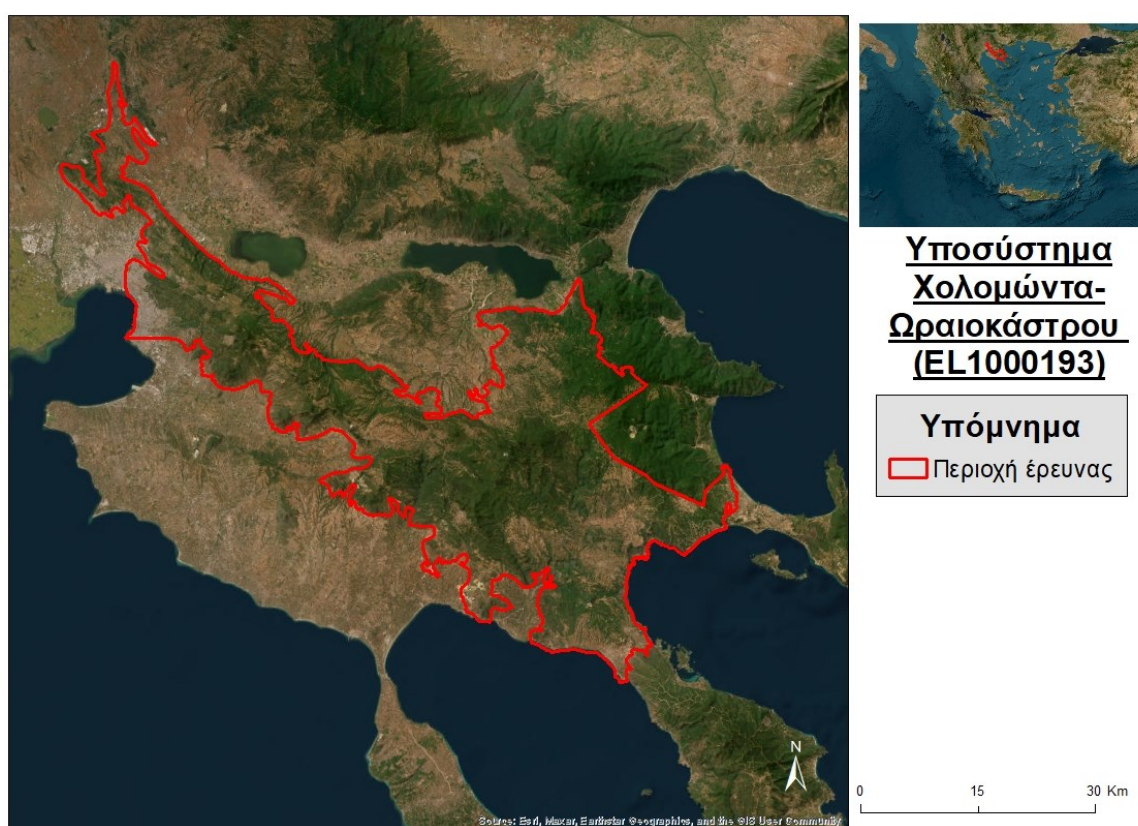
### **Εργασίες που υλοποιήθηκαν**

- Συγκέντρωση στοιχείων από παλαιότερες μελέτες, σχετικά με γεωλογικά, υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της ερευνώμενης περιοχής.
- Αναζήτηση ελληνικών και διεθνών ερευνητικών άρθρων, σχετικά με την μέθοδο εύρεσης νερού με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.
- Εύρεση και ψηφιοποίηση των χαρτών κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. με την χρήση G.I.S στο ελληνικό προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87.
- Συλλογή βροχομετρικών δεδομένων της ευρύτερης περιοχής με σκοπό την δημιουργία της εξίσωσης της βροχοβαθμίδας.
- Συλλογή εικόνων ανάλυσης ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (SRTM).
- Δημιουργία θεματικών χαρτών που απαιτούσε η μέθοδος (βροχομετρικός, κατείσδυσης, γεωλογικός, κλίσεων, αποστάσεων από τα ρήγματα και από το υδρογραφικό και χρήσεων γης).
- Εύρεση των συντελεστών βαρύτητας κάθε παραμέτρου με βάση τις υφιστάμενες γεωτρήσεις.
- Βαθμονόμηση των παραπάνω χαρτών σε περιβάλλον ArcGis.
- Σύνταξη τελικού χάρτη πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού με το λογισμικό πρόγραμμα ArcGis.
- Συμπεράσματα και προτάσεις για νέες θέσεις γεωτρήσεων.

## 1. Γεωγραφικά - Γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής έρευνας

### 1.1 Γεωγραφική θέση

Η περιοχή έρευνας, γεωγραφικά βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας και συγκεκριμένα καταλαμβάνει μέρος των Π.Ε. Θεσσαλονίκης, Κιλκίς και Χαλκιδικής που εντάσσονται στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος της Κεντρικής Μακεδονίας (EL10), η περιοχή έρευνας εντάσσεται στη λεκάνη απορροής του ποταμού της Χαλκιδικής (ΛΑΠ EL1005), και έχει την χαρακτηριστική ονομασία 'Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου' (EL1000193). Το Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου, έκτασης 1597,41 km<sup>2</sup> και περιμέτρου 535,58 Km, είναι υποσύνολο του ρωγματικού υπόγειου υδατικού συστήματος (ΥΥΣ) Χολομώντα – Ωραιοκάστρου με κωδικό EL1000190 και έκταση 1946,14 Km<sup>2</sup> (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1:** Περιοχή έρευνας: Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου (ArcGis).

### 1.2 Πληθυσμιακά στοιχεία

Η Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας αποτελείται από οχτώ (8) Περιφερειακές Ενότητες, όπου τρεις (3) εξ αυτών εμπεριέχονται στην ερευνώμενη περιοχή. Αναλυτικότερα, η περιοχή ενδιαφέροντος αποτελείται από δεκατρείς (13) Δήμους που εντάσσονται στις Περιφερειακές Ενότητες Θεσσαλονίκης, Χαλκιδικής και Κιλκίς.

Ακολουθώντας τη διαίρεση της χώρας σε Δήμους με το Πρόγραμμα Καλλικράτης, παρατηρούνται οι εξής Δήμοι στο Σχήμα 2:

**Περιφερειακή Ενότητα Θεσσαλονίκης**

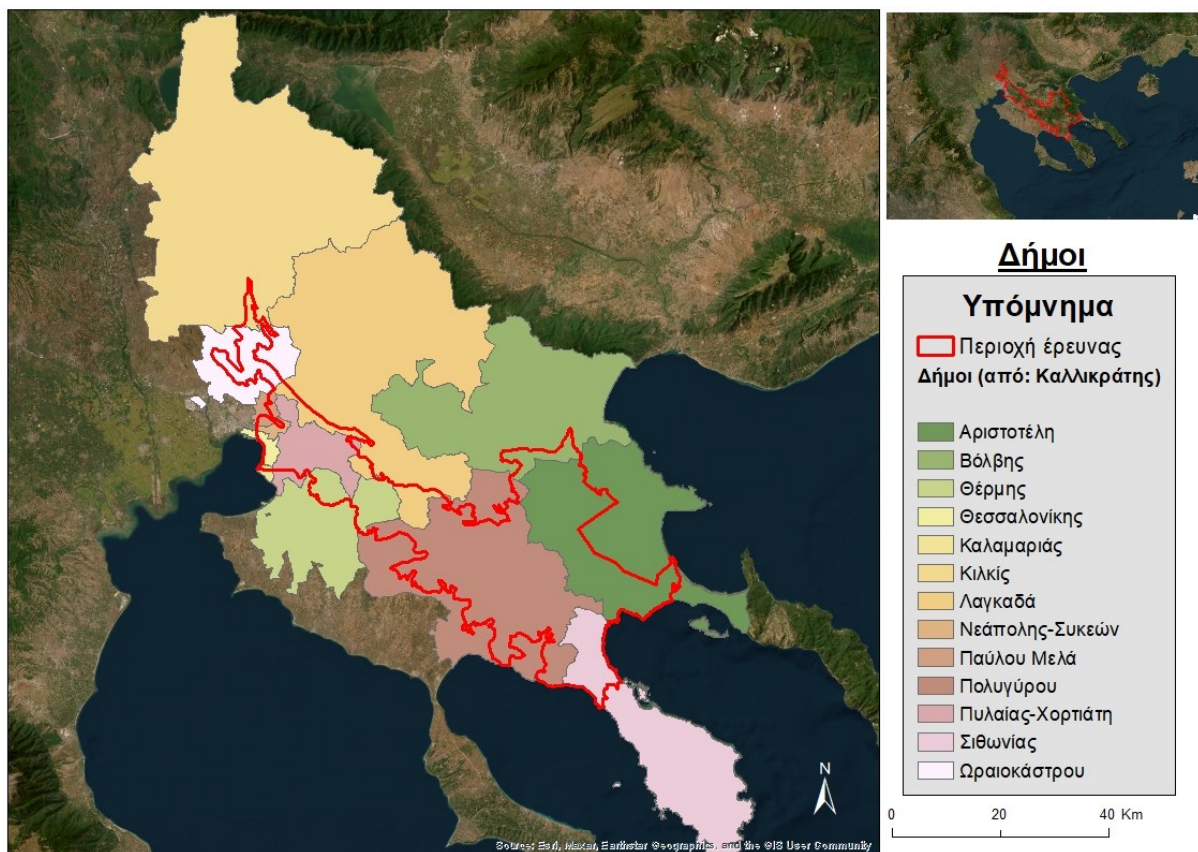
- Δήμος Βόλβης
- Δήμος Θέρμης
- Δήμος Θεσσαλονίκης
- Δήμος Καλαμαριάς
- Δήμος Λαγκαδά
- Δήμος Νεάπολης – Συκεών
- Δήμος Παύλου Μελά
- Δήμος Πυλαίας-Χορτιάτη
- Δήμος Ωραιοκάστρου

**Περιφερειακή Ενότητα Χαλκιδικής**

- Δήμος Αριστοτέλη
- Δήμος Πολυγύρου
- Δήμος Σιθωνίας

**Περιφερειακή Ενότητα Κιλκίς**

- Δήμος Κιλκίς

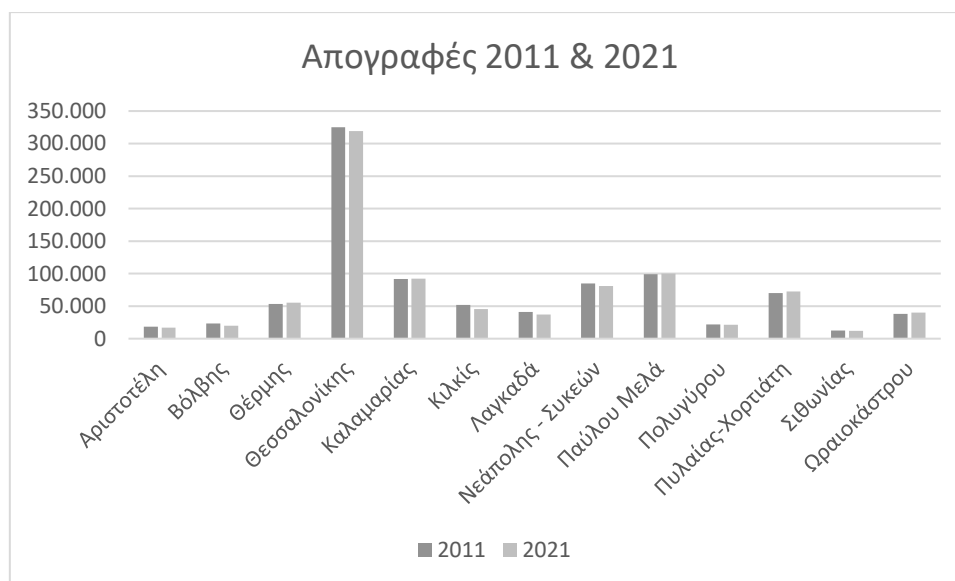


**Σχήμα 2:** Δήμοι που εντάσσονται στην περιοχή μελέτης (ArcGis).

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), παρουσιάζεται μία αύξηση στα πληθυσμιακά δεδομένα με την πάροδο των ετών στους Δήμους Θέρμης, Καλαμαριάς, Παύλου-Μελά, Πυλαίας-Χορτιάτη & Ωραιοκαστρου, ενώ στους υπόλοιπους οχτώ (8) υπάρχει μια μικρή μείωση της τάξης 1% έως 5%, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1 και Γράφημα 1. Αυτή η εικόνα αντικατοπτρίζει τους μόνιμους κατοίκους της ερευνώμενης περιοχής και όχι κατά τους θερινούς μήνες, διότι εκείνη την περίοδο παρατηρείται σημαντική εποχική αύξηση του πληθυσμού λόγω τουρισμού, που δεν μπορεί να υπολογιστεί τόσο χωρικά όσο και χρονικά.

**Πίνακας 1:** Πληθυσμιακά στοιχεία ανά Δήμο σύμφωνα με την απογραφή του 2011 & 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).

| Απογραφές ανά έτος |                   | 2011    | 2021    |
|--------------------|-------------------|---------|---------|
| α/α                | Δήμος             |         |         |
| 1                  | Αριστοτέλη        | 18.294  | 16.964  |
| 2                  | Βόλβης            | 23.478  | 19.755  |
| 3                  | Θέρμης            | 53.201  | 55.358  |
| 4                  | Θεσσαλονίκης      | 325.182 | 319.045 |
| 5                  | Καλαμαριάς        | 91.518  | 92.248  |
| 6                  | Κιλκίς            | 51.926  | 45.308  |
| 7                  | Λαγκαδά           | 41.103  | 37.022  |
| 8                  | Νεάπολης – Συκεών | 84.741  | 80.888  |
| 9                  | Παύλου Μελά       | 99.245  | 100.194 |
| 10                 | Πολυγύρου         | 22.048  | 21.351  |
| 11                 | Πυλαίας-Χορτιάτη  | 70.110  | 72.384  |
| 12                 | Σιθωνίας          | 12.394  | 12.080  |
| 13                 | Ωραιοκαστρου      | 38.317  | 40.004  |



**Γράφημα 1:** Απογραφές 2011 & 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).

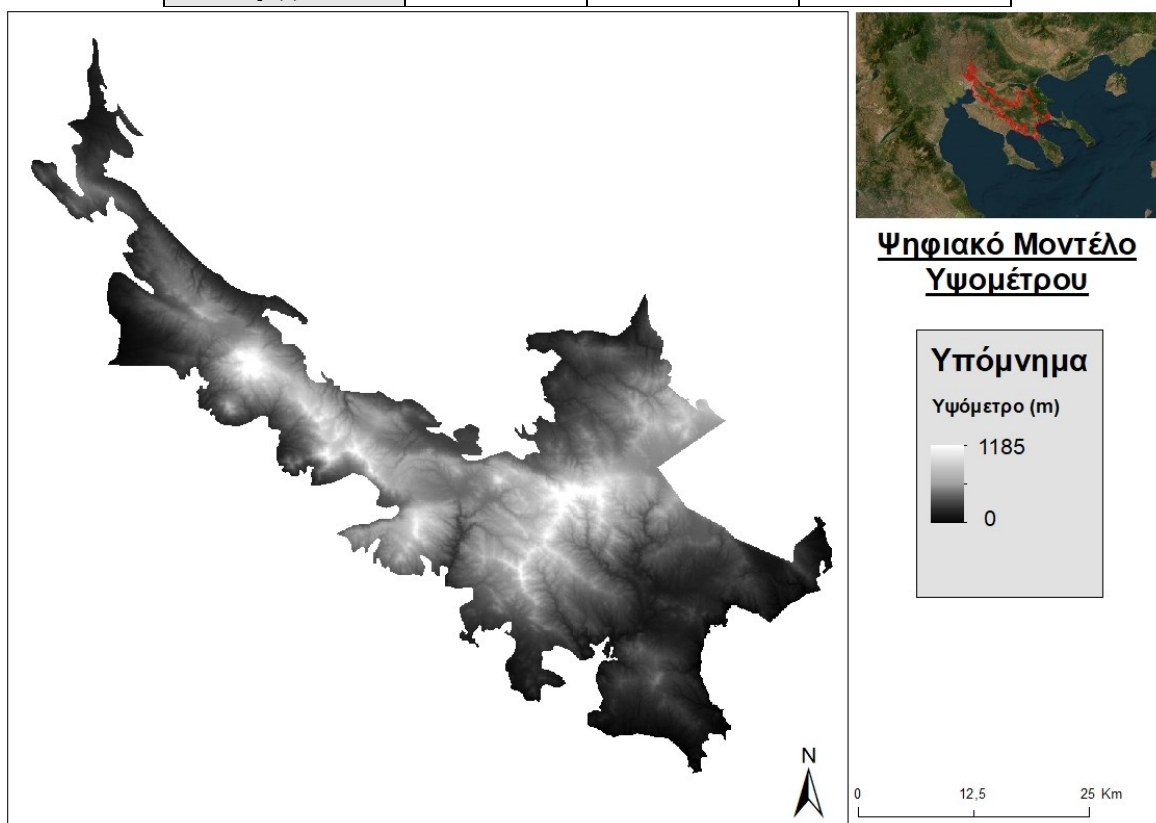
Σύμφωνα με το Γράφημα 1, ο πληθυσμός παρουσιάζει μέγιστες τιμές στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, διότι αυτή αποτελεί τη συμπρωτεύουσα της χώρας καταλαμβάνοντας τη δεύτερη θέση σε πληθυσμό. Αναλυτικότερα, η Θεσσαλονίκη αποτελείται από δεκατέσσερις (14) δήμους εννέα (9) εξ αυτών παρουσιάζονται στην περιοχή έρευνας, με μέγιστο πληθυσμό να παρουσιάζει ο Δήμος Θεσσαλονίκης όπου βρίσκεται στο κέντρο της πόλης.

### 1.3 Μορφολογία / Ανάγλυφο

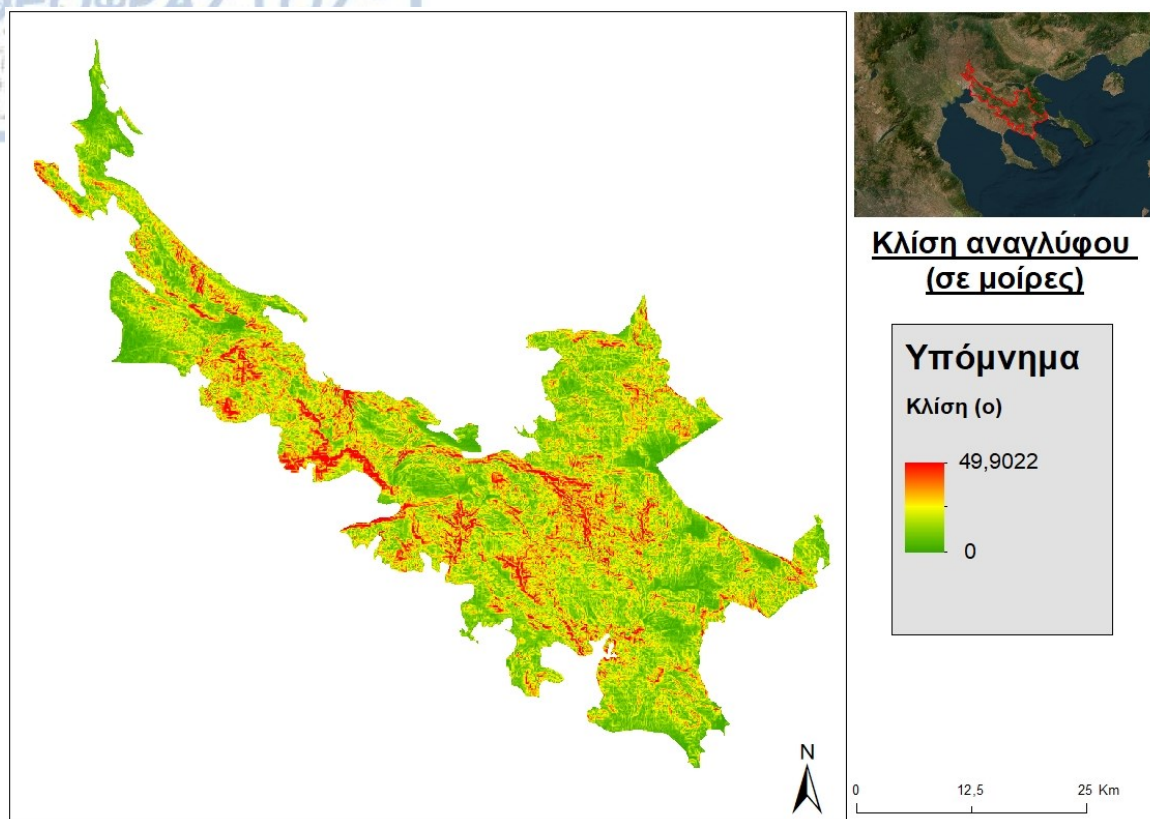
Η περιοχή έρευνας καταλαμβάνει έκταση 1597,41 Km<sup>2</sup> και περιμέτρου 535,58 Km, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Το μέγιστο υψόμετρο φτάνει στα 1185 m στη θέση του όρους Χορτιάτη, σύμφωνα με τα αντίστοιχο Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρου (SRTM: N40E022 & N40E022) (Σχήμα 3). Σε αντίθεση το μέσο υψόμετρο της περιοχής έρευνας είναι αρκετά μικρότερο διότι εξαρτάται και από την έκταση που καταλαμβάνει κάθε τιμή, συνεπώς το μέσο υψόμετρο του Υποσυστήματος Χολομώντα- Ωραιοκάστρου είναι  $H_{\text{mean}}=391,24$  m. Τέλος, υπολογίστηκε ότι η μέγιστη κλίση φτάνει στις 49,9° (Σχήμα 4), ενώ η μέση κλίση της περιοχής στα 11,2°. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε με σκοπό να βρεθούν οι παράμετροι των μέσων υψομέτρων, έγινε μέσω του προγράμματος ArcGis και της εντολής Zonal Statistics (Πίνακας 2).

**Πίνακας 2:** Παράγοντες που παράχθηκαν από το Zonal Statistics (ArcGis).

|                     | Ελάχιστο | Μέγιστο | Μέσο   |
|---------------------|----------|---------|--------|
| <b>Υψόμετρο (m)</b> | 0        | 1185    | 391,24 |
| <b>Κλίση (°)</b>    | 0        | 49,9    | 11,2   |



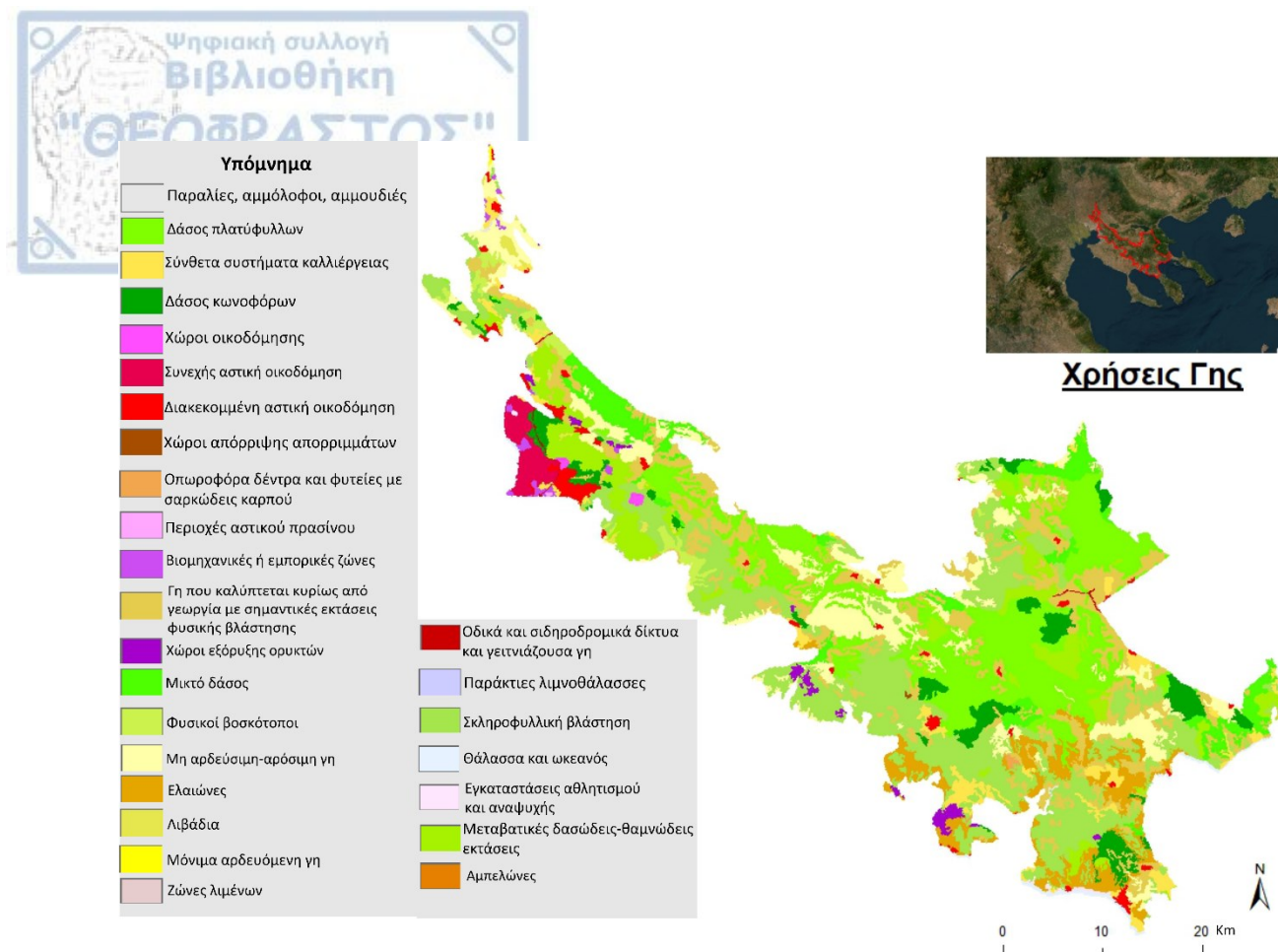
**Σχήμα 3:** Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρου στην ερευνώμενη περιοχή (ArcGis).



**Σχήμα 4:** Χάρτης κλίσεων σε μοίρες του Υποσυστήματος Χολομώντα- Ωραιοκάστρου (ArcGis).

## 1.4 Χρήσεις γης

Στο Βόρειο-Δυτικό τμήμα της εξεταζόμενης έκτασης, μεγάλη περιοχή καταλαμβάνει ο αστικός ιστός, καθώς εκεί παρουσιάζεται η συμπρωτεύουσα του Ελληνικού χώρου. Ωστόσο την μεγαλύτερη έκταση στο Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου καταλαμβάνουν οι δασικές εκτάσεις που εκτείνονται κυρίως σε όλο το κεντρικό τμήμα της Π.Ε. Χαλκιδικής, διότι εκεί εκτείνεται το δάσος του Χολομώντα και του Χορτιάτη. Οι μικρότερες σε έκταση περιοχές είναι οι καλλιεργήσιμες και οι μη-καλλιεργήσιμες εκτάσεις καθώς και οι ελαιώνες (Σχήμα 5).



**Σχήμα 5:** Χρήσεις γης (ArcGis & Surfer).

## 1.5 Κλιματικά-Υδρομετεωρολογικά στοιχεία και Ισοζύγιο

### 1.5.1 Γενικά

Σύμφωνα με τους πλησιέστερους μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται εντός της περιοχής έρευνας, καθώς και εκτός, αλλά σε μικρή χιλιομετρική απόσταση από τα ερευνόμενα όρια, έγινε ο προσδιορισμός των κλιματικών συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή έρευνας (Σχήμα 6).

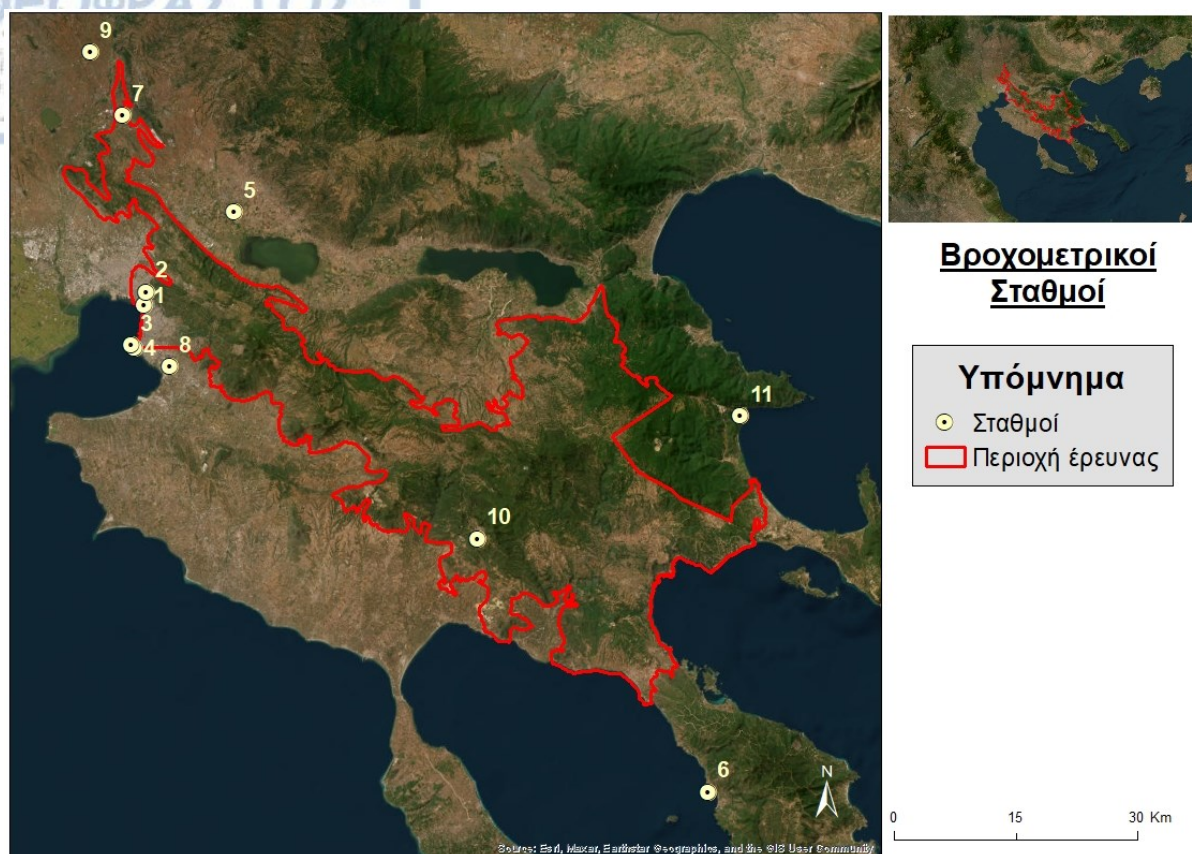
Από το δίκτυο του Κιλκίς χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τους σταθμούς Νέα Σάντα και Πεδινό Κιλκίς με συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 X, Y: 408941,22, 4521300,34 και X, Y: 404919,5, 4529123,0 αντίστοιχα. Από την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από έξι (6) σταθμούς με τις εξής θέσεις: ΔΕΘ, Επταπύργιο, Θεσσαλονίκη, Καλαμαριά, Λαγκαδάς, Νόησις. Αναλυτικότερα, κατά σειρά οι σταθμοί της Θεσσαλονίκης έχουν γεωγραφικές συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 X, Y: 411498,62, 4497844,41 (ΔΕΘ), X, Y: 411782,98, 4499500,82 (Επταπύργιο) X, Y: 409937,95, 4493004,79 (Θεσσαλονίκη), X, Y: 410324,53, 4492632,66 (Καλαμαριά), X, Y: 422665,78, 4509358,25 (Λαγκαδάς), X, Y: 414746,3, 4490329,39 (Νόησις). Και ακολούθως, οι τρεις (3) σταθμοί που βρίσκονται στην περιοχή της Χαλκιδικής με τις θέσεις: Μαρμαράς (ΕΓΣΑ87 X, Y: 481158,17, 4437862,49), Πολύγυρος (ΕΓΣΑ87 X, Y: 452656,34, 4469067,6) και Στρατώνι (ΕΓΣΑ87 X, Y: 485142,12, 4484216,18).

Στον Πίνακα 3 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι έντεκα σταθμοί που λήφθηκαν υπόψιν, οι συντεταγμένες αυτών, τα υψόμετά τους καθώς και οι ημερομηνίες εγκατάστασής τους.

**Πίνακας 3:** Βροχομετρικοί Σταθμοί (Πηγή: Meteo)

| α/α | Θέση          | X<br>(ΕΓΣΑ87) | Y<br>(ΕΓΣΑ87) | Υψόμετρο<br>(m) | Δεδομένα<br>από: |
|-----|---------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|
| 1   | ΔΕΘ           | 411498,62     | 4497844,41    | 29              | 09/2018          |
| 2   | Επταπύργιο    | 411782,98     | 4499500,82    | 175             | 05/2018          |
| 3   | Θεσσαλονίκη   | 409937,95     | 4493004,79    | 8               | 02/2012          |
| 4   | Καλαμαριά     | 410324,53     | 4492632,66    | 33              | 05/2021          |
| 5   | Λαγκαδάς      | 422665,78     | 4509358,25    | 87              | 06/2008          |
| 6   | Μαρμαράς      | 481158,17     | 4437862,49    | 6               | 02/2014          |
| 7   | Νέα Σάντα     | 408941,22     | 4521300,34    | 125             | 10/2020          |
| 8   | Νόησις        | 414746,3      | 4490329,39    | 60              | 03/2019          |
| 9   | Πεδινό Κιλκίς | 404919,5      | 4529123,0     | 129             | 04/2021          |
| 10  | Πολύγυρος     | 452656,34     | 4469067,6     | 580             | 08/2006          |
| 11  | Στρατώνι      | 485142,12     | 4484216,18    | 5               | 08/2009          |

Κατά την επεξεργασία των κλιματικών δεδομένων, βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, λήφθηκαν υπόψιν τα ολοκληρωμένα υδρολογικά έτη Οκτώβριος-Σεπτέμβριος και απορρίφθηκαν τα ελλιπή. Οπότε η επεξεργασία έγινε από το έτος έναρξης που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4 μέχρι το έτος 2022 και μήνα Σεπτέμβριο.



**Σχήμα 6:** Βροχομετρικοί Σταθμοί (Πηγή: Meteo, Επεξεργασία: ArcGis).

**Πίνακας 4:** Έναρξη επεξεργασίας δεδομένων για κάθε σταθμό (Πηγή: Meteo).

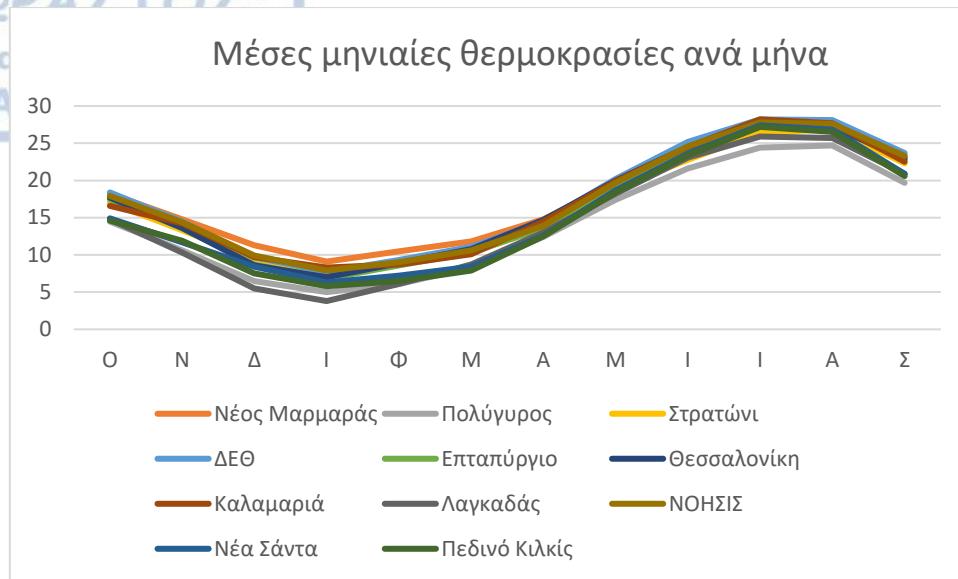
| Θέση        | Έναρξη από: | Λήξη:   | Νέος<br>Μαρμαράς | 10/2014 | 09/2022 |
|-------------|-------------|---------|------------------|---------|---------|
| ΔΕΘ         | 10/2018     | 09/2022 | Νέα Σάντα        | 10/2020 | 09/2022 |
| Επταπύργιο  | 10/2018     | 09/2022 | Νόησις           | 10/2019 | 09/2022 |
| Θεσσαλονίκη | 10/2012     | 09/2022 | Πεδινό Κιλκίς    | 10/2021 | 09/2022 |
| Καλαμαριά   | 10/2021     | 09/2022 | Πολύγυρος        | 10/2006 | 09/2022 |
| Λαγκαδάς    | 10/2008     | 09/2022 | Στρατώνι         | 10/2009 | 09/2022 |

### 1.5.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στην υδρογεωλογία της περιοχής, δεδομένου ότι επιδρά στον παράγοντα της εξατμισοδιαπνοής. Στον Πίνακα 5 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του αέρα των σταθμών Νέος Μαρμαράς, Πολύγυρος, Στρατώνι, ΔΕΘ, Επταπύργιο, Θεσσαλονίκη, Καλαμαριά, Λαγκαδάς, Νόησις, Νέα Σάντα και Πεδινό Κιλκίς.

**Πίνακας 5:** Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες Οκτώβριος- Σεπτέμβριος ανά βροχομετρικό σταθμό καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας τους (Πηγή: Meteo).

| Μήνας         | Ο    | Ν    | Δ    | Ι   | Φ    | Μ    | Α    | Μ    | Ι    | Ι    | Α    | Σ    |
|---------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Σταθμός       |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Νέος Μαρμαράς | 18,2 | 14,8 | 11,3 | 9,1 | 10,5 | 11,8 | 14,8 | 19,6 | 24,3 | 27,1 | 27,5 | 23,3 |
| Πολύγυρος     | 14,5 | 10,6 | 6,5  | 5   | 6,1  | 8,3  | 12,4 | 17,4 | 21,6 | 24,4 | 24,7 | 19,7 |
| Στρατώνι      | 17   | 13,3 | 9,5  | 7,5 | 8,7  | 10,3 | 13,6 | 19   | 22,8 | 26,4 | 26,9 | 22,3 |
| ΔΕΘ           | 18,4 | 14,5 | 9,7  | 7,7 | 9,3  | 11,1 | 14,5 | 20,2 | 25,2 | 28,2 | 28,1 | 23,7 |
| Επταπύργιο    | 17,5 | 13,6 | 8,7  | 6,8 | 8,6  | 10,3 | 13,6 | 19,6 | 24,2 | 27,2 | 27,3 | 22,8 |
| Θεσσαλονίκη   | 17,7 | 13,6 | 8,6  | 7   | 8,9  | 10,8 | 14,7 | 20   | 24,5 | 27,3 | 27,2 | 23   |
| Καλαμαριά     | 16,6 | 14,2 | 9,7  | 8,3 | 8,7  | 10,1 | 14,5 | 19,9 | 24,5 | 28,2 | 27,7 | 22,5 |
| Λαγκαδάς      | 14,8 | 10,3 | 5,5  | 3,8 | 6,1  | 8,7  | 13   | 18,2 | 23,1 | 25,9 | 25,7 | 20,9 |
| Νόησις        | 17,9 | 14,4 | 9,9  | 7,9 | 9    | 10,6 | 13,9 | 19,7 | 24,6 | 27,8 | 27,6 | 23,3 |
| Νέα Σάντα     | 14,9 | 11,7 | 8,4  | 6,3 | 7,2  | 8,4  | 12,6 | 18,7 | 23,6 | 27,4 | 26,8 | 20,9 |
| Πεδινό Κιλκίς | 14,6 | 11,9 | 7,5  | 5,8 | 6,5  | 7,9  | 12,5 | 18,4 | 23,4 | 27,2 | 26,5 | 20,6 |



**Γράφημα 2:** Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες ανά μήνα σε κάθε σταθμό (Πηγή: Meteo).

Όπως στον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο, έτσι και στην περιοχή έρευνας παρατηρείται μία ξηρή-θερμή περίοδος και μια υγρή-ψυχρή. Κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο παρατηρούνται οι μέγιστες θερμοκρασίες (πλησίον των 30 βαθμών), σε αντίθεση με τους υπόλοιπους μήνες που οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες, καθώς διανύεται μια μεταβατική περίοδος από και προς τον χειμώνα.

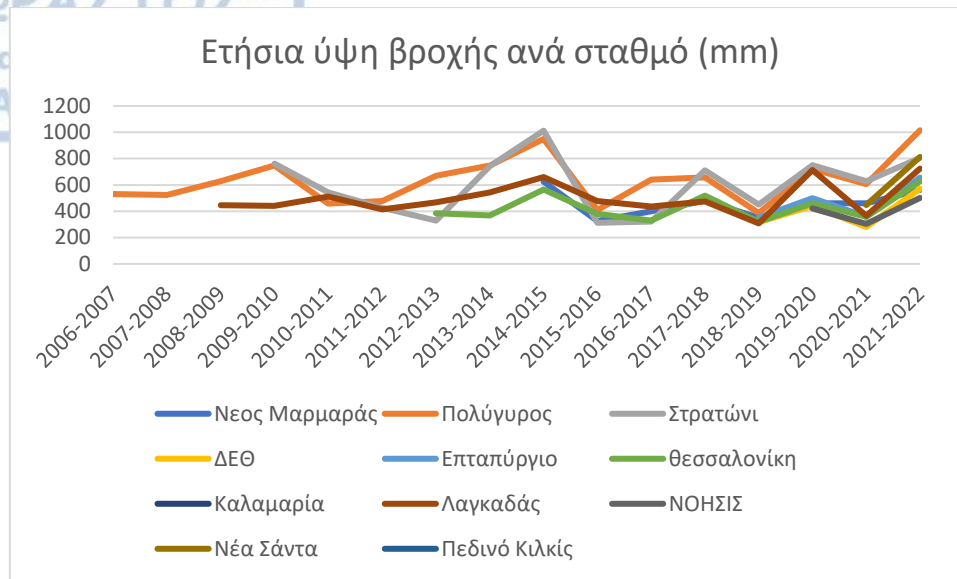
### 1.5.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα περιλαμβάνουν όλες τις μορφές με τις οποίες το νερό φτάνει στην επιφάνεια της γης, όπως για παράδειγμα η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι, κ.λπ. Αυτές οι ποσότητες του νερού μετρούνται με τους βροχομετρικούς σταθμούς που είναι εγκαταστημένοι σε διάφορες περιοχές. Στον Πίνακα 6 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα ετήσια ύψη βροχής από την ημερομηνία έναρξης του κάθε σταθμού για κάθε ολοκληρωμένο υδρολογικό έτος Οκτωβρίου-Σεπτεμβρίου (ετήσια ύψη βροχής είναι ίσα με το άθροισμα των μηνιαίων υψών βροχής).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3 ο σταθμός του Πολυγύρου παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές ύψους βροχής με μέγιστες τα υδρολογικά έτη 2014-2015 και 2021-2022. Αυτό οφείλεται στο ότι είναι εγκατεστημένος σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς. Τη δεύτερη θέση καταλαμβάνει ο σταθμός του Στρατωνίου, που σε αντίθεση με το πολύ μικρό υψόμετρο εγκατάστασης, παρουσιάζει τιμές κοντά σε αυτές του σταθμού του Πολυγύρου. Αντίθετα, ο σταθμός της Θεσσαλονίκης παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές συνολικά για όλα τα έτη λειτουργίας του.

**Πίνακας 6:** Ύψη βροχής ανά υδρολογικό έτος σε όλους τους σταθμούς πλησίον της ερευνώμενης περιοχής (Πηγή: Meteo).

| Από    | Έως    | Νέος<br>Μαρμαράς | Πολύγυρος | Στρατώνι | ΔΕΘ   | Επταπύργιο | Θεσσαλονίκη | Καλαμαριά | Λαγκαδάς | Νόησις | Νέα<br>Σάντα | Πεδινό<br>Κιλκίς |
|--------|--------|------------------|-----------|----------|-------|------------|-------------|-----------|----------|--------|--------------|------------------|
| Οκτ-06 | Σεπ-07 |                  | 531,8     |          |       |            |             |           |          |        |              |                  |
| Οκτ-07 | Σεπ-08 |                  | 523,1     |          |       |            |             |           |          |        |              |                  |
| Οκτ-08 | Σεπ-09 |                  | 627,3     |          |       |            |             |           | 447      |        |              |                  |
| Οκτ-09 | Σεπ-10 |                  | 748,6     | 763,3    |       |            |             |           | 442      |        |              |                  |
| Οκτ-10 | Σεπ-11 |                  | 458,8     | 542,4    |       |            |             |           | 511,4    |        |              |                  |
| Οκτ-11 | Σεπ-12 |                  | 477,6     | 425,4    |       |            |             |           | 414      |        |              |                  |
| Οκτ-12 | Σεπ-13 |                  | 669,7     | 330,2    |       |            | 384,8       |           | 467      |        |              |                  |
| Οκτ-13 | Σεπ-14 |                  | 747       | 742      |       |            | 368,6       |           | 542,9    |        |              |                  |
| Οκτ-14 | Σεπ-15 | 625,2            | 948,6     | 1012,4   |       |            | 564,4       |           | 659,8    |        |              |                  |
| Οκτ-15 | Σεπ-16 | 326,6            | 409,7     | 312,4    |       |            | 379,2       |           | 476,6    |        |              |                  |
| Οκτ-16 | Σεπ-17 | 399              | 640       | 320,7    |       |            | 330         |           | 437,2    |        |              |                  |
| Οκτ-17 | Σεπ-18 | 479,8            | 658,2     | 711,9    |       |            | 519,4       |           | 475      |        |              |                  |
| Οκτ-18 | Σεπ-19 | 351              | 386,8     | 451,5    | 317,4 | 351,8      | 319,6       |           | 307,8    |        |              |                  |
| Οκτ-19 | Σεπ-20 | 460,8            | 719,9     | 750,2    | 441,8 | 500,1      | 460         |           | 714      | 421,8  |              |                  |
| Οκτ-20 | Σεπ-21 | 460,2            | 607,2     | 628,2    | 280,6 | 358        | 357,8       |           | 366,8    | 304    | 447,4        |                  |
| Οκτ-21 | Σεπ-22 | 563,8            | 1015,6    | 806,3    | 571   | 656,2      | 627,4       | 728,6     | 724,4    | 501,8  | 813          | 639,6            |



**Γράφημα 3:** Ετήσια ύψη βροχής ανά Σταθμό (Πηγή: Meteo).

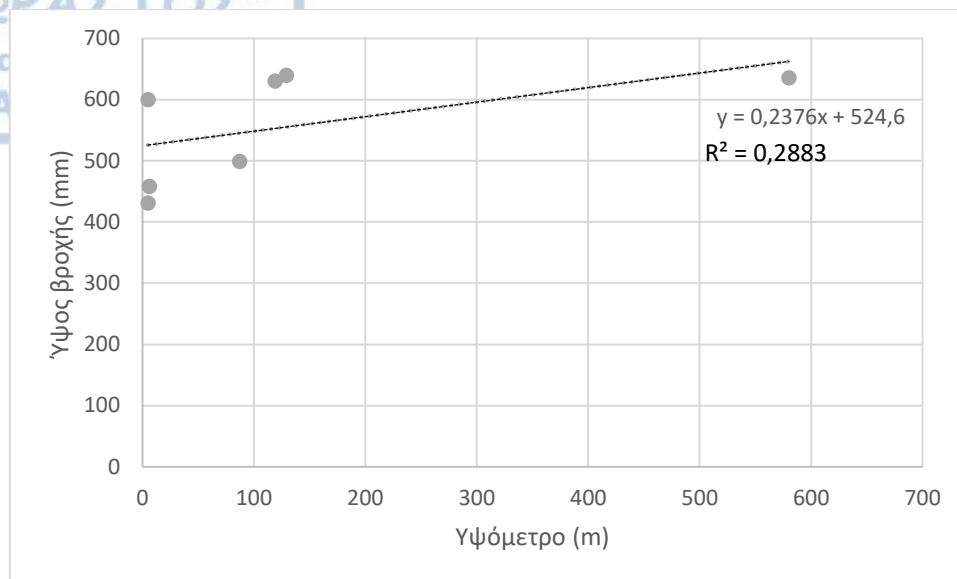
#### 1.5.4 Σχέση βροχής - Υψομέτρου

Ο πιο καθοριστικός παράγοντας στην κατανομή των βροχοπτώσεων αποτελεί το υψόμετρο της ερευνώμενης περιοχής. Αυτά τα δύο μεγέθη συνδέονται με μία σχέση πρώτου βαθμού ( $y=ax + \beta$ ), με εξαρτώμενη μεταβλητή το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και ανεξάρτητη μεταβλητή το απόλυτο υψόμετρο κάθε σταθμού. Η σχέση αυτή ονομάζεται εξίσωση της βροχοβαθμίδας και η κύρια χρήση αυτής είναι η δημιουργία του βροχομετρικού χάρτη μίας περιοχής.

Στην περιοχή και πλησίον αυτής είναι εγκατεστημένοι έντεκα (11) σταθμοί, από όπου και λήφθηκαν δεδομένα με σκοπό να υπολογιστεί η εξίσωση της βροχοβαθμίδας. Αναλυτικότερα, χρησιμοποιήθηκαν επτά (7) εξ αυτών ως πιο αντιπροσωπευτικοί για κάθε περιοχή οι σταθμοί: Νέος Μαρμαράς (6 m), Πολύγυρος (580 m), Στρατώνι (5 m), Λαγκαδάς (87 m), Νέα Σάντα (119 m), Πεδινό Κιλκίς (129 m) και ένας σταθμός από την περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης στο αεροδρόμιο Μίκρας (5 m) (Πίνακας 7).

**Πίνακας 7:** Υψόμετρο και ύψος βροχής σταθμών για εύρεση της βροχοβαθμίδας.

| Σταθμός       | Υψόμετρο (m) | Ύψος Βροχής (mm) |
|---------------|--------------|------------------|
| Νέος Μαρμαράς | 6            | 458,3            |
| Πολύγυρος     | 580          | 635,6            |
| Στρατώνι      | 5            | 599,7            |
| Θεσσαλονίκη   | 5            | 431,1            |
| Λαγκαδάς      | 87           | 498,9            |
| Νέα Σάντα     | 119          | 630,2            |
| Πεδινό Κιλκίς | 129          | 639,6            |



**Γράφημα 4:** Διάγραμμα συσχέτισης ύψους βροχής και υψόμετρου.

**Εξίσωση 1:** Βροχοβαθμίδα

$$P(\text{mm}) = 0.2376 * H(\text{m}) + 524.6$$

Με βάση τη σχέση που προκύπτει, παρατηρείται ότι η μεταβολή του μέσου ετήσιου ύψους βροχής  $P$  (σε mm) σε σχέση με το υψόμετρο  $H$  (σε m) είναι της τάξης των 23,76 mm ανά 100 m. Με την ίδια διαδικασία και δεδομένου ότι το μέσο υψόμετρο της περιοχή μέσης είναι 391,26 m (Min: 0, Max: 1180,1, Mean: 391,26 από Πίνακα 2), προκύπτει ότι το μέσο ύψος κατακρημνισμάτων που δέχεται η περιοχή έρευνας είναι  $P=617,56$  mm.

**Πίνακας 8:** Μέσες τιμές κατακρημνισμάτων περιοχής έρευνας..

|                    | Ο    | Ν    | Δ    | Ι    | Φ    | Μ    | Α    | Μ    | Ι    | Ι    | Α    | Σ    | Ετήσιο |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Αρχικές τιμές (mm) | 58,9 | 47,9 | 57,8 | 50,9 | 40,6 | 53,6 | 42,6 | 34,4 | 48   | 31,6 | 31,1 | 49,2 | 546,6  |
| Μέσες τιμές (mm)   | 66,5 | 54,1 | 65,3 | 57,5 | 45,8 | 60,5 | 48,1 | 38,8 | 54,2 | 35,7 | 35,1 | 55,5 | 617,56 |

\*\*(όπου μέσες τιμές = αρχικές τιμές \*617,56/546,6)

Με βάση το ύψος βροχής που υπολογίστηκε  $P=617,56$  mm καθώς και την έκταση της ερευνώμενης περιοχή  $E=1597,41$  km<sup>2</sup> προκύπτει ότι ο συνολικός όγκος βροχής που δέχεται η περιοχή είναι:

$$V = 0,61756 \text{ m} * 1597,41 * 10^6 \text{ m}^2 = 986,5 * 10^6 \text{ m}^3$$

### 1.5.5 Εξατμισοδιαπνοή

Μια πολύ σημαντική παράμετρος του υδρολογικού ισοζυγίου διατελεί η εξατμισοδιαπνοή, διότι αυτή εκφράζει τις ποσότητες των υδάτων που επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα, λόγω της εξατμησης από τις υδάτινες επιφάνειες, από το έδαφος καθώς και της διαπνοής από τη βλάστηση (πραγματική εξατμισοδιαπνοή) (Βουδούρης, 2021).

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύει το νερό που θα χρησιμοποιούνταν από τα φυτά ή θα εξατμιζόταν σε περίπτωση που τα αποθέματα νερού ήταν αρκετά για να γίνει αντιστάθμιση των απωλειών.

Για την μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής προτιμάται να χρησιμοποιούνται εμπειρικές μέθοδοι όπως: Thornthwaite (1946), Blaney-Criddle (1950), Penman (1948, 1956), Ivanov (1954), Turc (1951), Coutagne (1954), Thornthwaite-Mather (1955).

Στην ερευνώμενη περιοχή εφαρμόστηκε η μέθοδος Thornthwaite-Mather (1955), διότι χρησιμοποιεί περισσότερες παραμέτρους και θεωρείται πιο αξιόπιστη.

#### *Thornthwaite-Mather*

Ο τύπος της μεθόδου είναι:

#### *Εξίσωση 2: Thornthwaite-Mather*

$$E'_{\Delta} = 16 * \left(\frac{10T}{I}\right)^{\alpha} * N$$

όπου:

- $E_p$  = μέση μηνιαία δυνητική τιμή εξατμισοδιαπνοής (mm)
- $T$  = μέση μηνιαία Θερμοκρασία °C

Η παράμετρος της θερμοκρασίας υπολογίστηκε με βάση τους εξής πέντε (5) βροχομετρικούς σταθμούς: Νέος Μαρμαράς, Πολύγυρος, Στρατώνι, Θεσσαλονίκη, Λαγκαδάς, Νέα Σάντα και Πεδινό Κιλκίς με δεδομένα από την ημερομηνία έναρξης μέχρι 08-2023 (Πίνακας 5).

- $\alpha = 0,016 * I + 0,5$
- $I$  ετήσιος θερμικός δείκτης  $i = (T/5)^{1,514}$  μηνιαίος θερμικός δείκτης
- $N$  = συντελεστής εξαρτώμενος από το γεωγραφικό πλάτος (50°) (βιβλιογραφικό)

**Πίνακας 9:** Συντελεστής  $N$  εξαρτώμενος από το γεωγραφικό πλάτος ( $50^\circ$ ) (Τροποποιημένο από Βουδούρη Κ., 2017).

| N          | I    | Φ    | M    | A    | M    | I    | I    | A    | Σ    | O    | N    | Δ   |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| $50^\circ$ | 0,74 | 0,78 | 1,02 | 1,15 | 1,33 | 1,36 | 1,37 | 1,25 | 1,06 | 0,92 | 0,76 | 0,7 |

**Πίνακας 10:** Υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με την μέθοδο Thornthwaite-Mather.

|                           | I    | Φ    | M    | A    | M     | I     | I     | A     | Σ     | O    | N    | Δ    |              |
|---------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------------|
| <b>T °C</b>               | 6,3  | 7,7  | 9,4  | 13,3 | 18,7  | 23,3  | 26,5  | 26,4  | 21,5  | 15,9 | 12,3 | 8,1  | 15,7 (M.O)   |
| <b>i</b>                  | 1,4  | 1,9  | 2,6  | 4,3  | 7,3   | 10,2  | 12,4  | 12,4  | 9,1   | 5,7  | 3,9  | 2,0  | 73,74 = I    |
| <b>E<sub>Δ</sub> (mm)</b> | 12,3 | 17,2 | 24,0 | 42,8 | 75,7  | 109,3 | 135,6 | 134,7 | 95,6  | 57,7 | 37,6 | 18,7 | <b>761,7</b> |
| <b>n</b>                  | 0,74 | 0,78 | 1,02 | 1,15 | 1,33  | 1,36  | 1,37  | 1,25  | 1,06  | 0,92 | 0,76 | 0,7  |              |
| <b>E'Δ (mm)</b>           | 9,1  | 13,4 | 24,5 | 49,3 | 100,7 | 148,7 | 185,7 | 168,4 | 101,3 | 53,1 | 28,6 | 13,1 | <b>896,3</b> |

Όπου :

- $\alpha=0,016 \cdot I+0,5=1,67$  &  $I=73,74$
- $E_{\Delta}=16 \cdot \left(\frac{10T}{I}\right)^{\alpha}$

Με την συγκεκριμένη μέθοδο (Thornthwaite-Mather) μπορεί να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής  $E_{\pi}$ , για την περιοχή που τίθεται προς έρευνα. Θεωρώντας ότι κατά την έναρξη του έτους (Ιανουάριος) το έδαφος είναι κορεσμένο, συγκρίνονται οι τιμές της βροχόπτωσης  $P$  με την δυνητική εξατμισοδιαπνοή  $E'_{\Delta}$ . Σε περίπτωση που η τιμή της βροχόπτωσης  $P$  είναι μεγαλύτερη, τότε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_{\pi}$  είναι ίση με την δυνητική  $E'_{\Delta}$  και η διαφορά της βροχόπτωσης  $P$  με την πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_{\pi}$  καταλήγει στην ολική απορροή  $Q$ . Στην περίπτωση που δεν υπάρχει κορεσμός του εδάφους, γίνεται η αποθήκευση στο έδαφος μέχρι να γίνει κορεσμός σε υγρασία και να πραγματοποιηθεί η μέγιστη ικανότητα κατακράτησης (Δείκτης Εδαφικής Υγρασίας, ΔΕΥ) (Κακλής Τ., 2011).

Ο δείκτης εδαφικής υγρασίας (ΔΕΥ) στην περιοχή έρευνας εκτιμήθηκε από την βιβλιογραφία και παράχθηκε ο Πίνακας 11.

Ακολούθως στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα με τις μηνιαίες τιμές πραγματικής εξατμισοδιαπνοής  $E_{\pi}$  καθώς και της απορροής  $Q$  σύμφωνα με την μέθοδο Thornthwaite-Mather.

Συνεπώς από τον Πίνακα 12 και την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite-Mather, προκύπτει ότι ο όγκος που εξατμίζεται είναι ίσος:

$$V=0,4825 \text{ m} \cdot 1597,41 \cdot 10^6 \text{ m}^2 = 770,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

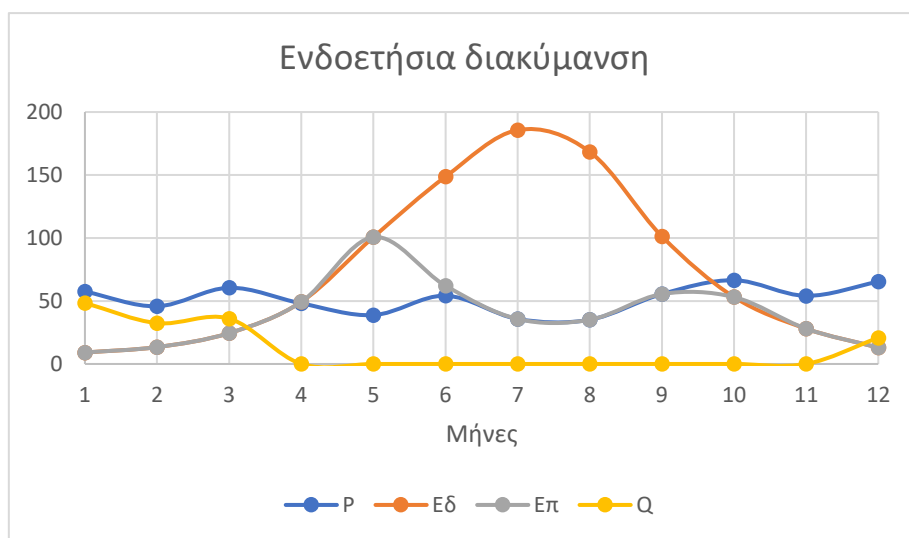
**Πίνακας 11:** Τιμές εδαφικών δεικτών εδαφικής υγρασίας (mm) ανά σχηματισμό.

| Σχηματισμός                         | ΔΕΥ       |
|-------------------------------------|-----------|
| Τεταρτογενείς & Νεογενείς αποθέσεις | 130       |
| Αποθέσεις Πλειστοκαίνου             | 120       |
| Ψαμμίτες/φυλλίτες                   | 60        |
| Ασβεστόλιθοι                        | 60        |
| Γνεύσιοι, Γρανίτες Αμφιβολίτες      | 60        |
| Υπερβασικά πετρώματα                | 60        |
| Ρυόλιθοι                            | 60        |
| Σχιστόλιθοι                         | 55        |
| Μάρμαρα                             | 40        |
| <b>M.O.</b>                         | <b>71</b> |

**Πίνακας 12:** Εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite-Mather για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

|               | P (mm) | E <sub>Δ</sub> (mm) | ΔΕΥ  | E <sub>π</sub> (mm) | Q(mm) |
|---------------|--------|---------------------|------|---------------------|-------|
| <b>I</b>      | 57,5   | 9,1                 | 71   | 9,1                 | 48,4  |
| <b>Φ</b>      | 45,8   | 13,4                | 71   | 13,4                | 32,4  |
| <b>M</b>      | 60,5   | 24,5                | 71   | 24,5                | 36    |
| <b>A</b>      | 48,1   | 49,3                | 69,8 | 49,3                | 0     |
| <b>M</b>      | 38,8   | 100,7               | 7,9  | 100,7               | 0     |
| <b>I</b>      | 54,2   | 148,7               | 0    | 62,1                | 0     |
| <b>I</b>      | 35,7   | 185,7               | 0    | 35,7                | 0     |
| <b>A</b>      | 35,1   | 168,4               | 0    | 35,1                | 0     |
| <b>Σ</b>      | 55,5   | 101,3               | 0    | 55,5                | 0     |
| <b>O</b>      | 66,5   | 53,1                | 13,4 | 53,1                | 0     |
| <b>N</b>      | 54,1   | 28                  | 39,5 | 28                  | 0     |
| <b>Δ</b>      | 65,3   | 13                  | 71   | 13                  | 20,8  |
| <b>ΣΥΝΟΛΟ</b> | 617,1  | 896,3               |      | 479,5               | 137,6 |

Στο Γράφημα 5 απεικονίζεται η ενδοετήσια διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής (πραγματικής E<sub>π</sub> και δυνητικής E'<sub>Δ</sub>) σε σχέση με την βροχόπτωση P και την ολική απορροή Q. Αναλυτικότερα, από το μήνα Ιανουάριο μέχρι το μήνα Μάιο, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή E<sub>π</sub> ταυτίζεται με την δυνητική E'<sub>Δ</sub>, διότι έχουμε πλεόνασμα στο ποσοστό βροχής P σε σχέση με την εξάτμιση. Αντιθέτως, από τους μήνες Ιούνιο μέχρι Σεπτέμβριο η πραγματική εξατμισοδιαπνοή E<sub>π</sub> είναι μικρότερη της δυνητικής E'<sub>Δ</sub> και μερικώς ταυτίζεται με την τιμή της βροχής P. Αυτό πραγματοποιείται διότι, δεν υπάρχει επάρκεια σε νερό έτσι ώστε να εξατμιστεί. Τέλος, την περίοδο Οκτώβριο με Δεκέμβριο υπάρχει ταύτιση των δύο (2) τιμών εξατμισοδιαπνοής λόγω του ότι οι βροχοπτώσεις είναι σημαντικές.



**Γράφημα 5:** Ενδοετήσια διακύμανση των τιμών P, E<sub>Δ</sub>, E<sub>π</sub>, Q σε mm.

### 1.5.6 Υδρολογικό Ισοζύγιο

Για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων σε μία περιοχή μελέτης απαραίτητη είναι η χρήση της εξίσωσης του υδρολογικού ισοζυγίου. Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιεί τον παράγοντα P για την βροχόπτωση, τον E για την εξατμισοδιαπνοή, τον I για την κατείσδυση και τέλος το R για την επιφανειακή απορροή (Βουδούρης, 2021).

**Εξίσωση 3:** Υδρολογικό Ισοζύγιο

$$P = E + I + R$$

Το άθροισμά των παραγόντων της κατείσδυσης I και της επιφανειακής απορροής R μπορούν να αντικατασταθούν με την ολική απορροή Q. Συνεπώς, η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου, διαμορφώνεται ως εξής:

**Εξίσωση 4:** Τροποποιημένη μορφή Υδρολογικού Ισοζυγίου

$$P = E + Q$$

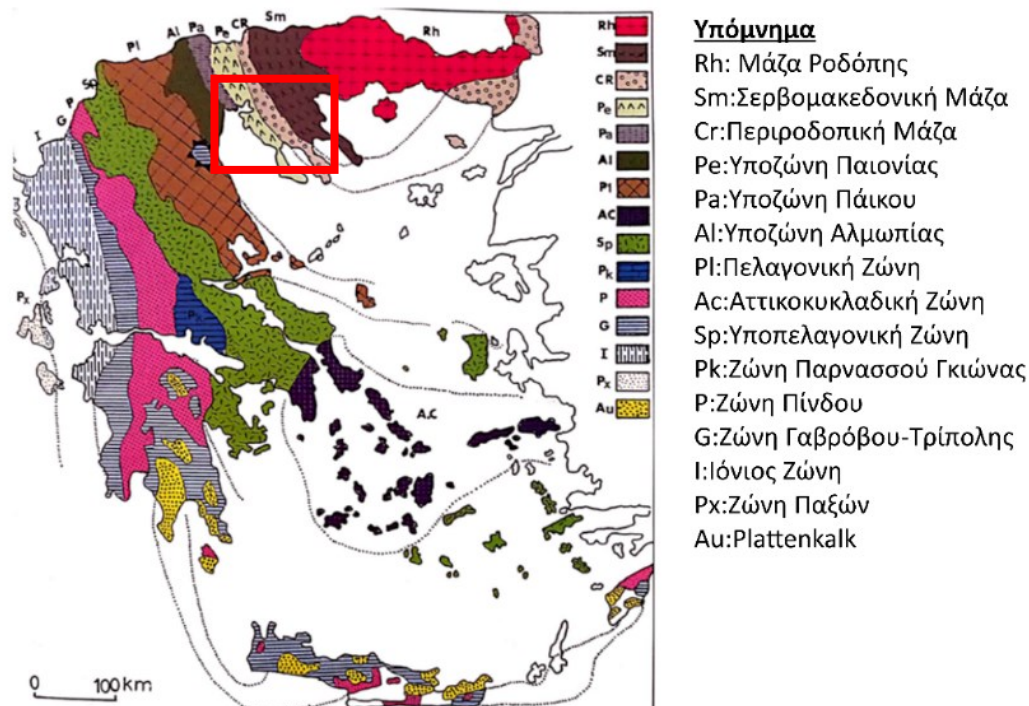
Σύμφωνα με την διαδικασία που προηγήθηκε στο προηγούμενο υπο-κεφάλαιο, προέκυψαν οι τιμές τις βροχόπτωσης P, τις πραγματικής εξατμισοδιαπνοής  $E_p$  και της ολικής απορροής Q. Στον Πίνακα 13 που ακολουθεί παρουσιάζονται αυτές οι τιμές καθώς και η μετατροπή αυτών σε ποσοστό και όγκο νερού με δεδομένο ότι το εμβαδόν της περιοχής έρευνας είναι  $1597,4 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ .

**Πίνακας 13:** Υπολογισμός ισοζυγίου με την μέθοδο Thornthwaite-Mather

|                    | P        | E        | Q        |
|--------------------|----------|----------|----------|
| %                  | 100      | 77,7     | 22,3     |
| mm                 | 617,1    | 479,5    | 137,6    |
| m                  | 0,6171   | 0,4795   | 0,1376   |
| $10^6 \text{ m}^3$ | 985,7617 | 765,9581 | 219,8036 |

## 2. Γεωλογία της περιοχής έρευνας

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας ανήκει σε τρεις γεωτεκτονικές ζώνες αυτές είναι η Σερβομακεδονική Μάζα, η Περιοδοπική Ζώνη και η Υποζώνη Παιονίας που εντάσσεται στη Ζώνη Αξιού (Σχήμα 7) (Μουντράκης, 1983).

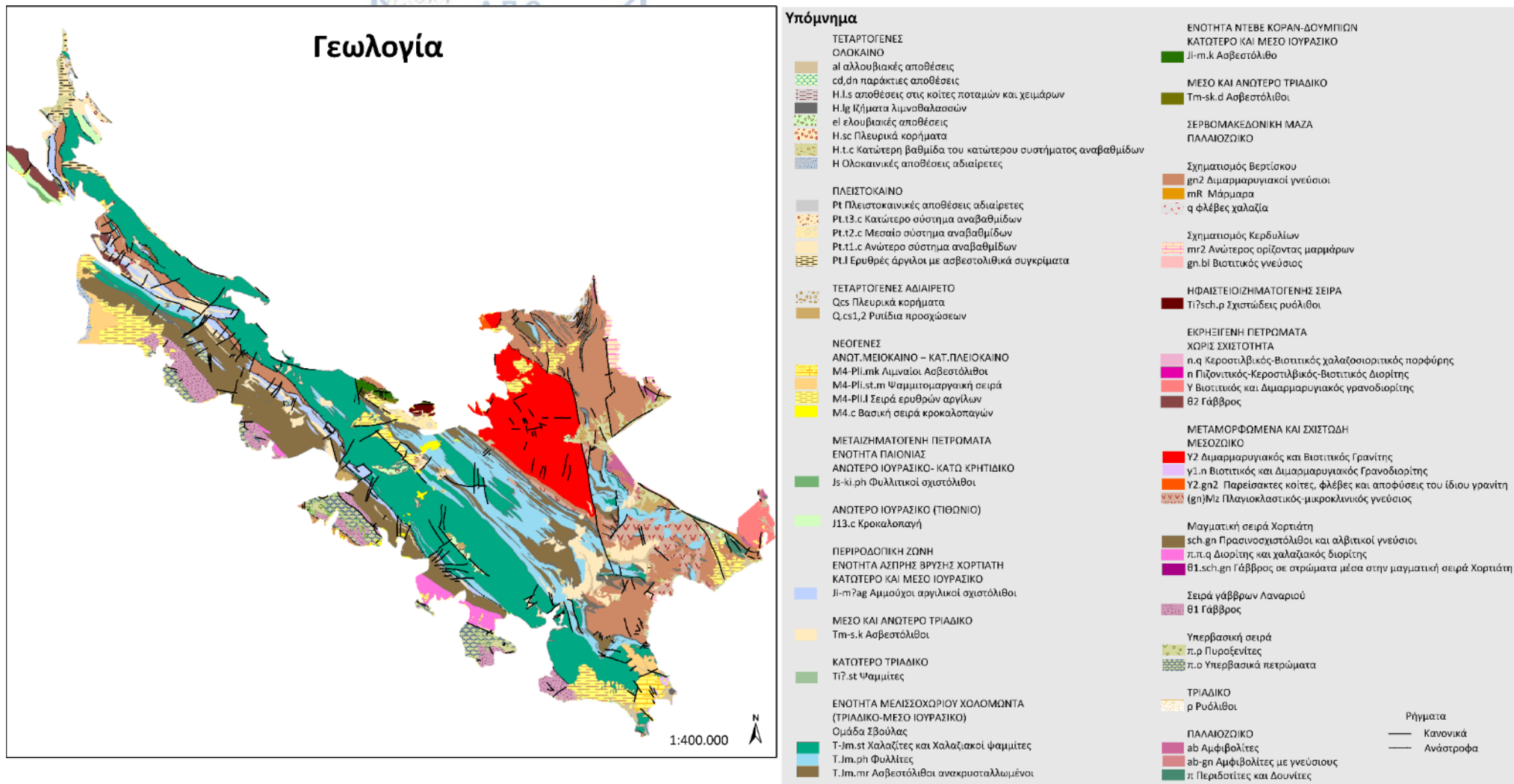


**Σχήμα 7:** Γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδος (Μουντράκης, 1983), με κόκκινο πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή έρευνας.

### 2.1 Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας

Η εξεταζόμενη περιοχή από γεωλογικής άποψης παρουσιάζει μια μεγάλη ποικιλία στους σχηματισμούς που παρατηρούνται. Ξεκινώντας από τους νεότερους, παρουσιάζονται οι Ολοκαινικές και οι Πλειστοκαινικές αποθέσεις, το τεταρτογενές αδιάιρετο καθώς και οι αποθέσεις του Ανωτ. Μειόκαινου.

Ακολουθούν οι ζώνες Παιονίας, Περιοδοπική και Σερβομακεδονική με τους αντίστοιχους σχηματισμούς στην κάθε μία. Και έπειτα οι σχηματισμοί της ηφαιστειοϊζηματογενούς σειράς, των εκρηξιγενών και των μεταμορφωμένων και σχιστωδών πετρωμάτων (Σχήμα 8).



Σχήμα 8: Γεωλογία εξεταζόμενης περιοχής (ArcGis).

### **Ολοκαινικές αποθέσεις**

Η κατηγορία των Ολοκαινικών αποθέσεων συναντάται σημειακά σε όλη την έκταση την περιοχής έρευνας και καταλαμβάνει μία έκταση 64,1 Km<sup>2</sup>. Στις Ολοκαινικές αποθέσεις εντάσσονται όλες οι νεότερες αποθέσεις, όπως οι αλλουβιακές αποθέσεις καθώς και οι αποθέσεις στις κοίτες των ποταμών/χειμάρρων που παρουσιάζονται κατά μήκος των ρεμάτων και έχουν σύσταση κυρίως αμμούχα ή αμμούχα αργιλική. Επιπλέον σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν και οι παράκτιες αποθέσεις που εμφανίζονται ως άμμοι και θίνες κατά μήκος της ακτογραμμής. Στην περιοχή των Ακτί Καστρί και όρμου Αγίου Νικολάου σε αρκετά μικρή έκταση παρατηρούνται ιζήματα λιμνοθαλασσών, συστάσεως από άμμους και αμμούχους αργίλους. Τέλος, σε πιο ορεινά σημεία παρουσιάζονται ελλουβιακές αποθέσεις και πλευρικά κορήματα σε αρκετά μικρές επιφάνειες.

### **Πλειστοκαινικές αποθέσεις**

Σε όλη την περιοχή έρευνας εκτείνονται οι σχηματισμοί του Πλειστοκαίνου και καταλαμβάνουν έκταση 76,7 Km<sup>2</sup>, κυρίως περιμετρικά των ποτάμιων συστημάτων. Αυτοί σχηματισμοί είναι το κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων που αποτελείται από χαλίκια με ένα αργιλώδες κάλυμμα και η κορυφή του βρίσκεται στα 6-8 μέτρα. Συνεχίζει το μεσαίο σύστημα αναβαθμίδων, που αποτελείται από κροκάλες και χαλίκια στα 10-15 μέτρα και το ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων στα 40-50 μέτρα πάνω από την στάθμη των ποταμών με σύσταση από χαλίκια και άμμους. Τέλος, ακολουθούν οι ερυθρές άργιλοι με τα ασβεστολιθικά συγκρίματα.

### **Τεταρτογενές αδιαίρετο**

Πλευρικά κορήματα και ριπίδια προσχώσεων διαφορετικής ηλικίας παρουσιάζονται σε μικρή έκταση (12,8 Km<sup>2</sup>), καθ' όλη την περιοχή έρευνας και συναντώνται κυρίως στις πιο ορεινές περιοχές.

### **Αποθέσεις Ανωτ. Μειοκαίνου – Κάτ. Πλειοκαίνου**

Μία έκταση 116,8 Km<sup>2</sup> καταλαμβάνουν οι σχηματισμοί του Αν. Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου στην περιοχή Νότιο-κεντρικά της εξεταζόμενης περιοχής καθώς και νοτιοδυτικά. Πιο συγκεκριμένα, στις περιοχές Θεσσαλονίκης, Δουμπιών, Μεταμόρφωσης, Νικήτης, Αγίου Νικολάου παρουσιάζονται ανοιχτόχρωμοι λιμναίοι ασβεστόλιθοι, η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά (ψαμμίτες, μάργες μικρό-κροκαλοπαγή), η σειρά ερυθρών αργίλων και η βασική σειρά κροκαλοπαγών.

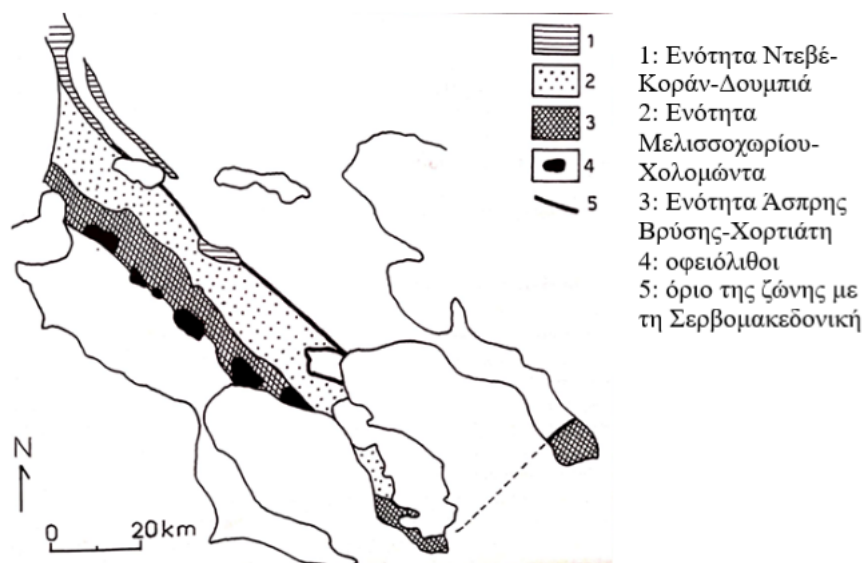
### **Σχηματισμοί Υποζώνης Παιονίας**

Στην ερευνώμενη περιοχή συναντάται η Υποζώνη Παιονίας όπου εντάσσεται στην γενικότερη ζώνη του Αξιού μαζί με άλλες δύο (Υποζώνη Πάικου & Υποζώνη Αλμωπίας). Συναντώνται φυλλιτικοί σχιστόλιθοι του Α. Ιουρασικού-Κ. Κρητιδικού (1,4 Km<sup>2</sup>) καθώς και κροκαλοπαγή του Τιθωνίου (8,4 Km<sup>2</sup>). Οι θέσεις που παρουσιάζονται είναι στην περιοχή της Νεοχωρούδας και του Πενταλόφου.

### Σχηματισμοί Περιοδοπικής Ζώνης

Η Περιοδοπική ζώνη έχει διεύθυνση βορειοδυτικά- νοτιοανατολικά στην δυτική πλευρά της Σερβομακεδονικής και εκτείνεται με πλάτος 10-20 Km. Το κεντρικό τμήμα της Χαλκιδικής καθώς και ένα τμήμα του Νομού Θεσσαλονίκης ανήκει σε αυτήν (Σχήμα 9). Η ζώνη έχει κλίση προς τα βορειοανατολικά περνάει από την άκρη της χερσονήσου του Αγίου Όρους και προεκτείνεται κάτω από την θάλασσα προς τη νήσο της Σαμοθράκης και την περιοχή της Θράκης (Αλεξανδρούπολη).

### Χάρτης της Περιοδοπικής ζώνης



**Σχήμα 9:** Χάρτης της Περιοδοπικής ζώνης (Μουντράκης, 2010).

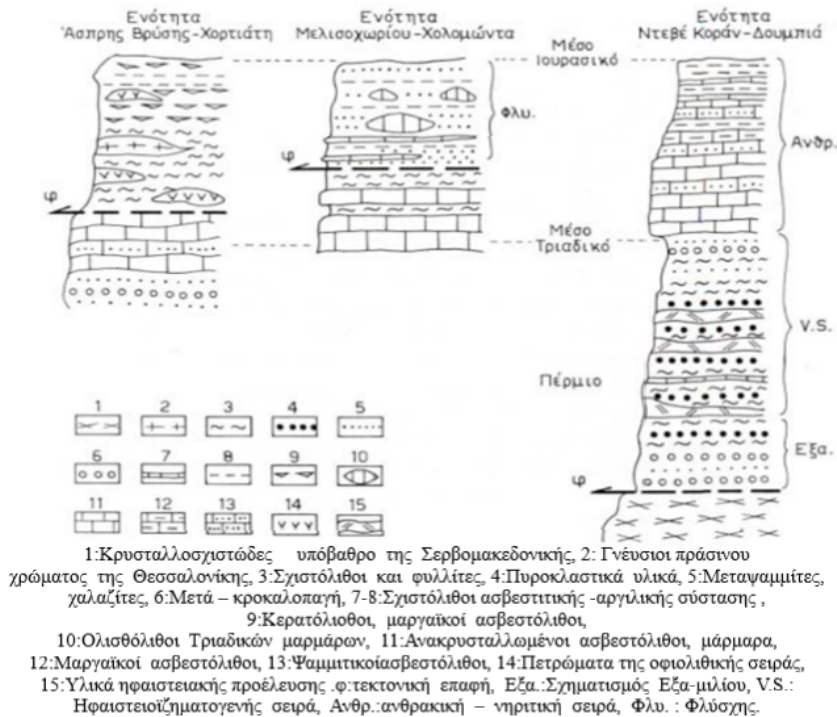
Όπως φαίνεται και στον χάρτη (Σχήμα 9), οι τρεις βασικές ενότητες που συγκροτούν την Περιοδοπική ζώνη (Μουντράκης, 1985) παρουσιάζονται στο Σχήμα 10.

Η ενότητα Ντεβέ Κοράν - Δουμπιά στην περιοχή έρευνας αντιπροσωπεύεται με τους σχηματισμούς των ασβεστολίθων του Ιουρασικού και του Τριαδικού. Αυτοί συναντώνται βόρεια και βορειοανατολικά των Πετροκέρασων και νοτιοανατολικά της Νέας Σάντας και καταλαμβάνουν έκταση 5,6 Km<sup>2</sup>.

Η ενότητα Μελισσοχωρίου- Χολομώντα συναντάται με την μεγαλύτερη έκταση, σε όλη την περιοχή έρευνας με τους σχηματισμούς των ερυθρό-καστανών χαλαζιτών και των χαλαζιακών ψαμμιτών (361,3 Km<sup>2</sup>), των σκοτεινότερων φυλλιτών (141,5 Km<sup>2</sup>) και των ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων της ομάδας Σβούλας (82,9 Km<sup>2</sup>).

Η ενότητα Άσπρης Βρύσης -Χορτιάτη αποτελείται από αμμούχους ασβεστολίθους του Ιουρασικού (35,5 Km<sup>2</sup>), ασβεστολίθους του Τριαδικού (15,4 Km<sup>2</sup>) καθώς και ψαμμίτες του Κάτω Τριαδικού (0,6 km<sup>2</sup>) και εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος, σε μικρή έκταση ανάμεσα στους σχηματισμούς της ενότητας Μελισσοχωρίου-Χολομώντα.

### Οι τρεις βασικές ενότητες που συγκροτούν την Περιοδοπική ζώνη



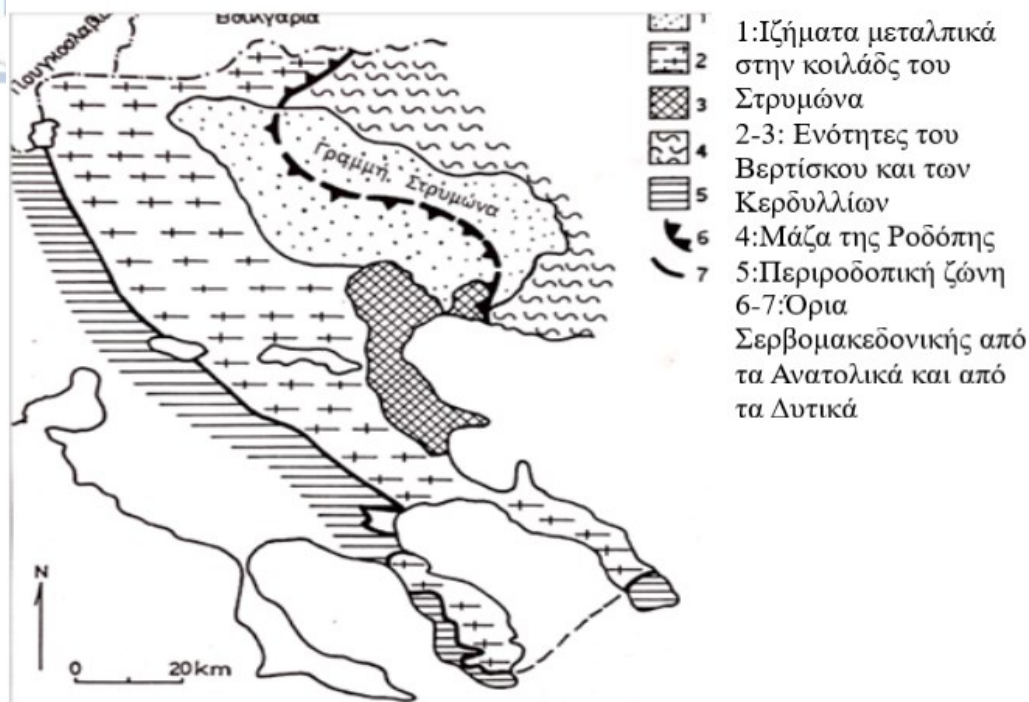
**Σχήμα 10:** Οι τρεις βασικές ενότητες που συγκροτούν την Περιοδοπική ζώνη (Ενότητα Ντεβέ Κοράν -Δουμπιά, Ενότητα Μελισσοχωρίου- Χολομώντα, Ενότητα Ασπρης Βρύσης -Χορτιάτη) (Μουντράκης, 2010).

### Σχηματισμοί Σερβομακεδονικής Μάζας

Η Σερβομακεδονική Μάζα διαχωρίζεται σε δύο υπό-ενότητες πετρωμάτων με τις ονομασίες Ενότητα των Κερδυλλίων και Ενότητα του Βερτίσκου. Η ενότητα των Κερδυλλίων αποτελεί τους πιο βαθύς ορίζοντες της Σερβομακεδονικής Μάζας και παρουσιάζεται στην Ανατολική πλευρά κατά μήκος της περιοχής έρευνας. Η ενότητα αυτή στην ερευνώμενη περιοχή παρουσιάζεται με τις εμφανίσεις των σχηματισμών: Ανώτερος ορίζοντας μαρμάρου (9,5 Km<sup>2</sup>) και βιοτιτικός γνέυσιος (0,3 Km<sup>2</sup>). Έπειτα ως ανώτερο επίπεδο της ζώνης παρουσιάζεται προς τα δυτικά και σε επαφή η ενότητα του Βερτίσκου.

Ο σχηματισμός του Βερτίσκου παρουσιάζεται με τους σχηματισμούς των διμαρμαρυγιακών γνευσίων όπου καταλαμβάνουν μία αρκετά μεγάλη έκταση (213,4 Km<sup>2</sup>) καθώς και των μαρμάρων και φλεβών χαλαζία με έκταση 5 Km<sup>2</sup>.

### Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας



Σχήμα 11: Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας (Μουντράκης, 2010).

#### Ηφαιστειογενής σειρά

Βόρεια και κεντρικά της ερευνώμενης περιοχής υπάρχουν μικρής έκτασης εμφανίσεις σχιστωδών ρυολίθων, υπόλευκων, βλαστοπορφυριτικών, σερικιτικών σχιστολίθων με έκταση 2,6 Km<sup>2</sup>.

#### Εκρηξιγενή πετρώματα (χωρίς σχιστότητα)

Τα εκρηξιγενή πετρώματα καταλαμβάνουν μικρή έκταση συνολικά (26,9 Km<sup>2</sup>). Η κατηγορία αυτή αποτελείται από τον σχηματισμό του κεροστιλβικού-βιοτιτικού χαλαζοδιοριτικού πορφύρη με μια μικρή εμφάνιση νότια του Πατελιδά, από τον πιζονιτικό-κεροστιλβικό-βιοτιτικό διορίτη νοτιοανατολικά της Μεγάλης Παναγίας, από τον βιοτιτικό και διμαρμαρυγικό γρανοδιορίτη στην περιοχή της Ιερισσού και τέλος από τον γάββρο που παρουσιάζεται κυρίως στην βορειοδυτική πλευρά της οριοθετημένης περιοχής.

#### Μεταμορφωμένα και σχιστώδη πετρώματα

Οι σχηματισμοί που συντελούν αυτήν την ομάδα είναι ο διμαρμαρυγικός και βιοτιτικός γρανίτης (126,4 Km<sup>2</sup>) καθώς και οι παρείσακτες κοίτες, φλέβες και αποφύσεις του ίδιου γρανίτη (1,1 Km<sup>2</sup>) που παρουσιάζονται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας. Επιπλέον, παρουσιάζονται μικρές εμφανίσεις στην περιοχή της Χερσονήσου της Σιθωνίας από βιοτιτικούς και διμαρμαρυγικούς γρανοδιορίτες (1,5 Km<sup>2</sup>) και ο σχηματισμός των πλαγιοκλαστικών-μικροκλινικών γνευσίων που καταλαμβάνουν έκταση 39,6 Km<sup>2</sup> και παρουσιάζονται ως μικρές εμφανίσεις σε όλη την έκταση του Υποσυστήματος Χολομώντα-Ωραιοκάστρου.

### **Μαγματική σειρά Χορτιάτη**

Η μαγματική σειρά Χορτιάτη αποτελείται από τις εμφανίσεις των πρασινοσχιστολιθικών και αλβιτικών γνευσίων ( $131,7 \text{ Km}^2$ ), των διοριτών και των χαλαζιακών διοριτών ( $14,6 \text{ Km}^2$ ) καθώς και τους γάββρους σε στρώσεις μέσα στη μαγματική σειρά Χορτιάτη ( $0,1 \text{ Km}^2$ ). Οι γνεύσιοι παρουσιάζονται σαν μια ενιαία εμφάνιση από ΒΒΔ έως ΝΝΑ, ενώ οι διορίτες ακολουθούν και έρχονται σε επαφή με τους γνευσίους.

### **Σειρά γάββρων Λαναριού**

Οι γάββροι του Λαναρίου εκτείνονται κατά μήκος της νοτιοανατολικής πλευράς σε σχετικά μικρές εμφανίσεις ( $0,1 \text{ Km}^2$ ) και έρχονται σε επαφή με τους πρασινοσχιστόλιθους και τους αλβιτικούς γνευσίους.

### **Υπερβασική σειρά**

Η υπερβασική σειρά αποτελείται από τον σχηματισμό των πυροξένων ( $7,2 \text{ Km}^2$ ) που εμφανίζονται σε επαφή με τους γάββρους της σειράς Λαναρίου κατά μήκος της νοτιοανατολικής πλευράς και αντίστοιχα τα υπερβασικά πετρώματα ( $36,2 \text{ Km}^2$ ) που βρίσκονται σε επαφή με τους πρασινοσχιστόλιθους και τους αλβιτικούς γνευσίους.

### **Ρυόλιθοι**

Ο σχηματισμός των Τριαδικών ρυολίθων ( $0,2 \text{ Km}^2$ ) παρουσιάζεται στις θέσεις ΒΒΔ και ΒΒΑ της περιοχής των Δουμπιών σε πολύ μικρές εμφανίσεις. Οι ρυόλιθοι είναι σχιστώδεις και βλαστοπορφυριτικοί.

### **Αμφιβολίτες, γνεύσιοι περιοδοτίτες και δουνίτες του Παλαιοζωικού**

Οι εμφανίσεις των αμφιβολιτών ( $7,4 \text{ Km}^2$ ) βρίσκονται στην ανατολική πλευρά του ορίου έρευνας σε επαφή με τους γνευσίους. Οι αμφιβολίτες είναι σκοτεινότεφροι σε λεπτά στρώματα και καλή στρώση με σημειακές αλλαγές με πλαγιοκλαστικό μικροκλινικό γνεύσιο.

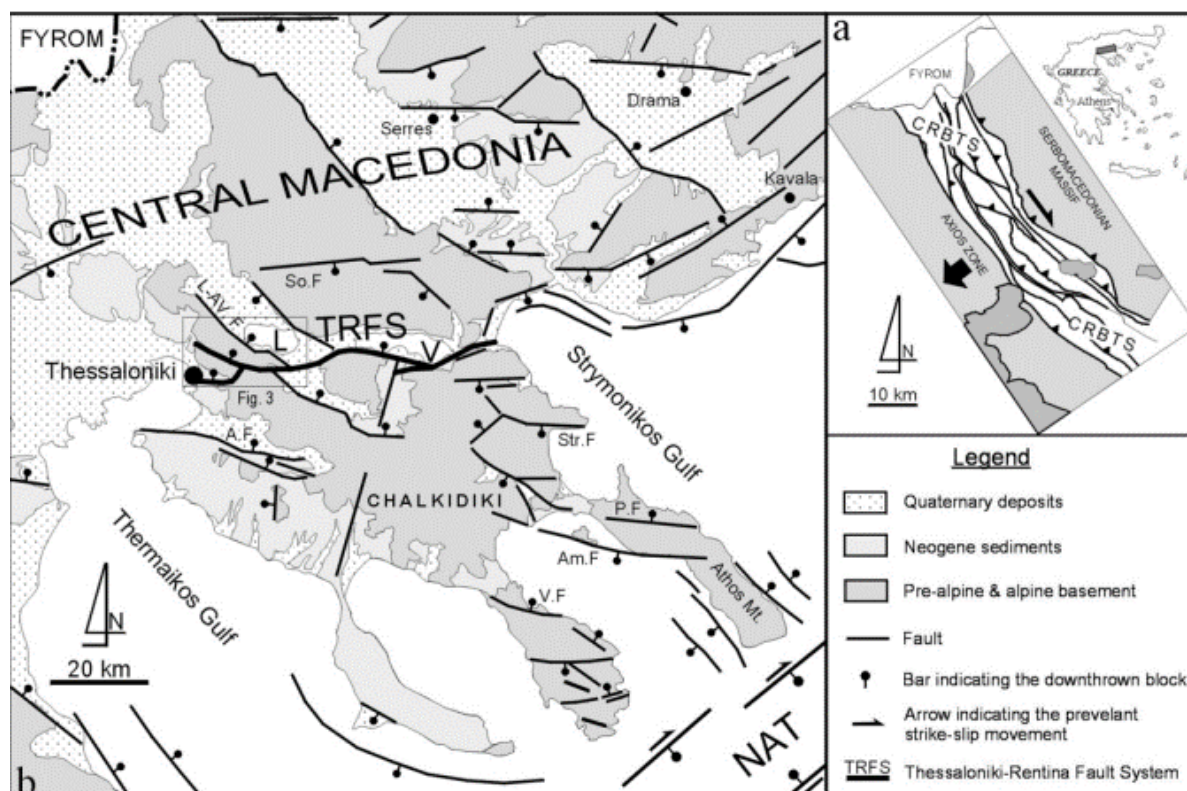
Τέλος, οι περιοδοτίτες και οι δουνίτες ( $3,7 \text{ Km}^2$ ) παρουσιάζονται και αυτοί στο ανατολικό όριο και γενικά είναι σερπεντινωμένοι σε ταλκικούς-γραμματιτικούς σχιστολίθους.

### 3. Τεκτονική

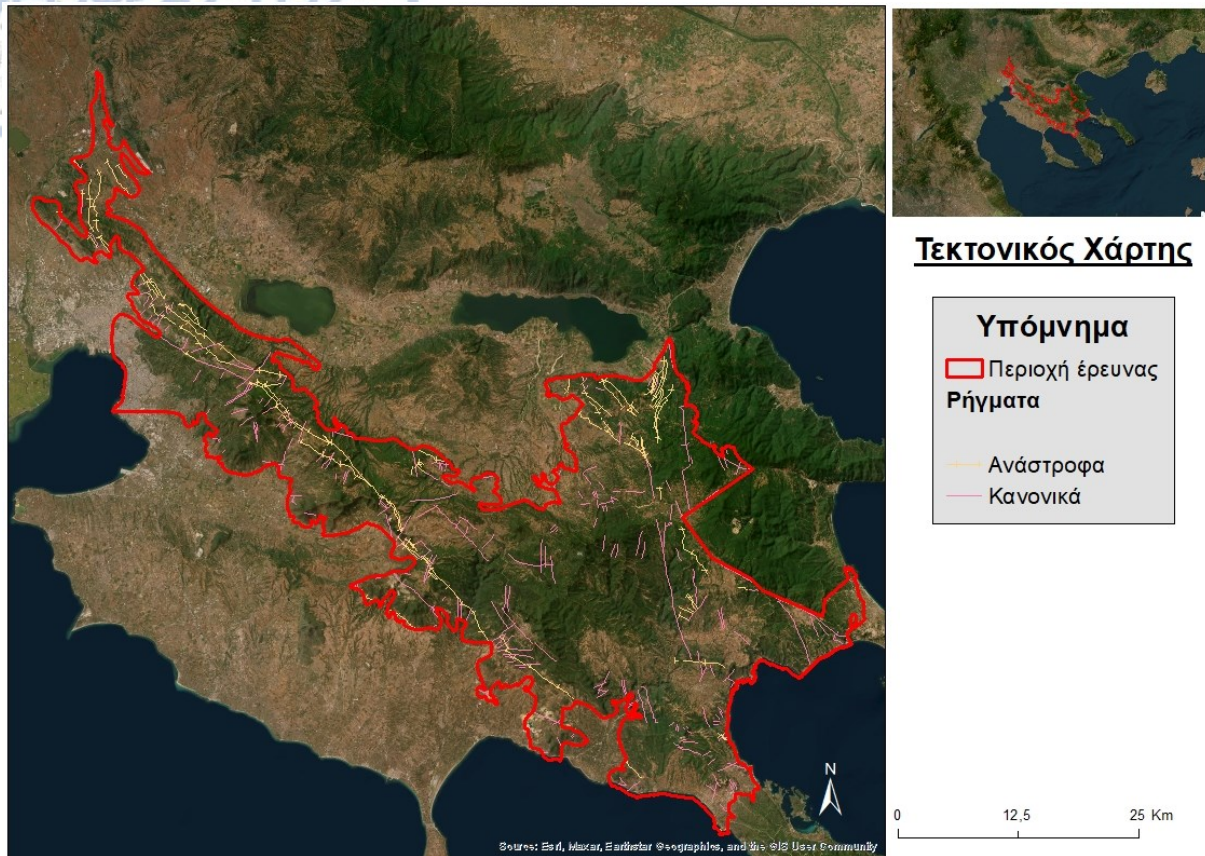
Η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στην Κεντρική Μακεδονία και αποτελεί μέρος του Εσωτερικού Ελληνικού ορογενούς με τις εξής γεωτεκτονικές ζώνες: Σερβομακεδονική Μάζα, Περιροδοπική Ζώνη και Υποζώνη Παιονίας.

Στο όριο της Σερβομακεδονικής με την Περιροδοπικής Ζώνης εμφανίζονται σχηματισμοί και των δύο ζωνών σε αναστροφή (παλιότερα τεκτονικά τοποθετημένα πάνω στα νεότερα), λόγω της Τριτογενούς πτυχώσεως. Με αποτέλεσμα η επαφή τους να χαρακτηρίζεται από επιπυεύσεις. Αντιθέτως, η επαφή της Σερβομακεδονικής με την Ζώνη Αξιού αποτελεί μια πιο πολύπλοκη τεκτονική megaδομή που περιλαμβάνει λείπια. (Μουντράκης, 2010), (Σχήμα 12: Τρανός κ.ά., 2003).

Κατά την ψηφιοποίηση των γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ που αποτελούν την περιοχή έρευνας, έγινε και ο σχεδιασμός των αναστροφών και κανονικών ρηγμάτων που συναντώνται στην περιοχή. Ο χάρτης αυτός παρουσιάζεται στο Σχήμα 13, όπου με ροζ χρώμα απεικονίζονται τα κανονικά ρήγματα και με πορτοκαλί χρώμα τα αναστροφα με κλίμακα χάρτη 1:500.000.



**Σχήμα 12:** Γενικευμένος γεωλογικός και τεκτονικός χάρτης Κεντρικής Μακεδονίας (Τρανός κ.ά., 2003).



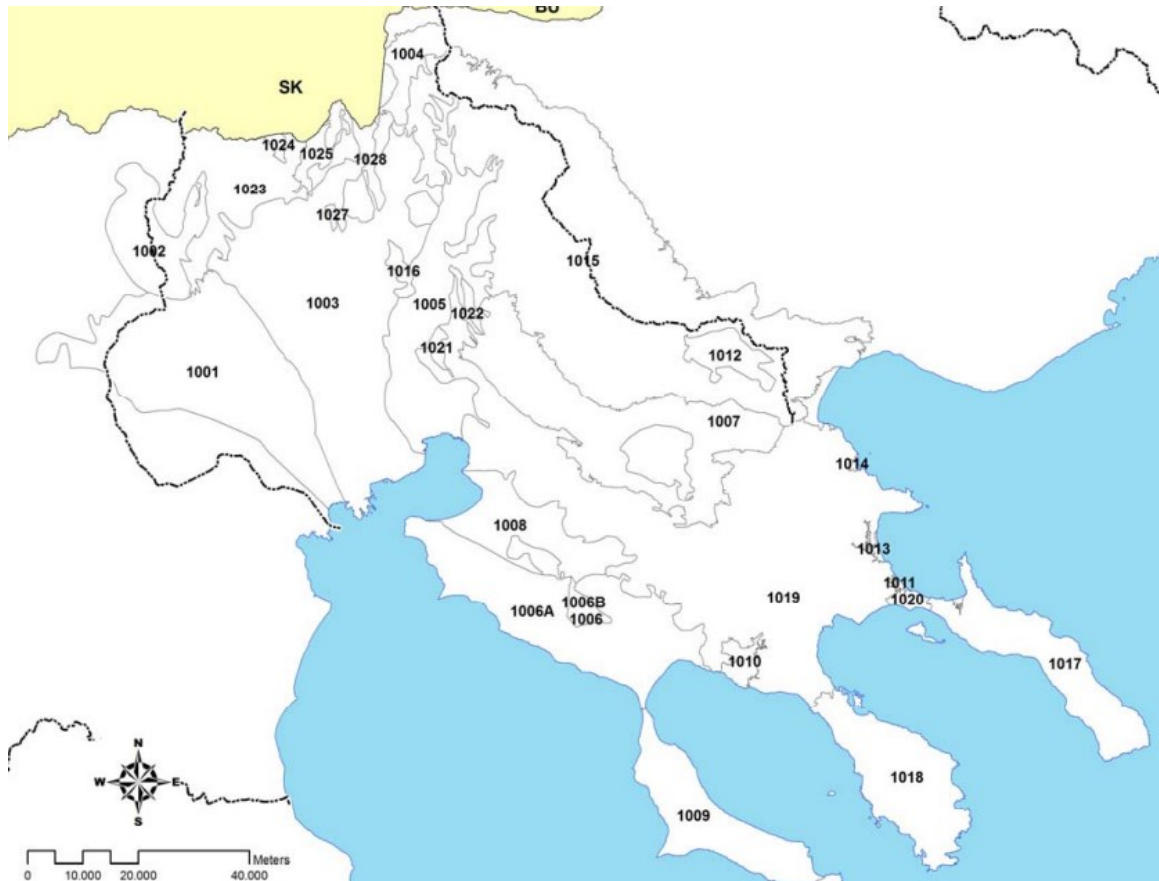
**Σχήμα 13:** Τεκτονικός χάρτης από την ψηφιοποίηση των γεωλογικών φύλλων του ΙΓΜΕ (ArcGis).

#### 4. Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας

##### 4.1 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Η περιοχή έρευνας ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας (GR10), όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 14 και περιλαμβάνει την λεκάνη απορροής με αριθμό 1019 που εντάσσεται στη λεκάνη απορροής του ποταμού της Χαλκιδικής (ΛΑΠ EL1005).

Η ονομασία της περιοχής ενδιαφέροντος είναι 'Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου (EL1000193)', όπου και είναι υποσύνολο του ρωγματικού υπόγειου υδατικού συστήματος (ΥΥΣ) Χολομώντα – Ωραιοκάστρου με κωδικό EL1000190 (Γενική Γραμματεία Υδάτων).



**Σχήμα 14:** Υδατικό διαμέρισμα της κεντρικής Μακεδονίας και οι λεκάνες απορροής (Ι.Γ.Μ.Ε. Βεράνης, 2010).

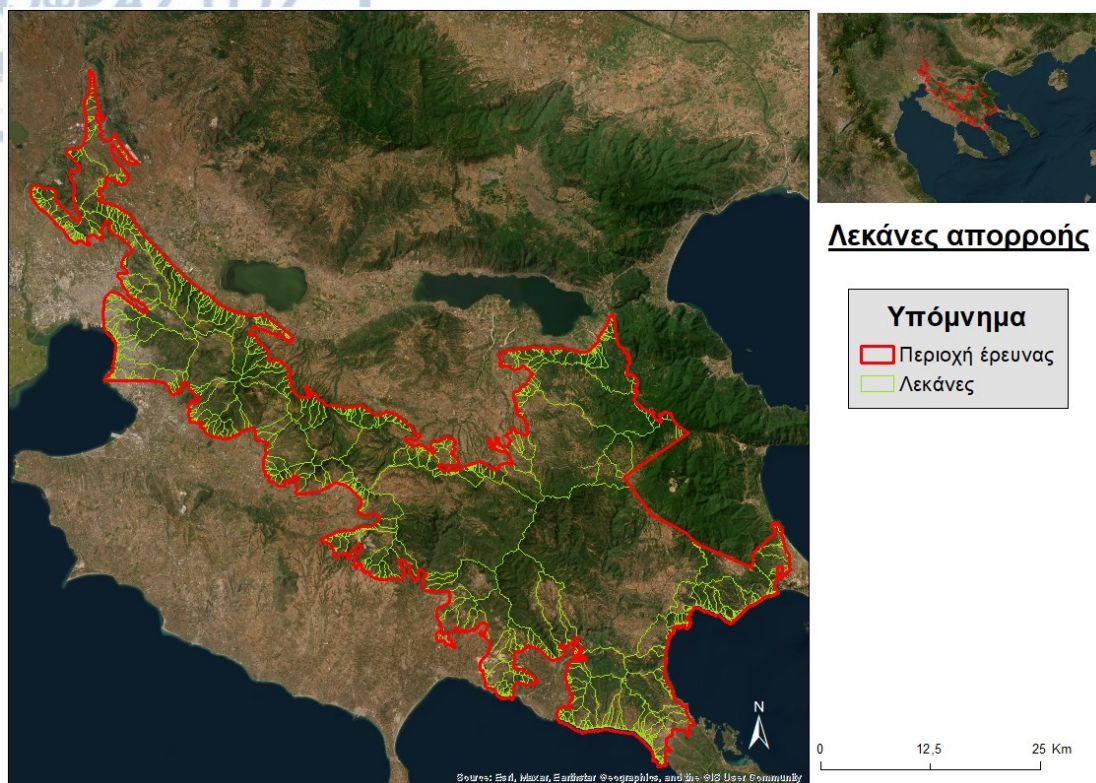
## 4.2 Υπόγειο και επιφανειακό υδροδυναμικό

Στην επιφάνεια των σχηματισμών εντοπίζεται η επιφανειακή απορροή με κύρια πηγή τροφοδότησης να είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Τα ύδατα των βροχοπτώσεων αφού προσπέσουν στο έδαφος και αυτό με την σειρά του απορροφήσει ένα σημαντικό ποσό υδάτων με σκοπό τον κορεσμό, το υπόλοιπο εισέρχεται στους ποταμοχειμάρους (Σχήμα 15) και οδηγείται στους τελικούς αποδέκτες με την βοήθεια της βαρύτητας (Βουδούρης, 2022).

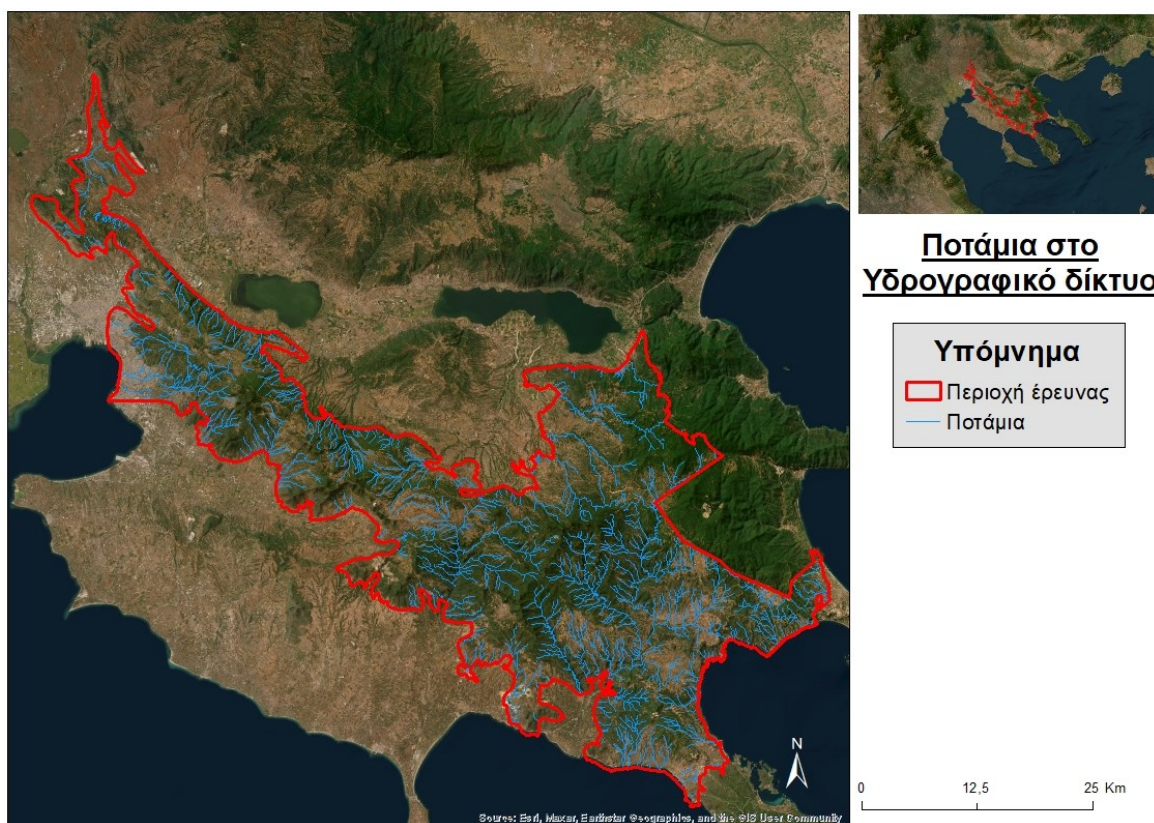


**Σχήμα 15:** Λεκάνες απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας).

Στην περιοχή έρευνας παρατηρείται ένας μεγάλος αριθμός υδρολογικών λεκανών, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 16. Λόγω της γεωμορφολογικής και γεωλογικής δομής της περιοχής είναι μικρές σε έκταση, με εξαίρεση από τρεις (3) λεκάνες που παρουσιάζουν μεγάλη έκταση στο κεντρικό μέρος της ερευνώμενης περιοχής λόγω του εκτενούς υδρογραφικού συστήματος (Σχήμα 17). Η πρώτη από αυτές βρίσκεται στην περιοχή της ορεινής Χαλκιδικής και πιο συγκεκριμένα καταλαμβάνει τις περιοχές: Πολυγύρου, Βάβδου, Αγίου Προδρόμου, Παλαιοκάστρου. Η δεύτερη καταλαμβάνει τις περιοχές Μεγάλη Παναγία, Αρναία, Ταξιάρχης, Κτήμα και η τρίτη σε έκταση βρίσκεται πιο βόρεια στις περιοχές Βαρβάρα και Στανού.



**Σχήμα 16:** Λεκάνες απορροής Υποσυστήματος Χολομών-Ωραιοκάστρου (σε περιβάλλον ArcGis με το εργαλείο basins στο hydrology tools).



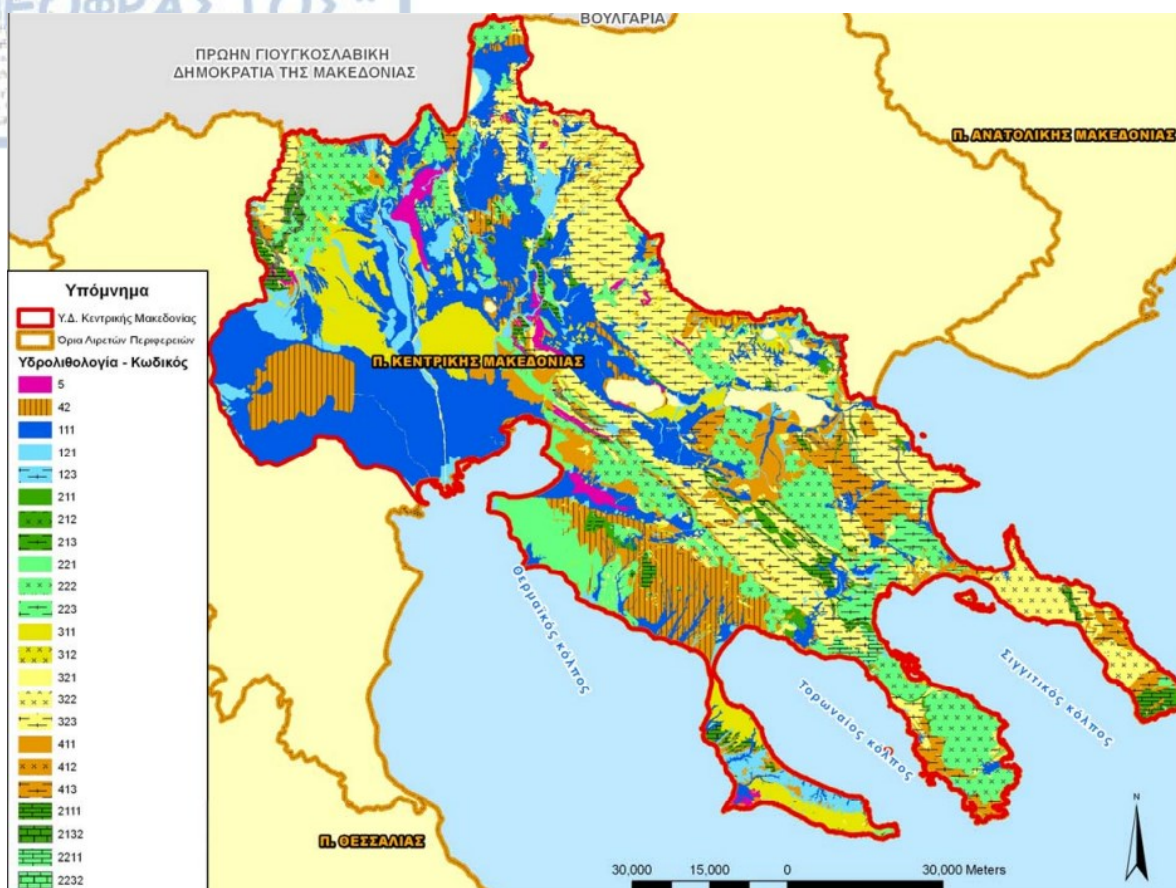
**Σχήμα 17:** Ρέματα/Ποτάμια του Υποσυστήματος Χολομών- Ωραιοκάστρου έπειτα από ψηφιοποίηση των γεωλογικών φύλλων 1:50.000 (ArcGis).

### 4.3 Υδρολιθολογική κατάταξη σχηματισμών

Στην περιοχή έρευνας, με βάση τον υδρολιθολογικό χάρτη (Σχήμα 18) από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (Άρθρο: Π.1.1 Καθορισμός και καταγραφή αρμόδιων αρχών και προσδιορισμός περιοχής άσκησης των αρμοδιοτήτων τους), οι σχηματισμοί που κυριαρχούν παρουσιάζονται στον Πίνακα 14:

**Πίνακας 14:** Γεωλογικοί σχηματισμοί στην ερευνώμενη περιοχή (Ειδική Γραμματεία Υδάτων).

|             |                                                                                                                                       |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>5</b>    | Σχηματισμοί των οποίων η συμπεριφορά δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται κατά τόπους                                                  |
| <b>111</b>  | Μικροπερατοί σχηματισμοί (ιζηματογενείς σχηματισμοί μεγάλης έκτασης και υψηλής δυναμικότητας)                                         |
| <b>121</b>  | Μικροπερατοί σχηματισμοί (σχηματισμοί μικρής έκτασης με τοπική σημασία ή μεγάλης έκτασης και μέτριας δυναμικότητας)                   |
| <b>222</b>  | Μακροπερατοί σχηματισμοί της (πυριγενείς σχηματισμοί μικρής έκτασης και τοπικής σημασίας ή μεγάλης έκτασης και μέτριας δυναμικότητας) |
| <b>223</b>  | Μακροπερατοί σχηματισμοί (μεταμορφωμένοι σχηματισμοί μικρής έκτασης και τοπικής σημασίας ή μεγάλης έκτασης και μέτριας δυναμικότητας) |
| <b>2111</b> | Μακροπερατοί σχηματισμοί (ασβεστόλιθοι και δολομίτες μεγάλης έκτασης και υψηλής δυναμικότητας)                                        |
| <b>2211</b> | Μακροπερατοί σχηματισμοί (ασβεστόλιθοι και δολομίτες μικρής έκτασης και τοπικής σημασίας ή μεγάλης έκτασης και μέτριας δυναμικότητας) |
| <b>323</b>  | Ημιπερατοί σχηματισμοί (μεταμορφωμένοι, ρωγμώδεις σχηματισμοί)                                                                        |
| <b>411</b>  | Αδιαπέρατοι σχηματισμοί (πρακτικά αδιαπέρατοι ιζηματογενείς σχηματισμοί)                                                              |
| <b>413</b>  | Αδιαπέρατοι σχηματισμοί (πρακτικά αδιαπέρατοι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί)                                                             |



**Σχήμα 18:** Υδρολιθολογικός χάρτης υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

Με βάση τους φυσικοχημικούς χαρακτήρες των γεωλογικών σχηματισμών γίνεται ο υδρολιθολογικός χαρακτηρισμός τους. Οι σπουδαιότεροι από αυτούς είναι η αποσάθρωση και η διάβρωση, η διαγένεση, ο βαθμός διαλύσεως, το πορώδες, η υδροπερατότητα και οι τεκτονικές διαρρήξεις. Σύμφωνα με αυτά γίνεται η ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών:

- Υδροπερατοί: άμμοι, παράκτιες αποθέσεις και ανθρακικοί σχηματισμοί, προσχώσεις κοιλάδων-πεδιάδων, πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, κροκαλοπαγή.
- Ημιπερατοί: γρανίτες, γρανοδιορίτες, πηγματίτες και οφιόλιθοι, αμμούχες μάργες, χαλαζίτες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι
- Αδιαπέρατοι: αμφιβολίτες, γνεύσιοι, pillow lavas, μεταβασίτες, γνεύσιοι, γάββροι, σπιλίτες, περιοδοτήτες, σερπεντινίτες, ολιβινίτες, δουνίτες, (γρανίτες και γρανοδιορίτες), κοκκινόχωμα, πηλοί, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, άργιλοι, μάργες, φυλλίτες, διαβάσεις, σχιστόλιθοι.

#### 4.3.1. Υδροπερατότητα σχηματισμών της περιοχής έρευνας

Αναλυτικότερα, στο Υποσύστημα Χολομώντα -Ωραιοκάστρου έγινε υδρολιθολογική κατάταξη στους σχηματισμούς που, σύμφωνα με τον συντελεστή κατείσδυσης κάθε σχηματισμού, εμφανίζονται με σκοπό την λεπτομερέστερη περεταίρω έρευνα.

Ξεκινώντας από τις πιο πρόσφατες αποθέσεις, αυτές του Τεταρτογενούς, καταλαμβάνουν μία έκταση 5% του συνολικού εμβαδού και εμφανίζονται σημειακά καθ' όλη την έκταση του υποσυστήματος. Συμπεριλαμβάνονται στην ομάδα αυτή οι χαλαροί και πρόσφατοι σχηματισμοί όπως για παράδειγμα αλλούβια, ελλούβια, πλευρικά κορήματα κ.λπ. Ο συντελεστής κατείσδυσης της ομάδας των Τεταρτογενών αποθέσεων είναι 0,20, κατατάσσοντάς την στους πιο υδροπερατούς σχηματισμούς.

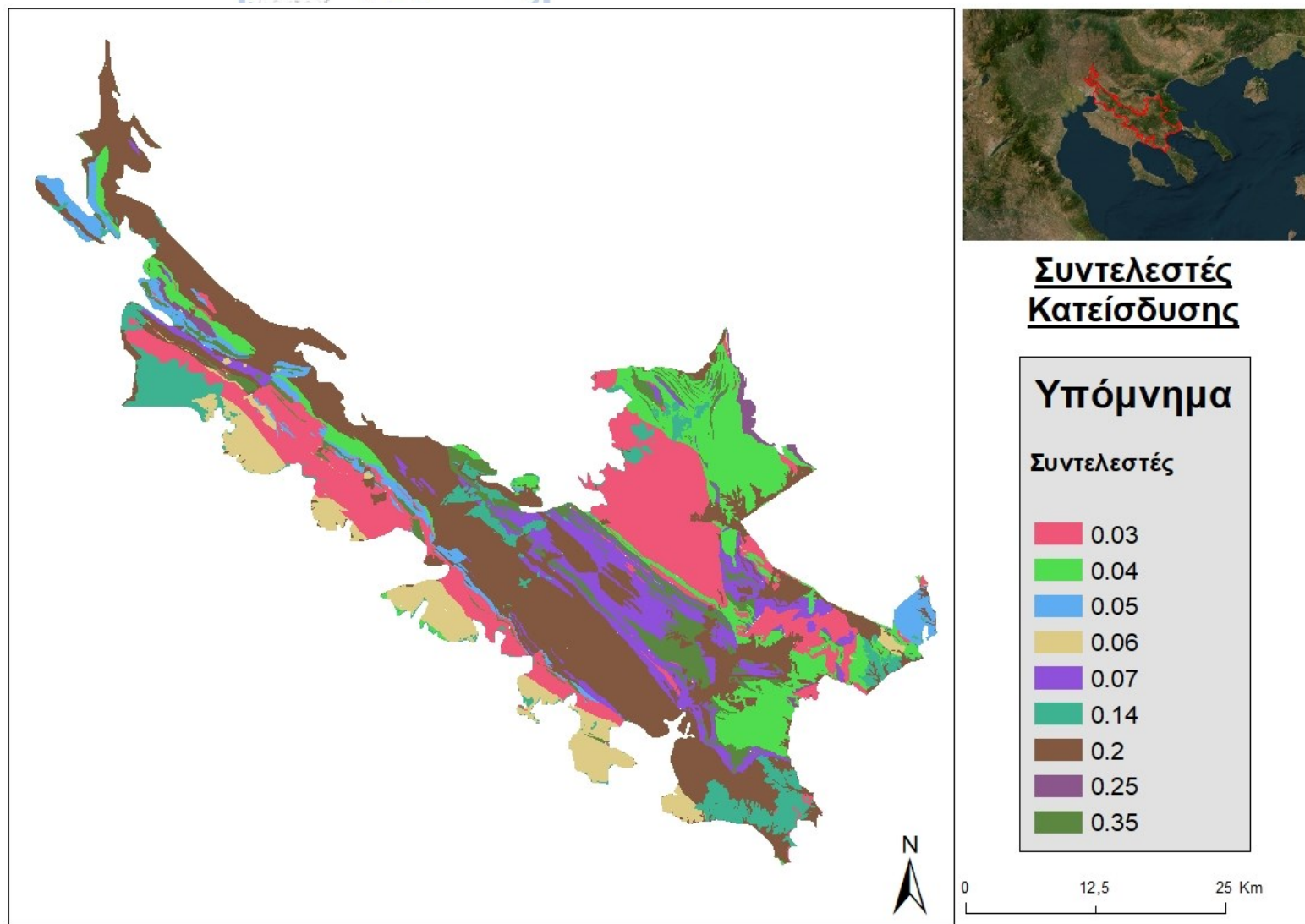
Ακολουθούν οι ομάδες: Συστήματα αναβαθμίδων Πλειστοκαίνου & Νεογενείς αποθέσεις αργίλων, ψαμμιτών, μαργών, κροκαλοπαγών, που καταλαμβάνουν εκτάσεις 4,9% και 7,5% της συνολικής έκτασης, αντίστοιχα. Οι εμφανίσεις αυτών συναντώνται κοντά σε αυτές του Τεταρτογενούς και οι συντελεστές κατείσδυσης είναι παρόμοιοι με τιμές 0,20 και 0,14, αντίστοιχα.

Η ενότητα την Παιονίας αποτελείται από της σειρά των κροκαλοπαγών έκτασης 0,5% του συνόλου, και συντελεστή κατείσδυσης 0,20. Σε λίγο μεγαλύτερο εύρος εμφανίζονται οι σχιστόλιθοι με έκταση 2,3% και συντελεστή κατείσδυσης αρκετά μικρό της τάξης του 0,05. Τέλος οι σχηματισμοί των ψαμμιτών και των φυλλιτών με μεγαλύτερες εκτάσεις 23,3% και 9,1% αντίστοιχα με συντελεστές, 0,20 και 0,07 αντίστοιχα.

Ακολούθως, οι ανθρακικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται είναι αυτοί των ασβεστολίθων και των μαρμάρων. Οι ασβεστόλιθοι καταλαμβάνονται ένταση 6,8% του συνόλου και από την βιβλιογραφία διακατέχουν συντελεστή κατείσδυσης 0,35, σε αντίθεση με τα μάρμαρα, που δεν είναι τόσο υδροπερατά, παρουσιάζουν μικρότερο συντελεστή, της τάξης του 0,25 και εμφανίζονται σε έκταση 0,9% του συνόλου.

Ο σχηματισμός των γενεσίων της Σερβομακεδονικής Μάζας παρουσιάζει πολύ μικρό συντελεστή κατείσδυσης, αυτός είναι 0,04 και έχει έκταση 13,8%. Οι σχηματισμοί των γρανιτών, γρανοδιοριτών και αμφιβολιτών καταλαμβάνουν έκταση 19,8% της συνολικής με συντελεστή κατείσδυσης 0,03.

Αρκετά μικρές εκτάσεις καταλαμβάνουν οι σχηματισμοί των πορφυριτών, ρυολίθων, υπερβασικών με τιμές 1,7%, 0,2% και 4%, αντίστοιχα με τιμές συντελεστών κατείσδυσης 0,05, 0,04, 0,06 αντίστοιχα. Ο παραγόμενος χάρτης που προκύπτει παρουσιάζεται στο Σχήμα 19.



**Σχήμα 19:** Συντελεστές κατείσδυσης του EL1000193 (ArcGis).

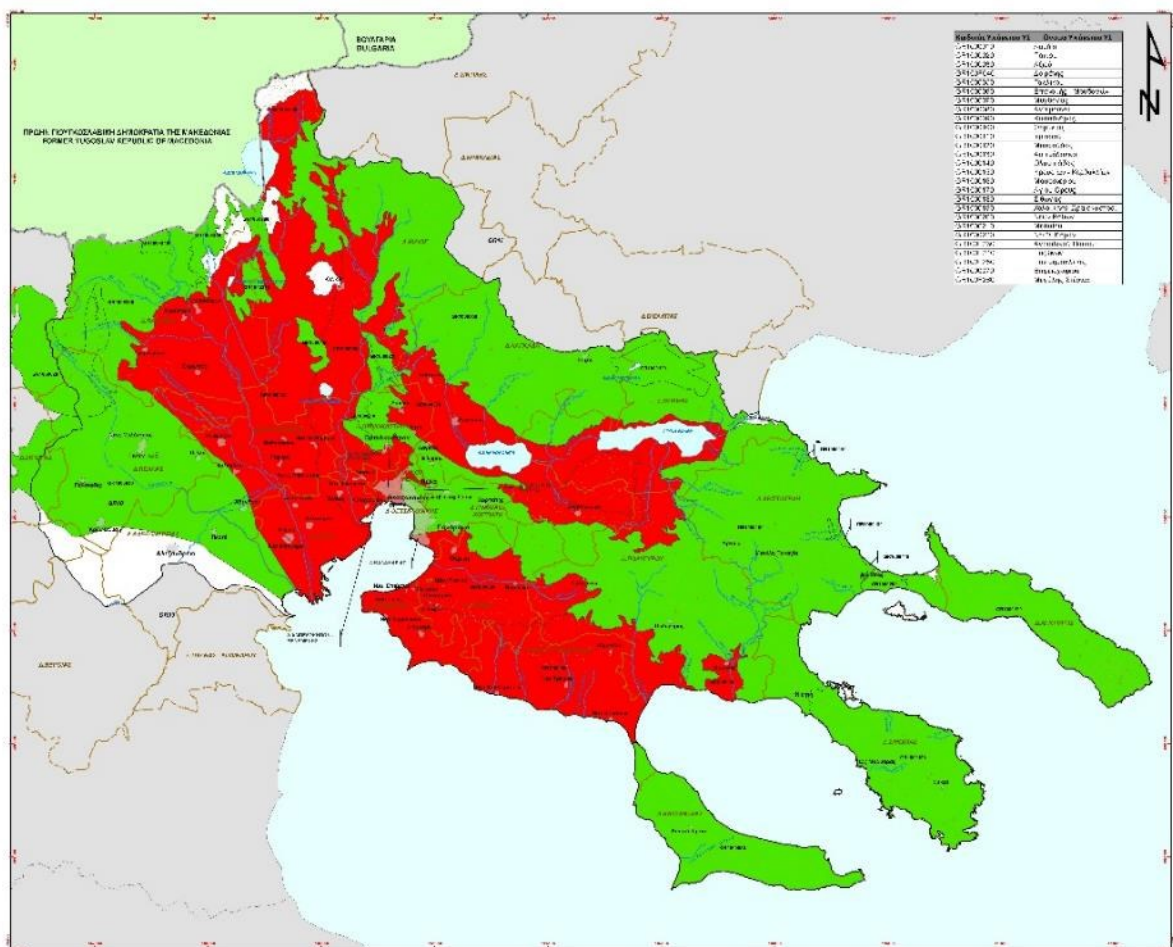


#### **4.4 Ποσοτική και ποιοτική κατάσταση του Υπόγειου Υδατικού Συστήματος**

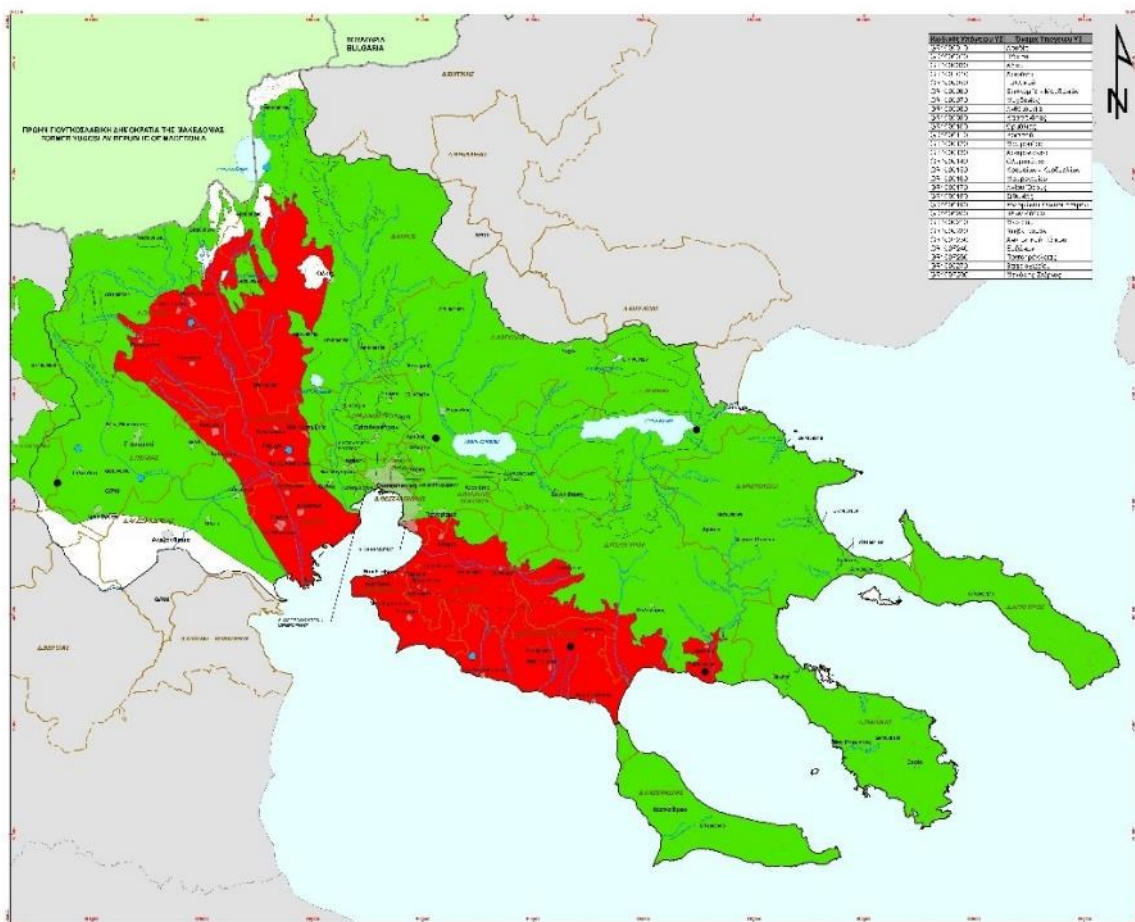
Το εξεταζόμενο υπόγειο υδατικό σύστημα του Χολομώντα-Ωραιοκάστρου εντάσσεται στα ρωγματικά συστήματα και ως συνέπεια αυτού, μέρος της φυσικής εκφόρτισης αυτού γίνεται διαμέσου μικρών πηγών. Οι γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν χρησιμοποιούνται κατά το πλείστον για ύδρευση και άρδευση καθώς και για βιομηχανικούς σκοπούς (μεταλλεία λευκολίθων) (ΙΓΜΕ, Βεράνης κ.ά., 2010).

Σύμφωνα με το Υπουργείο περιβάλλοντος και Ενέργειας (Ειδική Γραμματεία Υδάτων) το υπόγειο υδατικό σύστημα ΥΥΣ GR1000190 παρουσιάζει καλή ποσοτική κατάσταση και παρουσιάζεται στο Σχήμα 20 με το χρώμα πράσινο. Η ποσοτική κατάσταση προέκυψε με τους εξής παράγοντες: α) το θετικό ισοζύγιο του συστήματος, και β) ο τύπος του υδροφορέα (ρωγματικός).

Κατά αντίστοιχο τρόπο και με βάση χημικών αναλύσεων από ποιοτικής πλευράς παρουσιάζει το ΥΥΣ GR1000190 με καλή χημική κατάσταση, αναφορικά με την ρύπανση ανθρωπογενούς προέλευσης και ο χρωματισμός που λαμβάνει λόγω του καλού χημισμού είναι ο πράσινος (Σχήμα 21).



**Σχήμα 20:** Χάρτης ποσοτικής κατάστασης Υπόγειων Υδατικών συστημάτων (με κόκκινο απεικονίζεται η κακή και με πράσινο η καλή, Κλίμακα : 1:300.000), (Πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων).



**Σχήμα 21:** Χάρτης ποιοτικής κατάστασης Υπόγειων Υδατικών συστημάτων (με κόκκινο απεικονίζεται η κακή και με πράσινο η καλή, Κλίμακα : 1:300.000), (Πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων).

## **5. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Υδρογεωλογία**

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (G.I.S.), σύμφωνα με τον Burrough (1983), αντιπροσωπεύουν ένα σύνολο εργαλείων που διακατέχει πολλή δύναμη με σκοπό την συγκέντρωση, αποθήκευση, μεταμόρφωση και αναπαράσταση χωρικών στοιχείων του πραγματικού κόσμου. Στόχος των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελεί ο χωρικός σχεδιασμός. Πιο αναλυτικά, αυτά χρησιμοποιούνται στη διατύπωση και αξιολόγηση ζητημάτων που αφορούν τόσο το φυσικό όσο και τον περιβαλλοντικό τομέα (Κουτσόπουλος, 2017).

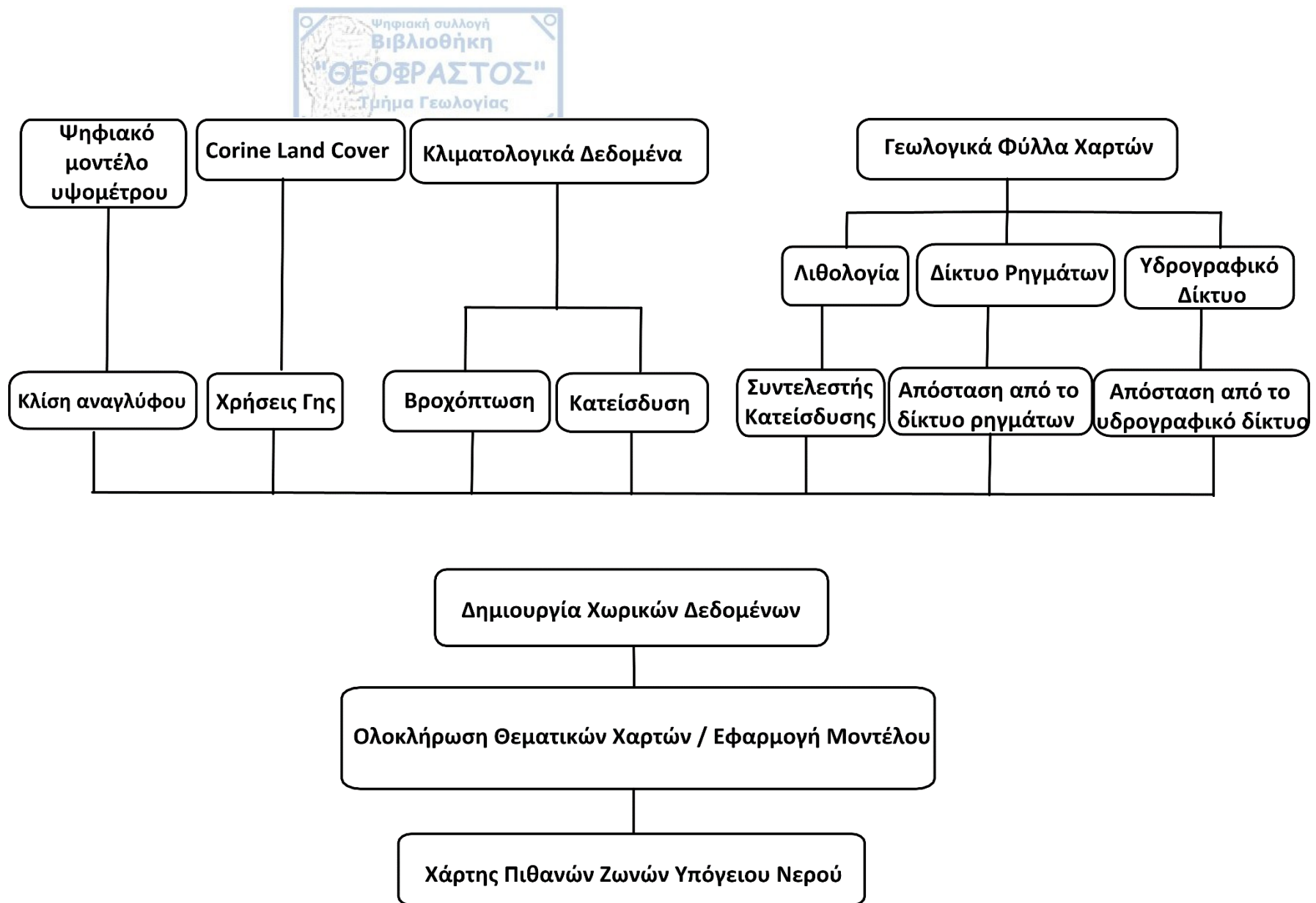
Τα G.I.S. αποτελούν ένα σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, ανάλυσης και διαχείρισης πληροφοριών, οι οποίες αφορούν δεδομένα χώρου. Η λειτουργία τους στηρίζεται σε μεθόδους χαρτογραφίας και διαχείρισης βάσεων δεδομένων (Βουδούρης, 2022). Τα δεδομένα ενός G.I.S. που αφορούν την έρευνα υπόγειων νερών προέρχονται από ψηφιοποίηση χαρτών, γεωλογικών και τοπογραφικών. Ένα από τα πιο διαδεδομένα λογισμικά G.I.S. είναι το ArcMap που αποδίδει με ευκολία και ακρίβεια γεωγραφικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία σε διάφορους θεματικούς χάρτες, όπως υδρολιθολογικός, ποιότητας νερού, τρωτότητας, κατανομής των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου, πιθανότητας εμφάνισης υδροφοριών, κ.λπ. Τα τελευταία χρόνια τα G.I.S. έχουν επιδράσει σε σημαντικό βαθμό και στην ανάπτυξη και την εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων.

### **5.1 Εφαρμογή Μοντέλου στην περιοχή έρευνας/Περιγραφή διόρθωσης μεθοδολογίας**

Η συγκεκριμένη εργασία αναφέρεται στην έρευνα για την εύρεση των υπόγειων υδροφορέων στην περιοχή του Υποσυστήματος Χολομώντα-Ωραιοκάστρου με τη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στα GIS και γίνεται οριοθέτηση πιθανών ζωνών υδροφορίας με τελικό σκοπό έναν χάρτη, που θα τις οριοθετεί.

Στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν το αντίστοιχο DEM, οι χρήσεις γης, κλιματικά δεδομένα, γεωλογικοί χάρτες με απώτερο σκοπό η δημιουργία βαθμονομημένων χαρτών. Τα στοιχεία που εξετάζονται είναι οι τοπογραφικές κλίσεις, οι χρήσεις γης, η βροχόπτωση, η κατείδδυση, η λιθολογία, τα ρήγματα και το υδρογραφικό δίκτυο.

Τελικά, δημιουργείται ένας χάρτης με διαφορετική βαρύτητα ανά στοιχείο λόγω ποικιλίας στους συντελεστές βαρύτητας, που αποτελείται από πέντε διαβαθμίσεις της πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού.

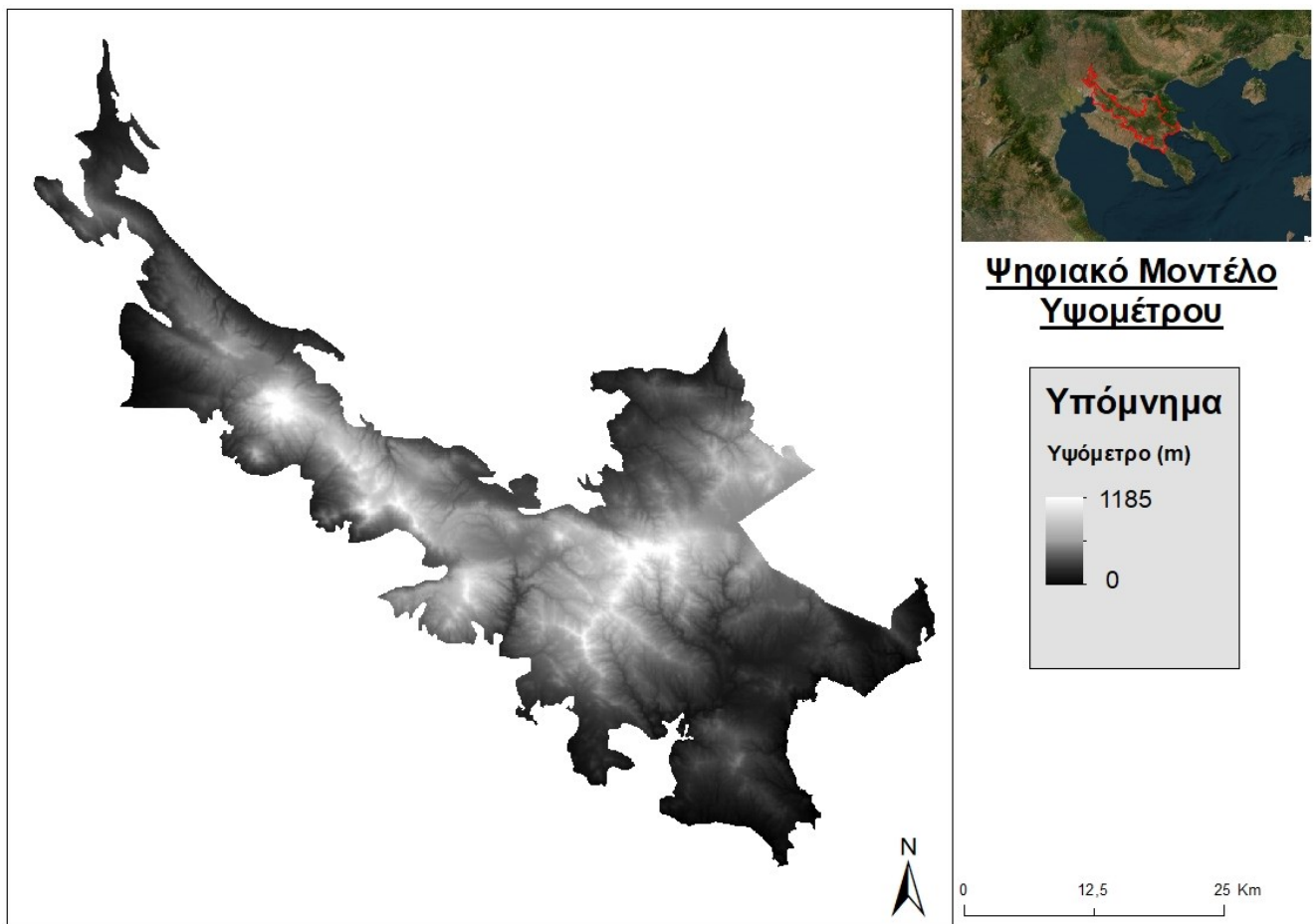


*Σχήμα 22: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας.*

### 5.1.1 Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου (DEM)

Το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση του γήινου αναγλύφου, η οποία απεικονίζει τη γεωμετρία της γήινης επιφάνειας (Νικολακόπουλος, 2015). Είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους ψηφιακής απεικόνισης της τοπογραφίας μιας περιοχής. Αναλυτικότερα, το Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρου αναπαριστά έναν κάναβο σε μια συνεχή επιφάνεια που είναι η επιφάνεια της Γης.

Το ψηφιακό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, αποτελεί ένωση των δύο αρχείων raster με κωδική ονομασία SRTM: N40E022 & N40E022, όπου ενώθηκαν και κόπηκαν σύμφωνα με τα όρια έρευνας που ορίζει το υποσύστημα Χολομώντα Ωραιοκάστρου. Παρατηρήθηκε ότι το υψόμετρο παίρνει αρνητικές τιμές και διορθώθηκε μέσω της εργαλειοθήκης (Map algebra). (Σχήμα 23)



**Σχήμα 23:** Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου του EL1000193 (ArcGis).

### 5.1.2 Βροχόπτωση

Στην ερευνώμενη περιοχή, εφόσον έγινε η συλλογή των βροχομετρικών δεδομένων από την αρμόδια υπηρεσία, υπολογίστηκε η βροχοβαθμίδα της ερευνώμενης περιοχής (Κεφάλαιο 1.4) και τέθηκε προς δημιουργία ο χάρτης της βροχόπτωσης.

*Εξίσωση 5: Βροχοβαθμίδα*

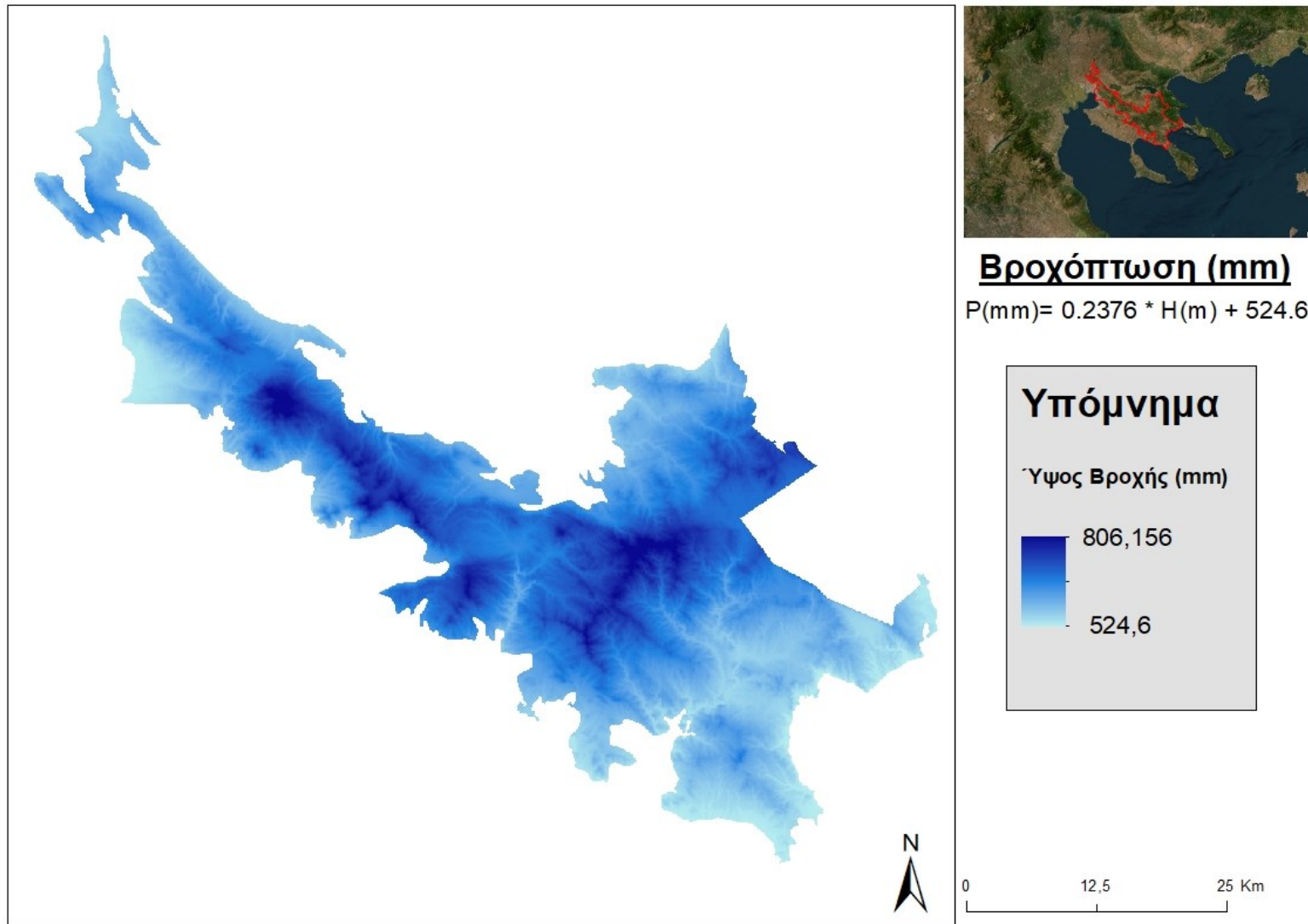
$$P(\text{mm}) = 0.2376 * H(\text{m}) + 524.6$$

Για την δημιουργία και την βαθμονόμηση του χάρτη χρησιμοποιήθηκε η εξίσωσή της βροχοβαθμίδας όπου δηλώνει αύξηση 23,76 mm βροχής ανά 100 m καθώς και του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρου, έτσι ώστε να γίνει η χρήση ακριβή τιμών στον παράγοντα του υψομέτρου.

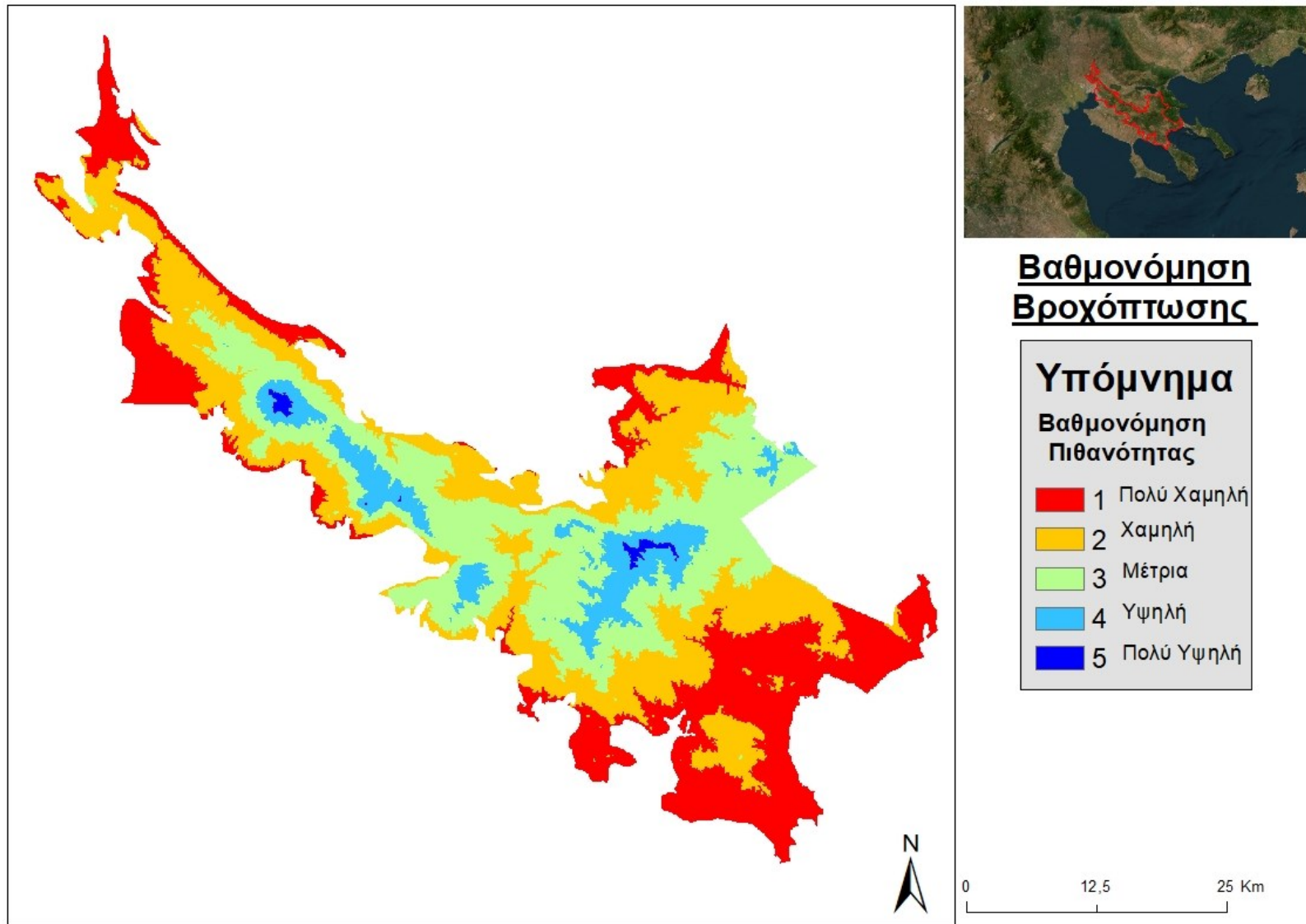
Εφόσον πραγματοποιήθηκε ο πολλαπλασιασμός του αντίστοιχου μοντέλου υψομέτρου με την εξίσωση της βροχοβαθμίδας, προέκυψε ένας χάρτης που παρουσιάζει την κατανομή των κατακρημνισμάτων σε mm. Παρατηρείται ότι σε μεγάλα υψόμετρα παρουσιάζονται και τα μεγαλύτερα ύψη βροχής και το αντίστροφο (Σχήμα 24). Ακολούθησε ο διαχωρισμός του χάρτη σε κλάσεις με την εντολή των ίσων διαστημάτων (Πίνακας 15) θεωρώντας την τιμή 5 την μέγιστη πιθανότητα παρουσίας υπόγειου νερού (Σχήμα 25).

*Πίνακας 15: Βαθμονόμηση βροχής με βάση την εντολή ίσων διαστημάτων.*

| Κλάσεις<br>Κατακρημνισμάτων (mm) | Βαθμονόμηση |
|----------------------------------|-------------|
| 524,59 – 580,91                  | 1           |
| 580,91 – 637,22                  | 2           |
| 637,22 – 693,53                  | 3           |
| 693,53 – 749,84                  | 4           |
| 749,84 – 806,15                  | 5           |



Σχήμα 24: Βροχόπτωση με βάση το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου του EL1000193 (ArcGis).



Σχήμα 25: Βαθμονομημένη κατανομή βροχόπτωσης του EL1000193 (ArcGis).

### 5.1.3 Κατείδυση

Η κατείδυση θεωρείται ως η σημαντικότερη διεργασία για την υδροοικονομία μιας περιοχής. Συγκεκριμένα, η κατείδυση είναι η διαδικασία που τα κατακρημνίσματα διαπερνώντας το έδαφος εμπλουτίζουν τους υπόγειους υδροφορείς (Βουδούρης, 2021). Σημαντικό ρόλο στο δυναμικό κατείδυσης παίζουν οι παράγοντες της έντασης βροχόπτωσης, λιθολογία, τεκτονική, υγρασία και θερμοκρασία, κλίση εδάφους, χρήσεις γης. Συνεπώς, υπάρχουν κάποιοι συντελεστές που φανερώνουν το νερό που κατειδύει σε σχέση με την βροχόπτωση.

**Πίνακας 16:** Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή κατείδυσης (Βουδούρης, 2021).

| Είδος πετρωμάτων               | Συντελεστής κατείδυσης % |
|--------------------------------|--------------------------|
| Αλλούβια, σύγχρονες προσχώσεις | 10 -- 25                 |
| Ασβεστολιθικά πετρώματα        | 30 -- 60                 |
| Ψαμμίτες, Μολάσες              | 15 -- 25                 |
| Φλύσχης-Φυλλίτες-Μάργες        | 3 -- 10                  |
| Οφιόλιθοι                      | 4 -- 8                   |
| Ηφαιστειακά πετρώματα          | 3 -- 8                   |
| Γνεύσιοι, Σχιστόλιθοι          | 3 -- 7                   |

Με βάση τον Πίνακα 16 από τον Βουδούρη (2017), παράχθηκε ο ακόλουθος Πίνακας 18 των συντελεστών κατείδυσης κάθε σχηματισμού. Για την δημιουργία του χάρτη κατείδυσης χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές κατείδυσης κάθε σχηματισμού και η βροχόπτωση. Αρχικά για την βροχόπτωση ακολουθήθηκε η διαδικασία που προαναφέρθηκε και παράχθηκε ο κατάλληλος χάρτης (Σχήματα 19 & 29). Οι συντελεστές κατείδυσης καταγράφηκαν ανά σχηματισμό στο προϋπάρχον shapefile (new Field), στο πρόγραμμα ArcGis και έπειτα με το κατάλληλο εργαλείο μετατράπηκε το αρχείο σε raster (Cell size:25 ).

Ο χάρτης του Σχήματος 26 δημιουργήθηκε από την ένωση των δύο αυτών raster αρχείων και πιο συγκεκριμένα από τον πολλαπλασιασμό τους. Συνεπώς ο χάρτης που προέκυψε παρουσιάζει το ποσό της κατείδυσης κάθε πετρώματος σε σχέση με την βροχόπτωση που πέφτει στην αντίστοιχη θέση έρευνας. (Βαθμονόμηση: Πίνακας 17, Σχήμα 27).

Ο διαχωρισμός των κλάσεων πραγματοποιήθηκε με την εντολή των ίσων διαστημάτων και έπειτα έγινε η βαθμονόμηση τους με τιμές από το ένα (1) μέχρι το (5), πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή πιθανότητα αντίστοιχα. Στον παραγόμενο χάρτη (Σχήμα 27), οι σχηματισμοί που παρουσιάζουν πολύ χαμηλή πιθανότητα ύπαρξης νερού, καταλαμβάνουν μία πολύ μεγάλη έκταση και βρίσκονται βόρεια καθώς και περιμετρικά της νότιας πλευράς. Ακολουθούν η μέτρια καθώς και η χαμηλή πιθανότητα στο κεντρικό τμήμα και στα βορειοδυτικά και νοτιοανατολικά της ερευνώμενης περιοχής. Οι περιοχές που εντάσσονται στις κλάσεις με βαθμονόμηση τέσσερα (4) και πέντε (5) είναι πολύ μικρές σε έκταση και βρίσκονται διάσπαρτες σε όλη την έκταση της ερευνώμενης περιοχής.

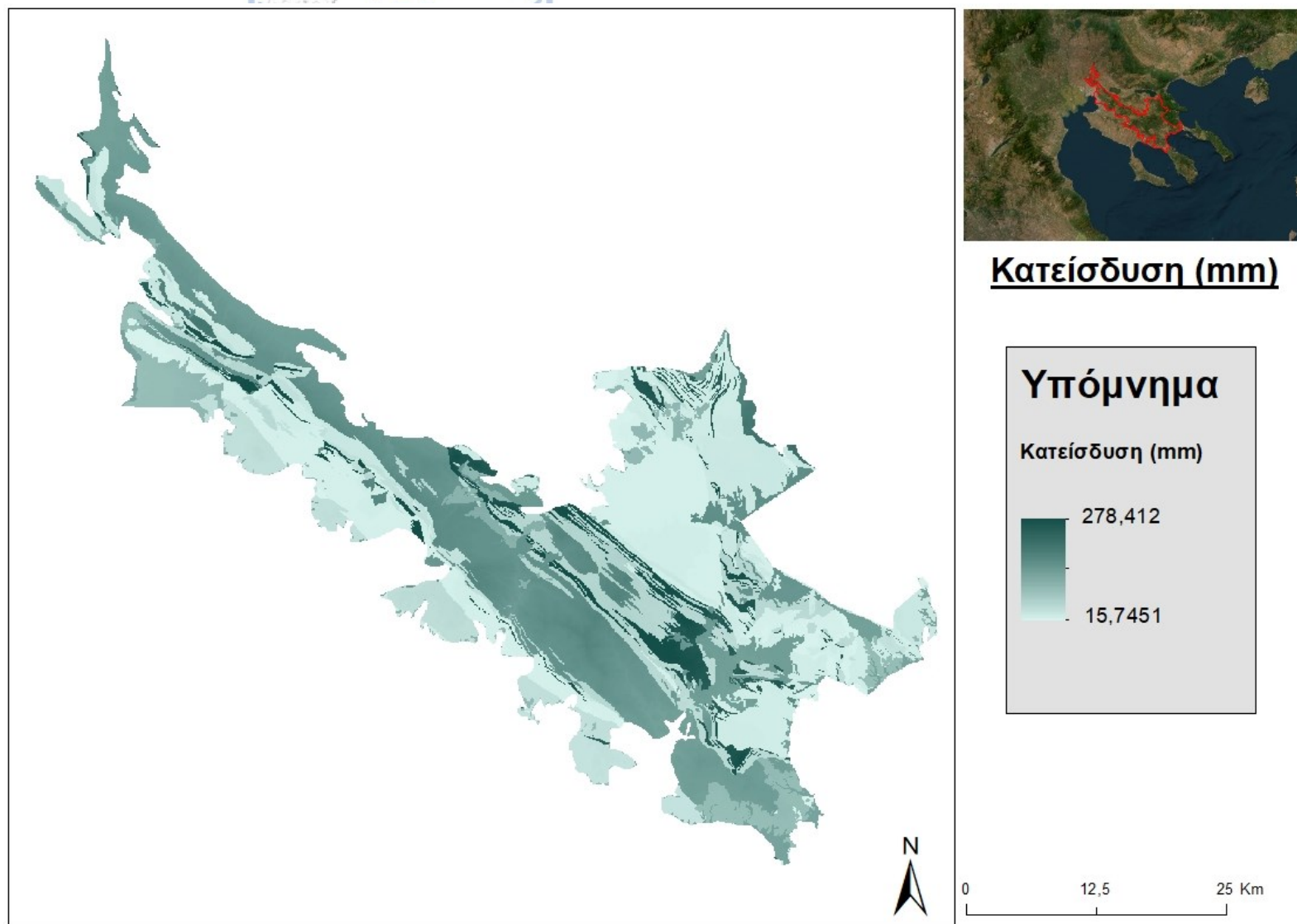


*Πίνακας 17: Βαθμονόμηση Κατείδυσης με βάση την εντολή των ίσων διαστημάτων.*

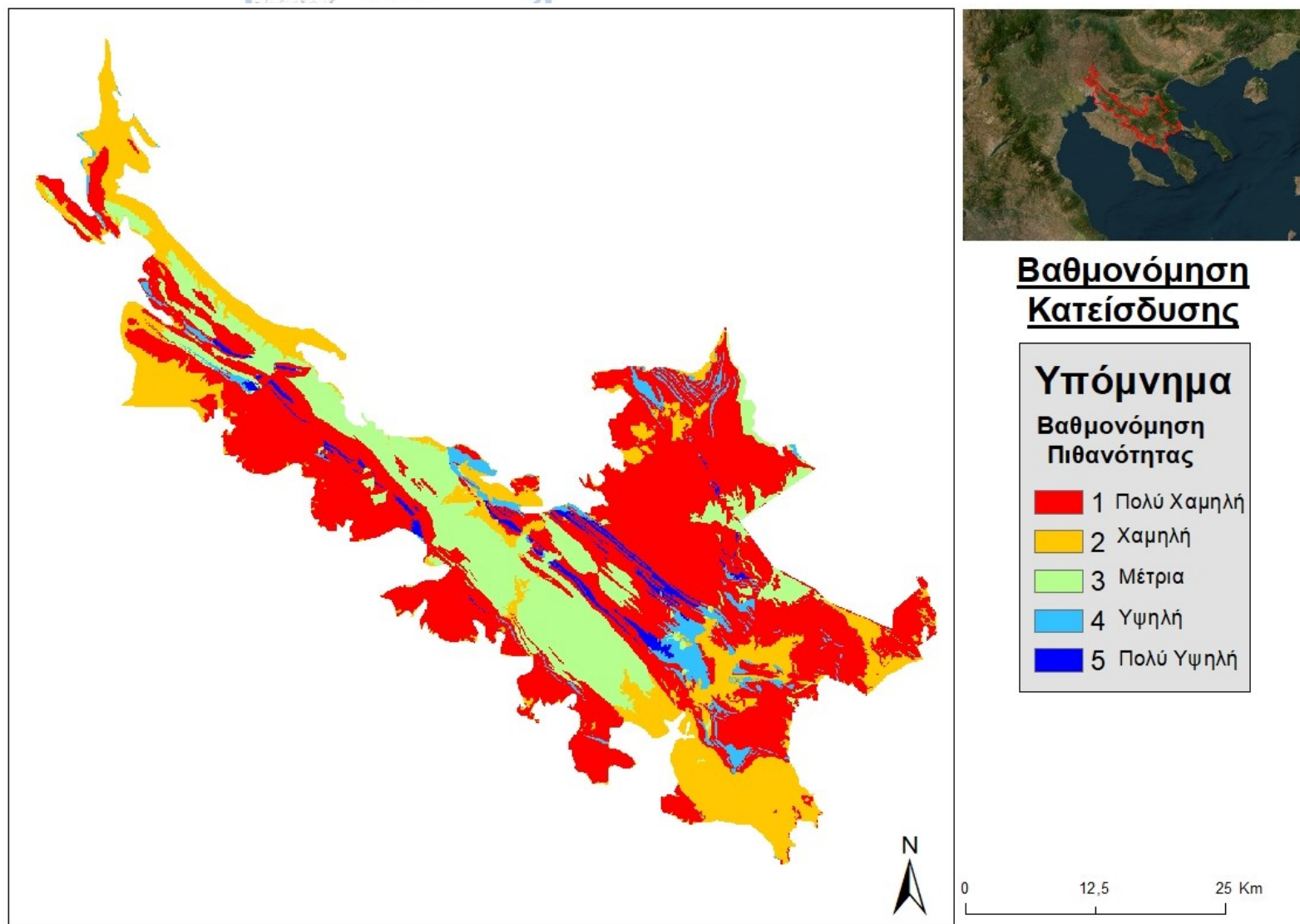
| Κλάσεις Κατείδυση<br>(mm) | Βαθμονόμηση |
|---------------------------|-------------|
| 15,7 – 68,2               | 1           |
| 68,2 – 120,8              | 2           |
| 120,8 – 173,3             | 3           |
| 173,3 – 225,8             | 4           |
| 225,8 – 278,4             | 5           |

**Πίνακας 18:** Συντελεστές κατείδυσης των γεωλογικών σχηματισμών.

| Περιγραφή                                                   | Σχηματισμός                                                              | Συντελεστής Κατείδυσης | % της συνολικής έκτασης | Περιγραφή                                     | Σχηματισμός                                         | Συντελεστής Κατείδυσης | % της συνολικής έκτασης |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Τεταρτογενής Αποθέσεις                                      | Al ,Cd,dn , H.l.s,<br>H.lg , El, H.sc ,<br>H.t.c, H, Pt, Qcs,<br>Q.cs1,2 | 0,2                    | 5,0                     | Ασβεστόλιθοι                                  | T.Jm.mr<br>Ji-m.k<br>Tm-sk.d<br>Tm-s.k              | 0,35                   | 6,8                     |
| Συστήματα αναβαθμίδων Πλειστοκαίνου                         | Pt.t3.c, Pt.t2.c<br>Pt.t1.c<br>Pt.l                                      | 0.2                    | 4,9                     | Μάρμαρα & φλέβες Χαλαζία                      | MR , Q, Mr2                                         | 0,25                   | 0,9                     |
| Νεογενής αποθέσεις αργίλων, ψαμμιτών , μαργών, κροκαλοπαγών | M4-Pli.mk<br>M4-Pli.st.m<br>M4-Pli.l<br>M4.c                             | 0,14                   | 7,5                     | Γνεύσιοι Σερβομακεδονική Μάζας                | Gn.bi, Gn2                                          | 0,04                   | 13,8                    |
| Κροκαλοπαγή Παιονίας                                        | J13.c                                                                    | 0,2                    | 0,5                     | Πορφυρίτες, Διορίτες                          | n.q, n, Y, Θ2                                       | 0,05                   | 1,7                     |
| Σχιστόλιθοι Παιονίας                                        | Js-ki.ph,<br>Ji-m?ag                                                     | 0,05                   | 2,3                     | Ρυόλιθοι                                      | Ti?sch.ρ, P                                         | 0,04                   | 0,2                     |
| Ψαμμίτες Παιονίας                                           | Ti?.st, T-Jm.st                                                          | 0,2                    | 23,3                    | Γρανίτες,Γρανодиόριτες, Γνεύσιοι, Αμφιβολίτες | Y2, γ1.n,<br>Y2.gn2, ch.gn,<br>(gn)Mz, Ab,<br>Ab-gn | 0,03                   | 19,8                    |
| Φυλλίτες Παιονίας                                           | T.Jm.ph                                                                  | 0,07                   | 9,1                     | Γάββροι, Πυροξενίτε, Υπερβασικά πετρώματα     | Π, Π.π.ρ,<br>Θ1.sch.gn, Θ1,<br>Π.ρ, Π.ο             | 0,06                   | 4,0                     |



*Σχήμα 26: Κατείσδυση του EL1000193 (ArcGis).*



Σχήμα 27: Βαθμονομημένη Κατείσδυση του EL1000193 (ArcGis).

#### 5.1.4 Λιθολογία

Για την κατανόηση της φύσης και της κατανομής του νερού σημαντική θέση καταλαμβάνει η γνώση της λιθολογίας της ερευνώμενης περιοχής (Σχήμα 28). Κάθε σχηματισμός παρουσιάζει διαφορετική υδρολιθολογική συμπεριφορά, διότι παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες, όπως το πορώδες.

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί με βάση τους γεωλογικούς χάρτες που συναντώνται στην περιοχή έρευνας (σύμφωνα με τα αποσπάσματα των γεωλογικών φύλλων (1:50.000) από το **Ι.Γ.Μ.Ε.**: Φύλλο "Αρναία", "Βασιλικά", "Ζαγκλιβέρι", "Ιερισσός", "Θέρμη", "Θεσσαλονίκη", "Κιλκίς", "Πολύγυρος", "Σταυρός", "Χερσόνησος Σιθωνίας"), ψηφιοποιήθηκαν με την μορφή πολυγώνων στο περιβάλλον του λογισμικού ArcGis.

Ο διαχωρισμός της ερευνώμενης περιοχής, πραγματοποιήθηκε με βάση τον συντελεστή κατείδυσης που αναφέρθηκε προηγουμένως (Πίνακας 17). Οι σχηματισμοί που ομαδοποιήθηκαν διέταξαν τις εξής ομάδες (Σχήμα 29):

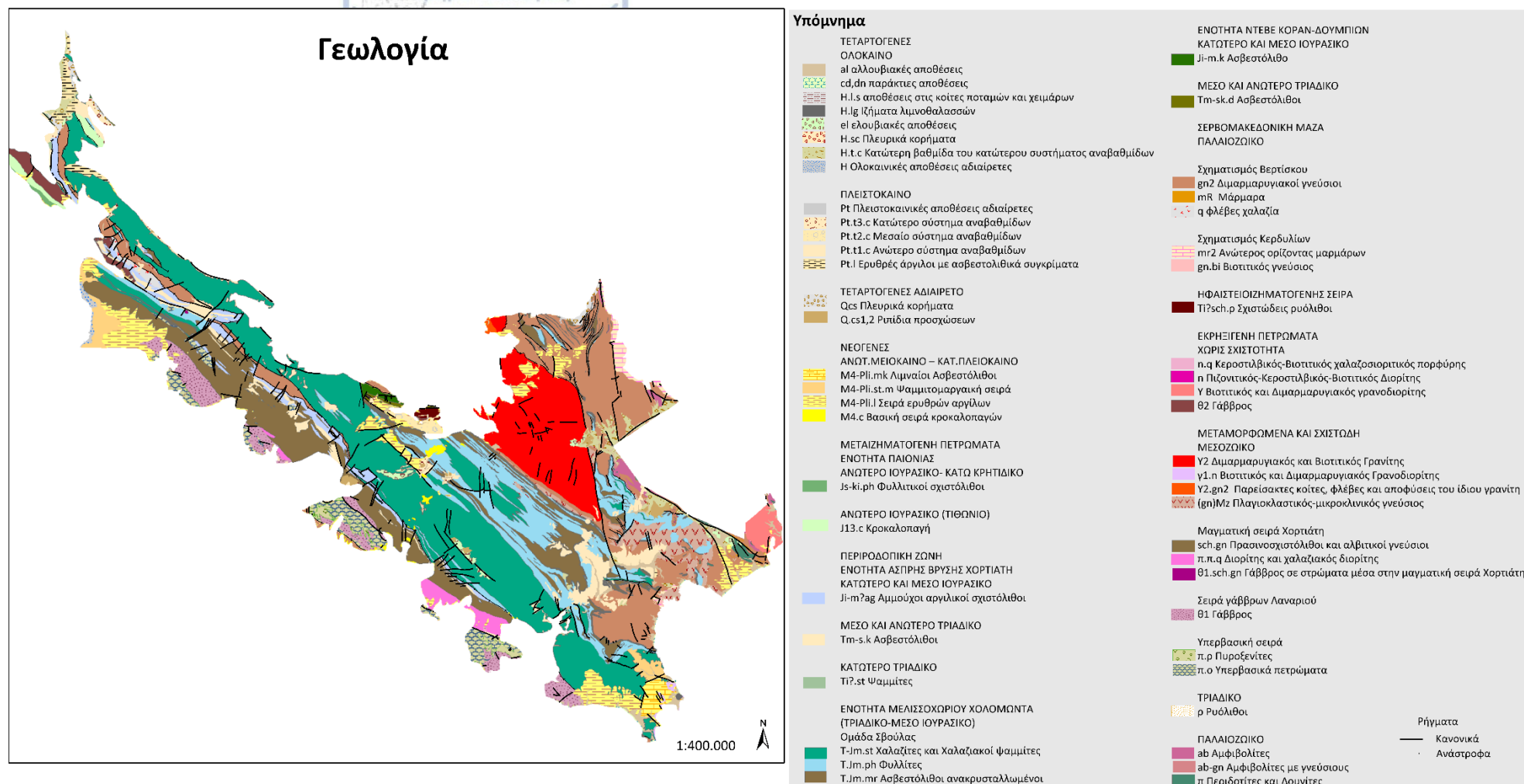
- Τεταρτογενής αποθέσεις (Συντελεστής κατείδυσης: 0,2 )
- Συστήματα αναβαθμίδων Πλειστοκαίνου (Συντελεστής κατείδυσης: 0,2 )
- Νεογενής αποθέσεις αργίλων, ψαμμιτών, μαργών, κροκαλοπαγών (Συντελεστής κατείδυσης: 0,14)
- Κροκαλοπαγή Παιονίας (Συντελεστής κατείδυσης: 0,2 )
- Σχιστόλιθοι Παιονίας (Συντελεστής κατείδυσης: 0,05 )
- Ψαμμίτες Παιονίας (Συντελεστής κατείδυσης: 0,2)
- Φυλλίτες Παιονίας (Συντελεστής κατείδυσης: 0,07)
- Ασβεστόλιθοι (Συντελεστής κατείδυσης: 0,35 )
- Μάρμαρα & φλέβες Χαλαζία (Συντελεστής κατείδυσης: 0,25 )
- Γνεύσιοι Σερβομακεδονική Μάζας (Συντελεστής κατείδυσης: 0,04 )
- Πορφυρίτες, Διορίτες (Συντελεστής κατείδυσης: 0,05 )
- Ρυόλιθοι (Συντελεστής κατείδυσης: 0,04)
- Γρανίτες, Γρανοδιορίτες, Γνεύσιοι, Αμφιβολίτες (Συντελεστής κατείδυσης: 0,03 )
- Γάββροι, Πυροξενίτες, Υπερβασικά πετρώματα (Συντελεστής κατείδυσης: 0,06 )

Οι συντελεστές κατείδυσης κυμαίνονται από 0,03 που συναντάται στους γρανίτες, γρανοδιορίτες μέχρι 0,35 που συναντάται στους ασβεστολίθους. Με βάση τους συντελεστές κατείδυσης κατηγοριοποιούνται σε πέντε (5) κλάσεις, σύμφωνα με τον Πίνακα 19 και παράγεται το Σχήμα 30.

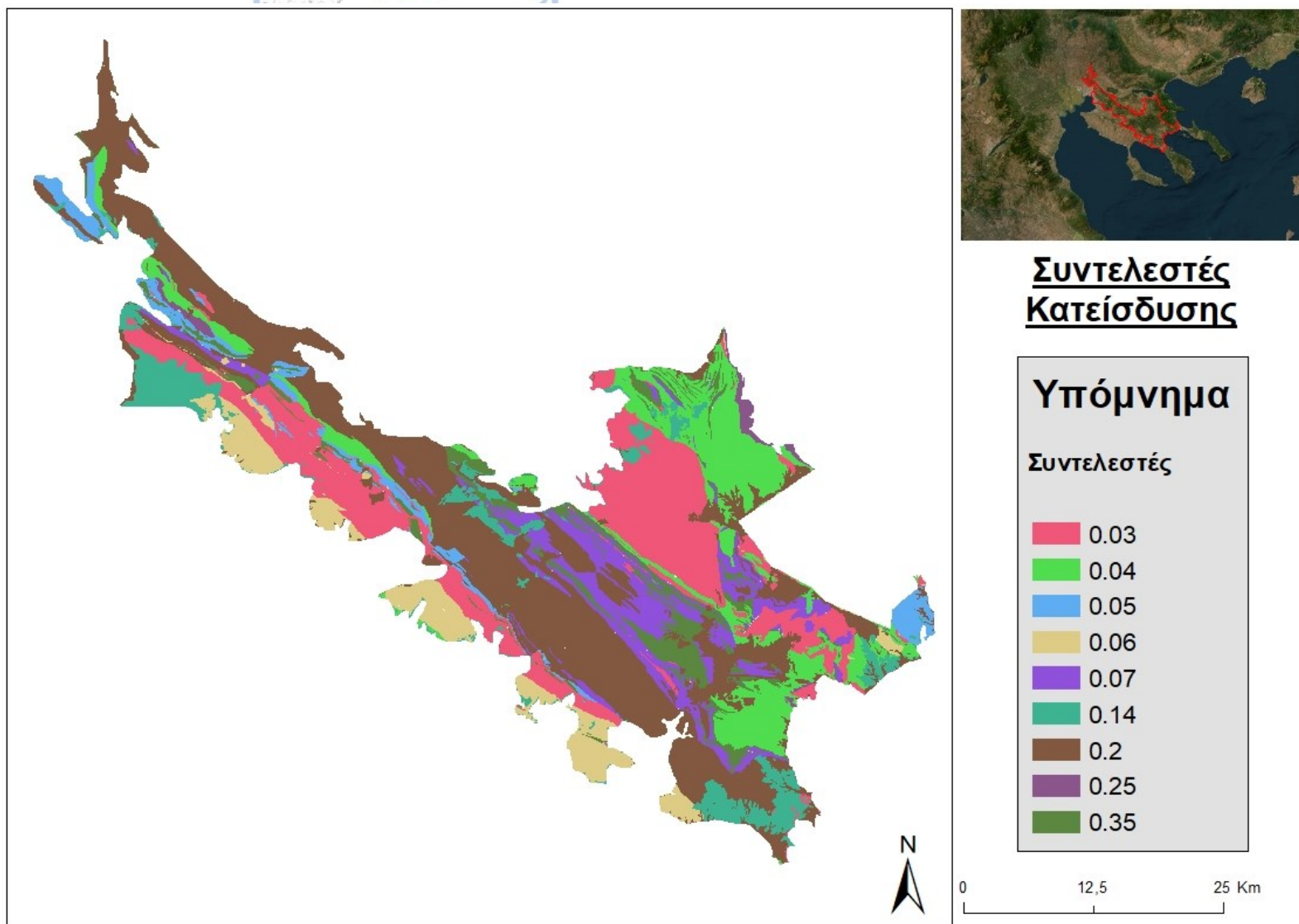
Στο Σχήμα 30, οι περιοχές με πολύ χαμηλή πιθανότητα (1) βρίσκονται κυρίως βόρεια καθώς και σε μία έκταση στην νότια πλευρά με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Μεγάλη έκταση επίσης καταλαμβάνει και η ομάδα τέσσερα (4), με υψηλή πιθανότητα, σε μία «λωρίδα» διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Ενώ οι κλάσεις με βαθμονόμηση δύο (2), τρία (3) και πέντε (5) έχουν σημαντικά μικρότερη έκταση και βρίσκονται σε όλη την ερευνώμενη περιοχή.

**Πίνακας 19:** Διαχωρισμός κλάσεων στους συντελεστές κατείδυσης

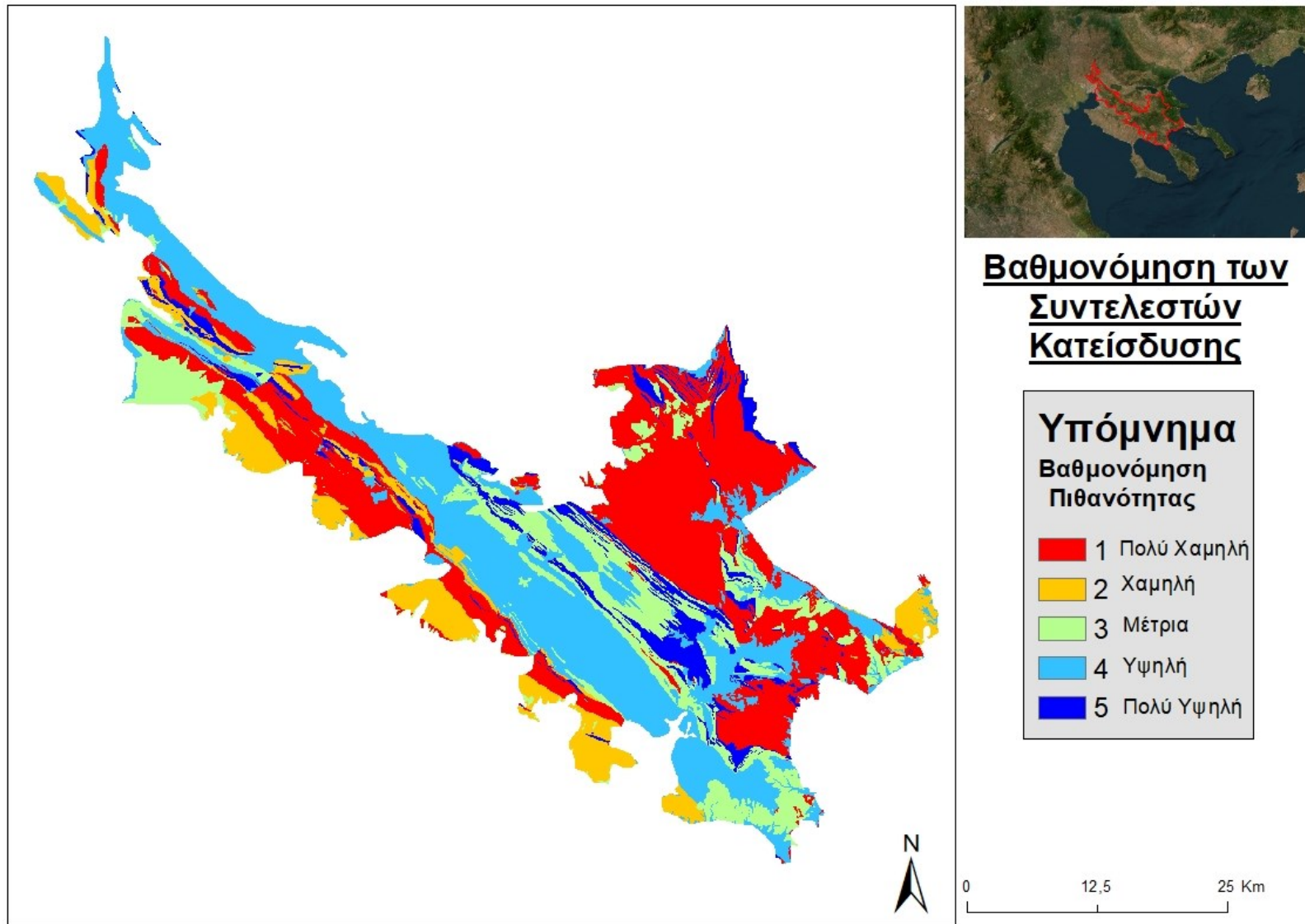
| Κλάσεις Συντελεστών Κατείδυσης | Βαθμονόμηση |
|--------------------------------|-------------|
| 0,03 & 0,04                    | 1           |
| 0,05 & 0,06                    | 2           |
| 0,07 & 0,14                    | 3           |
| 0,2                            | 4           |
| 0,25 & 0,35                    | 5           |



Σχήμα 28: Γεωλογικός χάρτης του του EL1000193 (ArcGis & Surfer).



**Σχήμα 29:** Απεικόνιση Συντελεστών κατείσδυσης του EL1000193 (ArcGis).



**Σχήμα 30:** Βαθμονομημένος χάρτης συντελεστών Κατείσδυσης του EL100019 (ArcGis).

### 5.1.5 Κλίση αναγλύφου

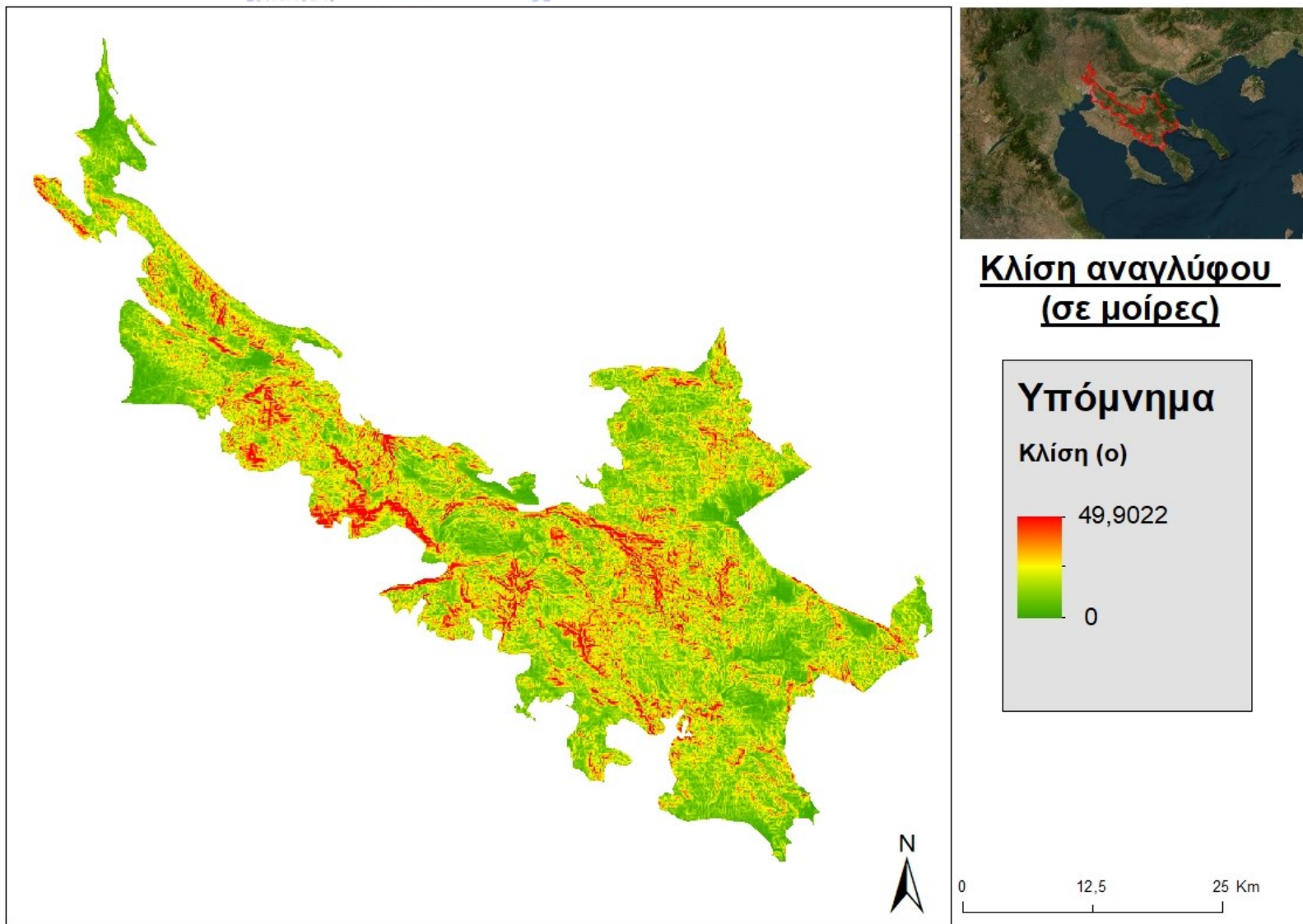
Η κλίση του αναγλύφου εκφράζεται σε μοίρες ή ποσοστό και ορίζεται ως η μέγιστη μεταβολή του σημειακού υψομέτρου σε μία συγκεκριμένη επιφάνεια. Η κλίση παίζει σημαντικό ρόλο στην ύπαρξη ή όχι υπόγειου νερού, καθώς η αύξηση της κλίσης αυξάνει και την ενέργεια στην κίνηση του νερού συνεπώς και την απορροή. Η απορροή είναι αντιστρόφως ανάλογη της κατείσδυσης, δηλαδή το νερό που κατεisdύει στο υπέδαφος μειώνεται όσο αυξάνει η απορροή, συνεπώς και η κλίση, διότι δεν υπάρχει χρόνος για την κατείσδυση των υδάτων.

Στην συγκεκριμένη εργασία ο χάρτης των κλίσεων (Σχήμα 31) παράχθηκε από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου του Σχήματος 23. Αναλυτικότερα δημιουργήθηκε στο λογισμικό ArcGis και παράχθηκε σε μορφή μοιρών. Έπειτα χωρίστηκε σε πέντε κλάσεις με ίσο διαχωρισμό, βαθμονομήθηκε (Πίνακας 20) και σχεδιάστηκε ο χάρτης κλίσεων (Σχήμα 32).

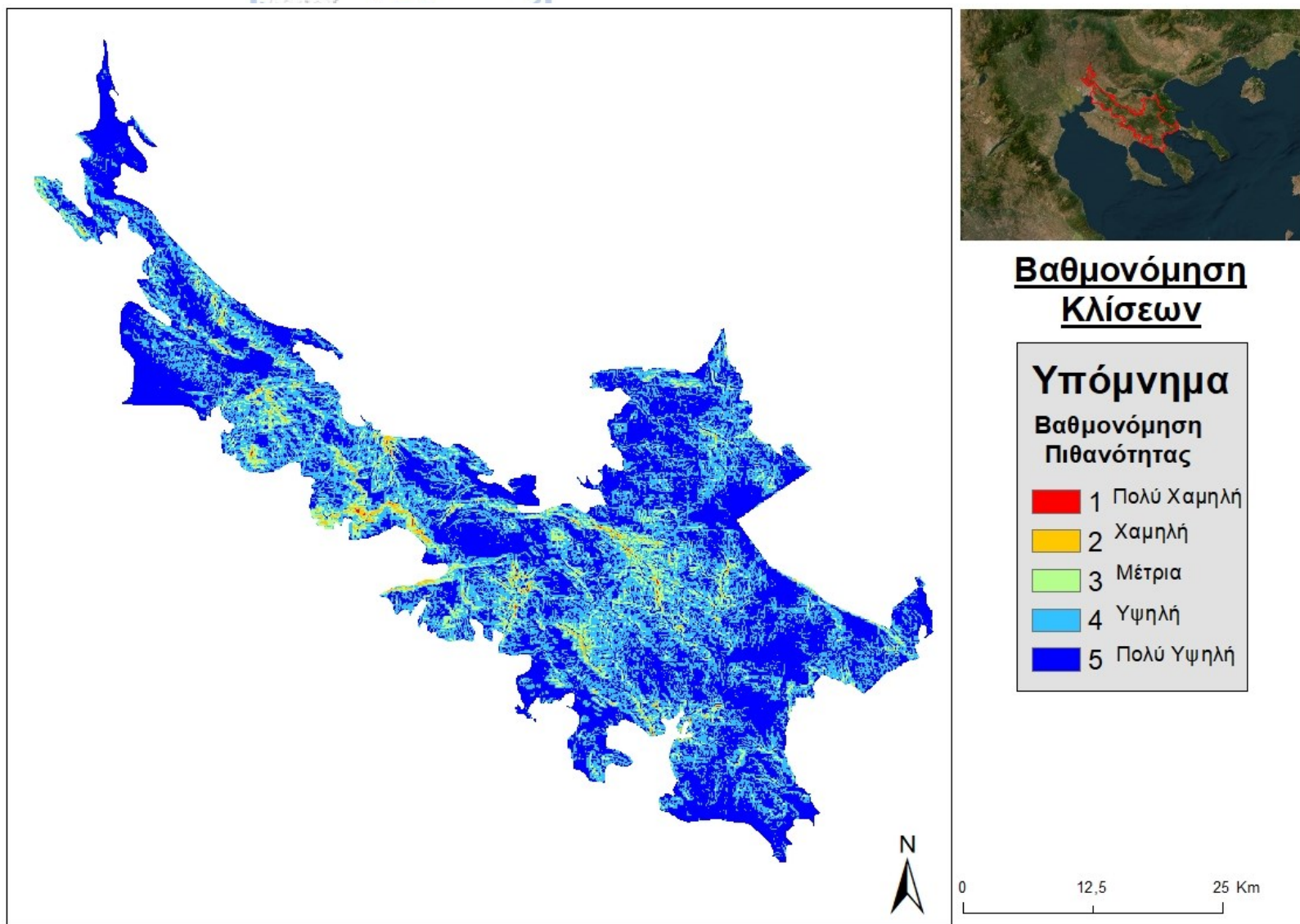
Παρατηρείται ότι στις υψηλές κλίσεις δεν έχουμε αποθήκευση του νερού καθώς το νερό στις θέσεις αυτές απορρέει επιφανειακά προς τα κατάντη. Αντίθετα, στις πιο ήπιες κλίσεις που δεν έχουμε μεγάλη απορροή, γίνεται η αποθήκευση των υδάτων. Συνεπώς και στο Σχήμα 32 η περιοχή παρουσιάζει σε μεγαλύτερη έκταση την κλάση με βαθμονόμηση πέντε (5), διότι το ανάγλυφο σε εκείνες τις περιοχές δεν είναι τόσο έντονο. Έπειτα ακολουθούν οι ομάδες τέσσερα (4), τρία (3) και δύο (2) προς τα ανάντη.

**Πίνακας 20:** Βαθμονόμηση Κλίσεων Κλιτύων με βάση την εντολή ίσων διαστημάτων.

| Κλάσεις Κλίσεων<br>Κλιτύων (μοίρες) | Βαθμονόμηση |
|-------------------------------------|-------------|
| 39,92 – 49,90                       | 1           |
| 29,94 – 39,92                       | 2           |
| 19,96 – 29,94                       | 3           |
| 9,98 – 19,96                        | 4           |
| 0 – 9,98                            | 5           |



*Σχήμα 31: Κλίση αναγλύφου του EL1000193 (ArcGis).*



Σχήμα 32: Βαθμονόμηση της Κλίση αναγλύφου του EL1000193 (ArcGis).

### 5.1.6 Υδρογραφικό δίκτυο

Το νερό της βροχόπτωσης, εφόσον προσπέσει στην επιφάνεια της γης, ρέει προς τα χαμηλότερα υψόμετρα εξαιτίας της βαρύτητας. Η μορφή που λαμβάνει αυτό το νερό είναι αυτή του επιφανειακού μανδύα ακανόνιστης μορφής και μεταβλητού πάχους, που πολύ γρήγορα διατάσσεται σε ένα δίκτυο επιφανειακής αποστράγγισης της γης, το οποίο ονομάζεται υδρογραφικό δίκτυο (Βουβαλίδης, 2011).

Εκτός από την περιοχή ροής του ποταμού, που παίζει σημαντικό ρόλο στην ύπαρξη υπόγειων υδάτων, υπάρχουν και ζώνες αυτού που παρουσιάζουν ανάλογα με την απόσταση μειούμενες πιθανότητες ύπαρξης νερού. Αναλυτικότερα, ο ρόλος της κοίτης του ποταμού μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση. Αυτό εξηγεί γιατί στην παράμετρο «απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο» έχει αποδοθεί μεγάλη βαρύτητα στην παρούσα μεθοδολογία. Οι κατηγορίες αυτού του κριτηρίου έχουν καθοριστεί.

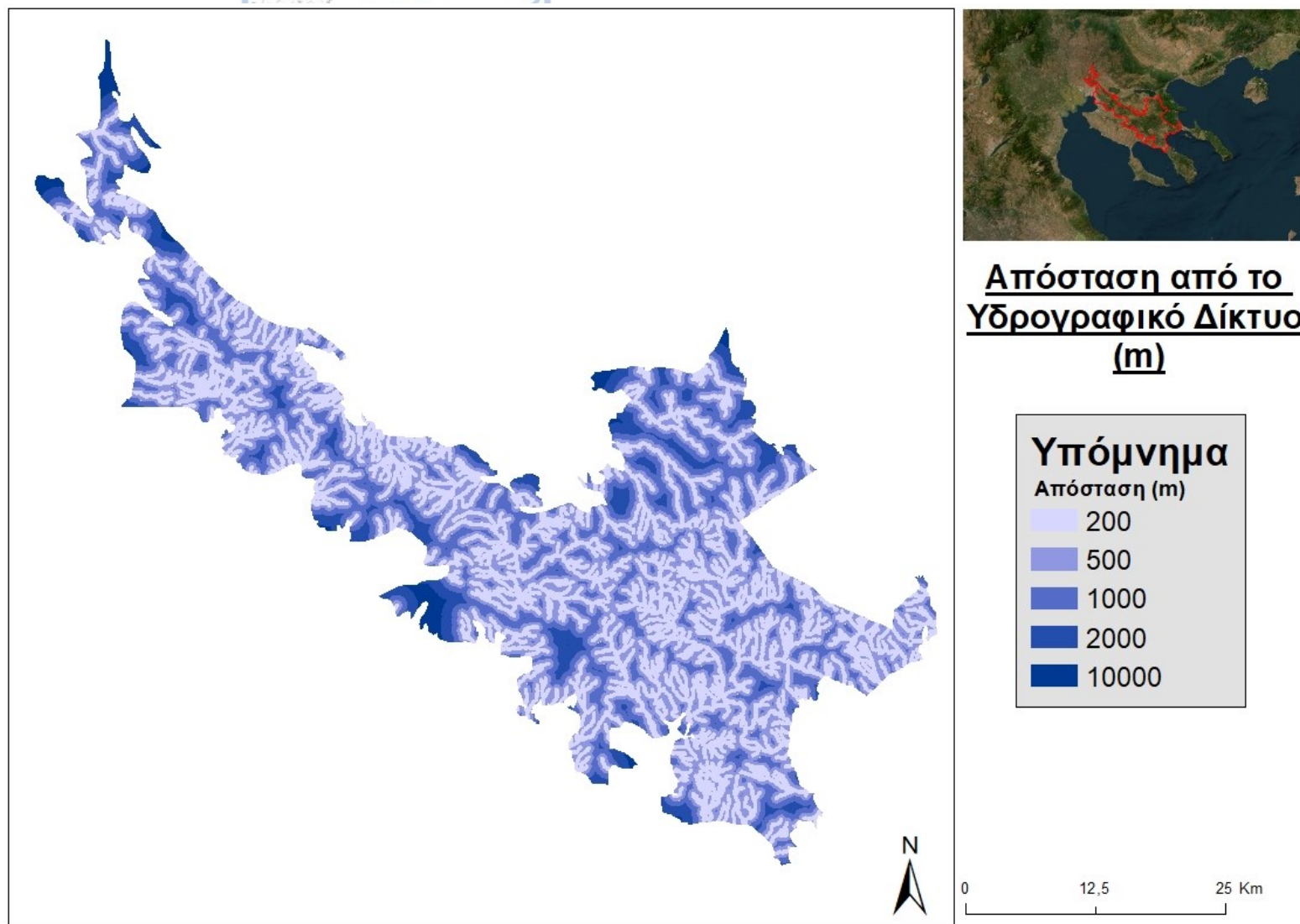
Φαίνεται ότι οι περιοχές κοντά στο δίκτυο ροής (200 m) έχουν πολλές πιθανότητες εύρεσης νερού με ρηχές γεωτρήσεις, καθώς ο υδροφόρος ορίζοντας είναι υψηλά και τροφοδοτείται από τους ποταμοχειμάρους, ενώ όσο μεγαλώνει η απόσταση από την κοίτη, ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πιο βαθιά και οι πιθανότητες εύρεσης νερού μειώνονται. (Καζάκης Ν., 2015)

Εφόσον έγινε η ψηφιοποίηση του υδρογραφικού δικτύου από τα γεωλογικά φύλλα χαρτών του ΙΓΜΕ, τέθηκαν προς δημιουργία ζώνες γύρω από το υδρογραφικό δίκτυο με αποστάσεις 200, 500, 1000, 2000, 10000 σε μέτρα (Πίνακας 21, Σχήμα 33). Το προϊόν που παράγεται είναι πολύγωνα της μορφής που απεικονίζονται στο Σχήμα 34 με εναλλαγή χρωμάτων κατά την αλλαγή της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο.

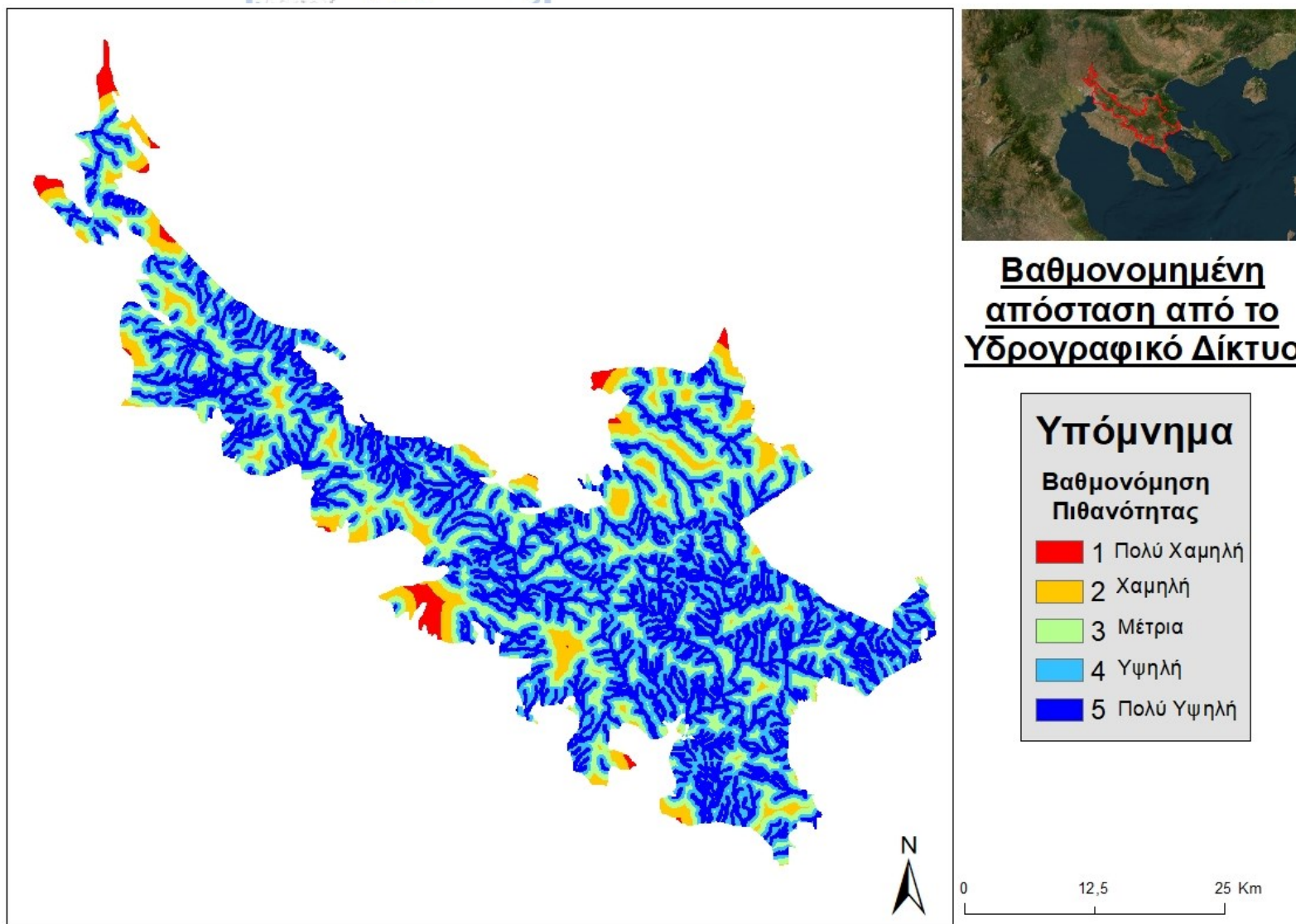
Πλησίον του υδρογραφικού δικτύου η πιθανότητα ύπαρξης του υπόγειου νερού είναι πολύ υψηλή (κλάση 5) και όσο η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο μεγαλώνει, οι πιθανότητες ύπαρξης υπόγειου νερού ελαττώνονται. Συνεπώς, περιμετρικά της πέμπτης (5<sup>ης</sup>) κλάσης ακολουθεί η τέταρτη (4<sup>η</sup>) με υψηλή πιθανότητα νερού και απόσταση 200 m με 500 m. Ακολουθώντας η τρίτη (3<sup>η</sup>) με απόσταση 500 m έως 1000 m και η δεύτερη (2<sup>η</sup>) και πρώτη (1<sup>η</sup>) με αποστάσεις 1000 m έως 2000 m και πάνω από 2000 m αντίστοιχα.

**Πίνακας 21:** Βαθμονόμηση απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο.

| Κλάσεις αποστάσεων από το υδρογραφικό (m) | Βαθμονόμηση |
|-------------------------------------------|-------------|
| >2000                                     | 1           |
| 1000-2000                                 | 2           |
| 500-1000                                  | 3           |
| 200-500                                   | 4           |
| <200                                      | 5           |



*Σχήμα 33: Απόσταση από το Υδρογραφικό δίκτυο του του EL1000193 (ArcGis).*



*Σχήμα 34: Βαθμονομημένος χάρτης απόστασης από το υδρογραφικό του EL1000193 (ArcGis).*

### 5.1.7 Δίκτυο Ρηγμάτων

Ένα ρήγμα δημιουργείται από τη διάρρηξη των ασθενών ζωνών των πετρωμάτων του στερεού φλοιού της γης, ως συνέπεια των ανομοιομορφων πιέσεων. Το βάθος τους παραμένει άγνωστο σε αντίθεση με το μήκος τους που μπορεί να φτάσει μέχρι τα 200 m (Βουβαλίδης, 2011).

Ένα ρήγμα κερματίζει την περιοχή έδρασής του και συνεπώς την κάνει πιο περατή με την κίνηση των υδάτων στα κενά των ρωγματώσεων. Όσο απομακρυνόμαστε από την περιοχή της ρηγματικής ζώνης το πέτρωμα γίνεται πιο συμπαγές, καθώς δεν επιδρά το ρήγμα σε αυτήν και μειώνεται η περατότητά του, συνεπώς και η ποσότητα υδάτων.

Φαίνεται ότι οι περιοχές κοντά στο δίκτυο ρηγμάτων (500 m) έχουν πολλές πιθανότητες εύρεσης νερού λόγω του ότι μέσω των ρωγματώσεων κινείται το νερό στο υπέδαφος, ενώ όσο μεγαλώνει η απόσταση από την ζώνη των ρηγμάτων, το πέτρωμα γίνεται πιο συμπαγές χωρίς ρωγματώσεις, δυσκολεύεται η κίνηση του νερού και οι πιθανότητες εύρεσης νερού μειώνονται. (Καζάκης Ν., 2015)

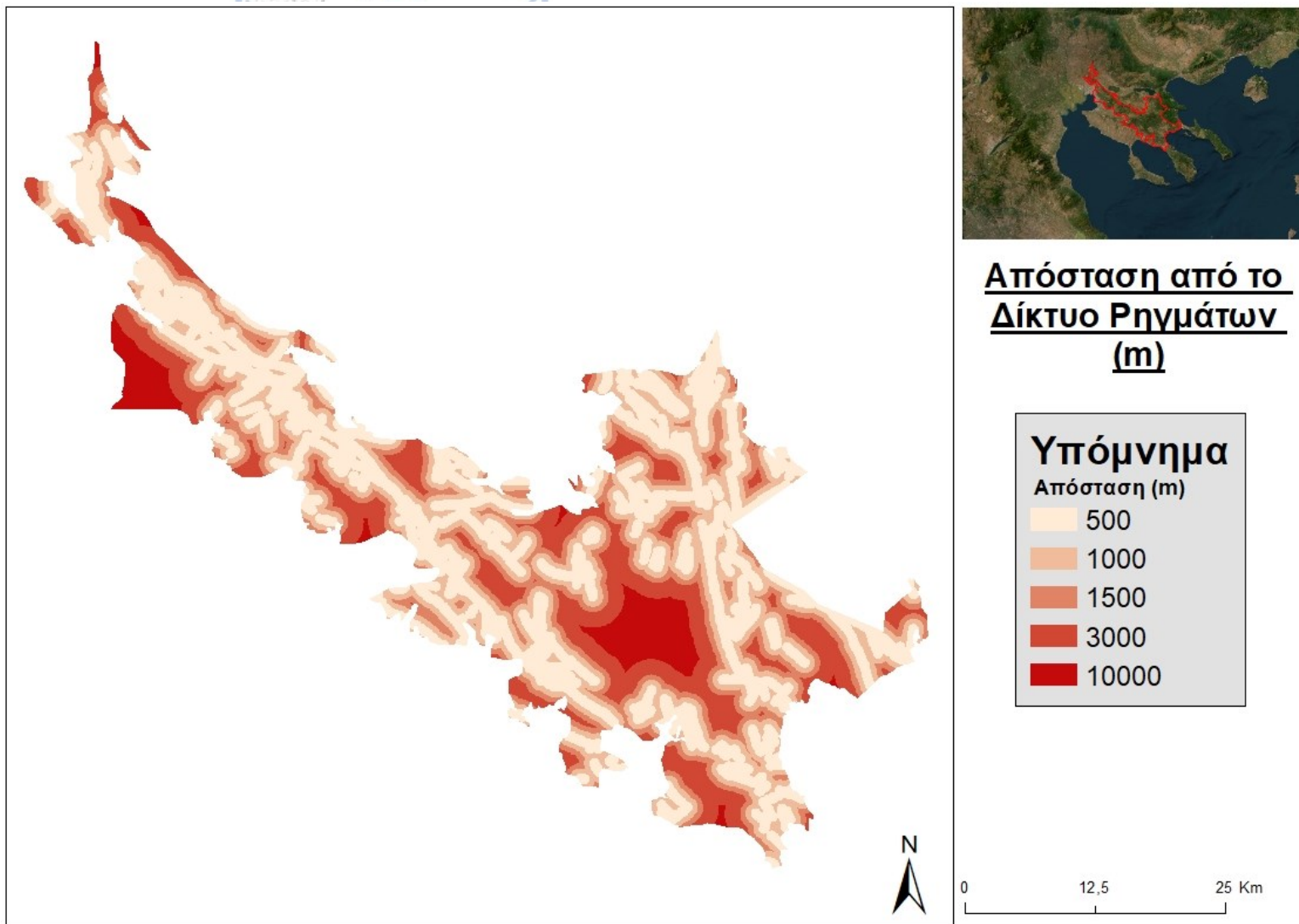
Εφόσον έγινε η ψηφιοποίηση των ρηγμάτων από τα γεωλογικά φύλλα χαρτών του ΙΓΜΕ, τέθηκαν προς δημιουργία ζώνες γύρω από τα ρήγματα με αποστάσεις 500, 1000, 1500, 3000, 10.000 σε μέτρα. Το προϊόν που παράγεται είναι πολύγωνα της μορφής που απεικονίζονται στο Σχήμα 35 με εναλλαγή χρωμάτων κατά την αλλαγή της απόστασης από το δίκτυο των ρηγμάτων.

Η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε με τον εξής διαχωρισμό που ήταν βασισμένος στις καθορισμένες αποστάσεις από την ρηγματική ζώνη (Πίνακας 22, Σχήμα 36). Ο διαχωρισμός των κλάσεων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τον Καζάκης Ν. (2015), με μικρή τροποποίηση στις αποστάσεις για την καλύτερη εφαρμογή του μοντέλου.

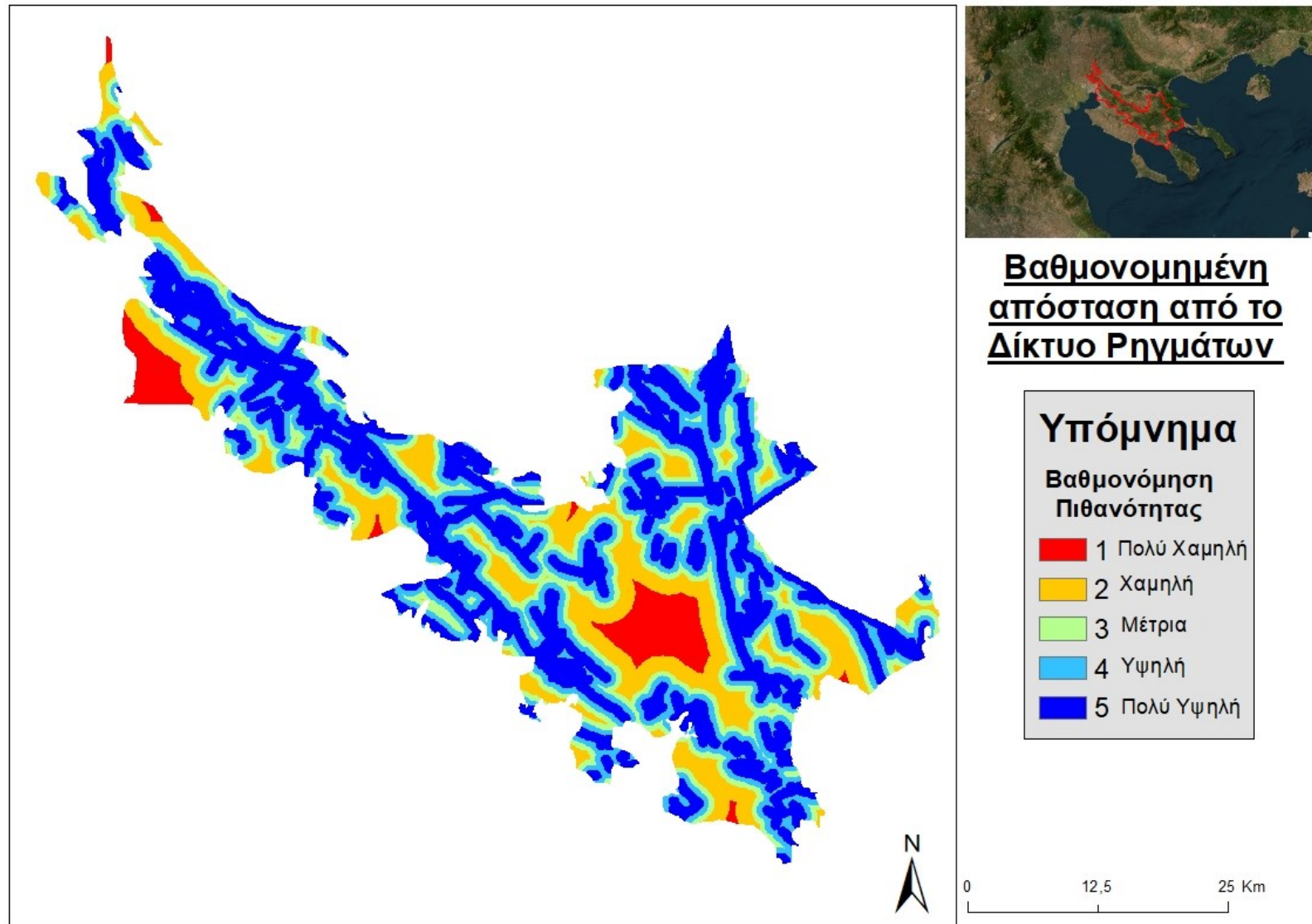
Πλησίον του δικτύου ρηγμάτων η πιθανότητα ύπαρξης του υπόγειου νερού είναι πολύ υψηλή (κλάση 5) και όσο η απόσταση από το ρωγματικό σύστημα μεγαλώνει, οι πιθανότητες ύπαρξης υπόγειου νερού ελαττώνονται. Συνεπώς, περιμετρικά της πέμπτης (5<sup>ης</sup>) κλάσης ακολουθεί η τέταρτη (4<sup>η</sup>) με υψηλή πιθανότητα νερού και απόσταση 500 m με 1000 m. Ακολουθώς η τρίτη (3<sup>η</sup>) με απόσταση 1000 m έως 1500 m και η δεύτερη (2<sup>η</sup>) και πρώτη (1<sup>η</sup>) με αποστάσεις 1500 m έως 3000 m και πάνω από 3000 m αντίστοιχα.

**Πίνακας 22:** Βαθμονόμηση με βάση την απόσταση από τα ρήγματα.

| Κλάσεις αποστάσεων από τα ρήγματα (m) | Βαθμονόμηση |
|---------------------------------------|-------------|
| >3000                                 | 1           |
| 1500-3000                             | 2           |
| 1000-1500                             | 3           |
| 500-1000                              | 4           |
| <500                                  | 5           |



**Σχήμα 35:** Χάρτης απόστασης από ρήγματα του EL1000193 (ArcGis).



**Σχήμα 36:** Βαθμονομημένος χάρτης απόστασης από ρήγματα του EL1000193 (ArcGis).

### 5.1.8 Χρήσεις γης

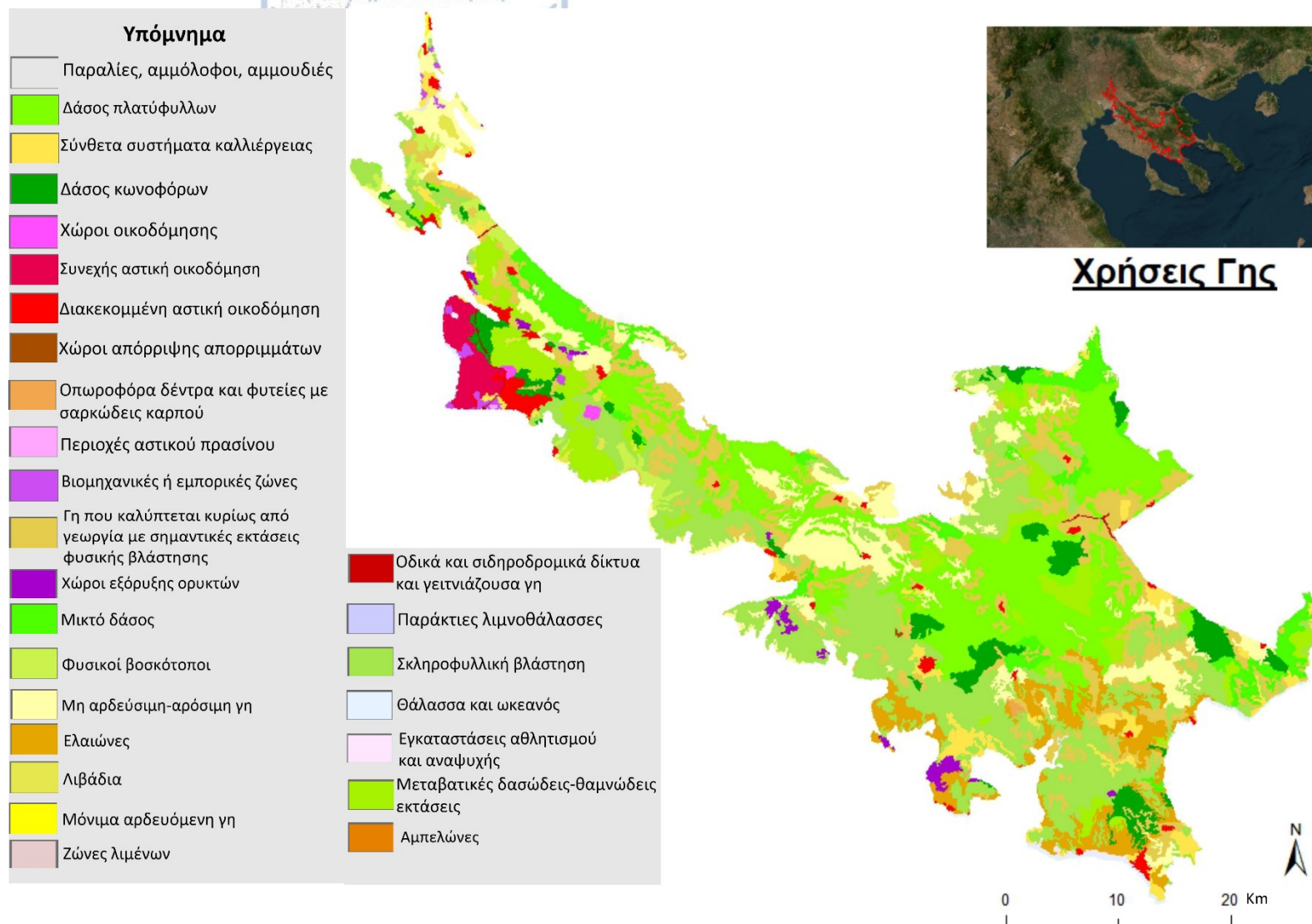
Η περιοχή έρευνας αποτελείται από το Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή την Κεντρικής Μακεδονίας. Η συγκεκριμένη περιοχή καλύπτεται κατά το πλείστον με δασικές εκτάσεις και λιβάδια. Έπειτα σειρά παίρνουν οι ελαιώνες αλλά και τα σύνθετα συστήματα καλλιεργείων που αναφέρονται κυρίως σε εκτάσεις που εμπεριέχουν μικρά αγροτεμάχια με ετήσιες ή μόνιμες καλλιέργειες και βοσκοτόπους. Τέλος σημαντική έκταση καταλαμβάνουν οι κατοικήσιμες περιοχές με σημαντικό ποσοστό στις παράκτιες ζώνες, που λόγω του τουρισμού κατά τους θερινούς μήνες, οι χώροι οικοδόμησης και οικοδομικής ανάπτυξης θεωρήθηκαν οι καταλληλότεροι (Σχήμα 37).

Η βαθμονόμηση του χάρτη χρήσεων γης βασίστηκε στον Πίνακα 23, όπου χωρίζει τα είδη χρήσεων γης που συναντώνται στην περιοχή έρευνας, αναλόγως με την θεωρητική ποσότητα υδάτων στο υπέδαφος καθώς και της απορροής που θεωρητικά θα είχε η συγκεκριμένη ομάδα ταξινόμησης (Σχήμα 38).

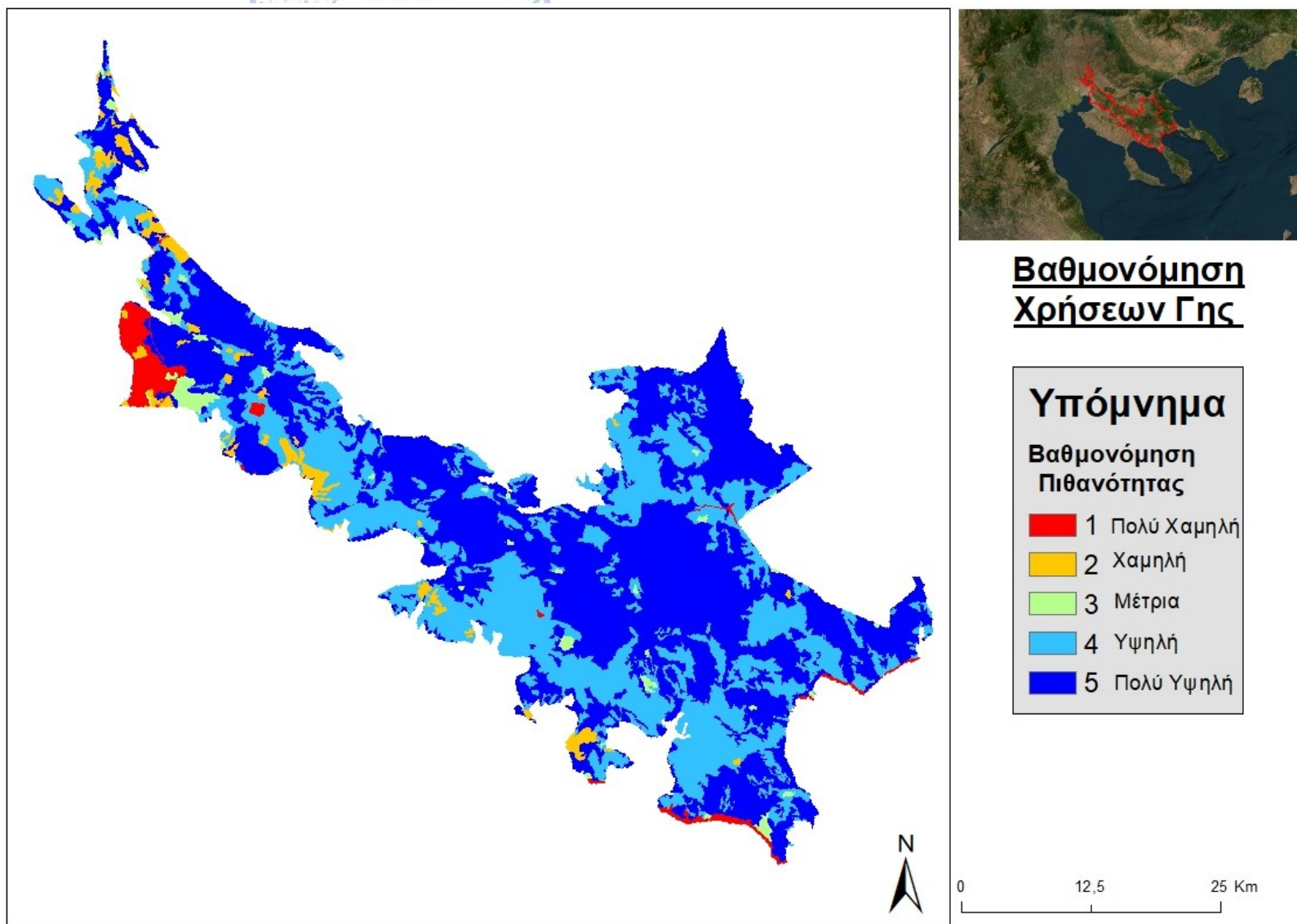
Συνεπώς οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις που, όπως είναι γνωστό, απαιτούν ικανοποιητικές ποσότητες υδάτων για την μέγιστη παραγωγή καθώς και εκτάσεις που είναι καλυμμένες από δάση, εντάσσονται στην κατηγορία με βαθμονόμηση πέντε (5), που αντιπροσωπεύει θέσεις με πολύ υψηλή πιθανότητα ύπαρξης νερού. Ακολουθεί η υψηλή πιθανότητα με τιμή τέσσερα (4), όπου συμπεριλαμβάνονται οι περιοχές φυσικής βλάστησης και γεωργίας. Και τέλος κατά φθίνουσα πιθανότητα ύπαρξης νερού, ακολουθούν οι καλλιέργειες που δεν απαιτούν σημαντικές ποσότητες νερού, περιοχές αστικού πράσινου και αστικές περιοχές.

**Πίνακας 23:** Αναλυτικός πίνακας στο λογισμικό.

| Είδος                                                                  | Βαθμονόμηση |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Συνεχής αστική οικοδόμηση                                              | 1           |
| Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση                                         | 3           |
| Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες                                         | 2           |
| Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη                     | 1           |
| Ζώνες λιμένων                                                          | 1           |
| Χώροι εξόρυξης ορυκτών                                                 | 2           |
| Χώροι απόρριψης απορριμμάτων                                           | 1           |
| Χώροι οικοδόμησης                                                      | 1           |
| Περιοχές αστικού πράσινου                                              | 2           |
| Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής                                  | 1           |
| Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη                                                | 5           |
| Μόνιμα αρδευόμενη γη                                                   | 5           |
| Αμπελώνες                                                              | 3           |
| Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς                      | 3           |
| Ελαιώνες                                                               | 5           |
| Λιβάδια                                                                | 2           |
| Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας                                         | 5           |
| Γη που καλύπτεται από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης | 4           |
| Δάσος πλατύφυλλων                                                      | 5           |
| Δάσος κωνοφόρων                                                        | 5           |
| Μικτό δάσος                                                            | 5           |
| Φυσικοί βοσκότοποι                                                     | 2           |
| Σκληροφυλλική βλάστηση                                                 | 4           |
| Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις                                | 5           |
| Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές                                         | 4           |
| Παράκτιες λιμνοθάλασσες                                                | 1           |
| Θάλασσα και ωκεανός                                                    | 1           |



Σχήμα 37: Χάρτης χρήσεων Γης του EL1000193 (ArcGis & Surfer).



Σχήμα 38: Βαθμονομημένος χάρτης χρήσεων Γης του EL1000193 (ArcGis).

## 5.2 Τελικός χάρτης

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε έχει ως απώτερο σκοπό τη δημιουργία χαρτών με γνώμονα την πιθανότητα ύπαρξης υπόγειας υδροφορίας σε περιοχές, εντός της ερευνώμενης έκτασης, βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων. Ο χωρισμός όλων των βαθμονομημένων χαρτών πραγματοποιήθηκε σε πέντε κλάσεις από το ένα (1) έως το πέντε (5), με αντίστοιχα μικρή έως μεγάλη πιθανότητα ύπαρξης νερού. Ο κάθε παράγοντας βαθμολογήθηκε με βάση κριτήρια, σχετικά με την αποθήκευση ή μη υδάτων, σε υψηλή έως χαμηλή συμμετοχή. Αντίστοιχες κλάσεις χρησιμοποιήθηκαν και για την δημιουργία του τελικού χάρτη.

Παρόλα αυτά δεν υπάρχει ισοκατανομή στην βαρύτητα κάθε παραμέτρου διότι δεν συμβάλει ο κάθε παράγοντας με τον ίδιο βαθμό. Ως αποτέλεσμα, κάθε παράγοντας παρουσιάζει συγκεκριμένο βαθμό επίδρασης.

### 5.2.1 Εύρεση συντελεστών βαρύτητας

Για την εύρεση των συντελεστών βαρύτητας, αρχικά, έγινε βιβλιογραφική έρευνα από πρόσφατες δημοσιεύσεις επιστημονικών περιοδικών και αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 24. Ωστόσο η πλειοψηφία αυτών πραγματοποιήθηκαν σε περιοχές εκτός Ευρώπης που παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά η κάθε μία (γεωλογία, κλίσεις, υδρογραφικό δίκτυο, δίκτυο ρηγμάτων, χρήσεις γης κ.α.). Μόνο μία εργασία εξ αυτών εντοπίζεται στην Ελλάδα και παρουσιάζει πανομοιότυπα χαρακτηριστικά (Oikonomidis D., et.al. (2015)). Η περιοχή που ερευνάται τοποθετείται στον Τύρναβο και αποτελεί την υδρολογική λεκάνη της Λάρισας, σε αντίθεση με την περιοχή έρευνας της παρούσης εργασίας που αποτελεί ένα ρωγματικό σύστημα μεγαλύτερης έκτασης.

**Πίνακας 24:** Παρόμοιες εργασίες σε παγκόσμια κλίμακα.

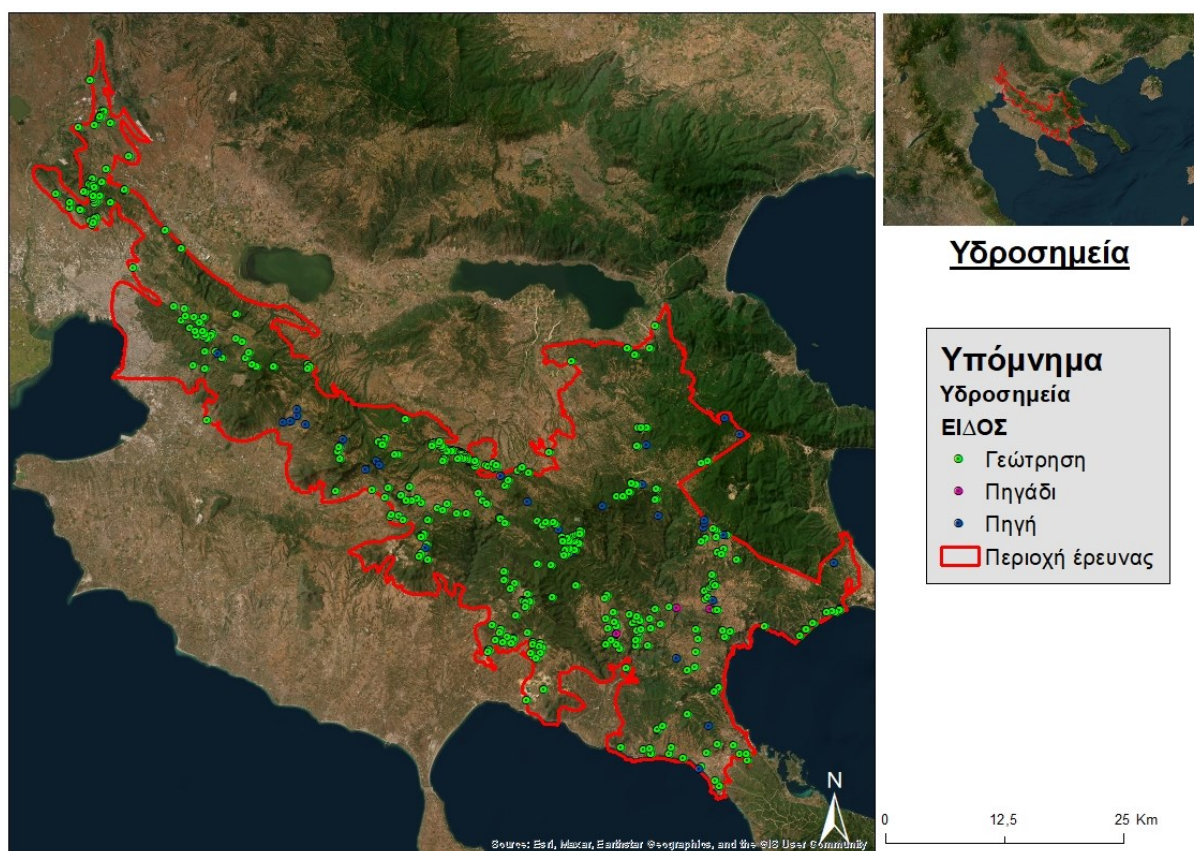
| Συγγραφείς                                                                | Χρονολογία | Περιοχή έρευνας |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------|
| Ashwini K., Singh A., Verma R. K., Sriharsha S.                           | 2023       | Ινδία           |
| Bagheri D., Tizro A. T., Okhravi S., Fryar A., Kazakis N., Voudouris K.   | 2022       | Ιράν            |
| Das R. , Saha S.                                                          | 2022       | -               |
| El-Aziz H. A. , Abu-Bakr, Abdelmoniem M.                                  | 2023       | Αίγυπτος        |
| Elbarbary S., Araffaa S. A.S., El-Shahat A., Zahera M. A., Khedherd K. M. | 2021       | Αίγυπτος        |
| Ferozura R. Md., Jahanb C. S., Arefinb R., Mazumderb Q. H.                | 2019       | Μπαγκλαντές     |
| Godif G., Manjunatha B.R.                                                 | 2023       | Αιθιοπία        |
| Kumar M., Singh P., Singh P.                                              | 2023       | Ινδία           |
| Oikonomidis D., Dimogianni S., Kazakis N., Voudouris K.                   | 2015       | Ελλάδα          |

|                                                                                        |      |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------|
| Shebl A., Abdelaziz M. I., Ghazalad H., Awad S., Araffae S., Abdellatif M., Csámera A. | 2022 | Αίγυπτος            |
| Smida H., Dassi L., Boukhachem K., Masrouhi A.                                         | 2022 | Κεντρική<br>Τυνησία |
| Sresto M. A., Siddika S., Haque Md. N. , Saroar M.                                     | 2021 | Μπαγκλαντές         |
| Yeh H., Cheng Y., Lin H., Lee C.                                                       | 2016 | Ταϊβάν              |

Συνεπώς, δεν θα ήταν αξιόπιστο να χρησιμοποιηθούν οι ίδιοι συντελεστές βαρύτητας. Οπότε για να πραγματοποιηθεί η εύρεση των συντελεστών βαρύτητας, χρησιμοποιήθηκαν τα υδροσημεία που αναφέρονται στην Υδρογεωλογική Μελέτη του ΙΓΜΕ (Βεράνης, 2012) καθώς και των δύο αρχείων που λήφθηκαν από την Γραμματεία Υδάτων. Συνολικά παρουσιάζονται 439 γεωτρήσεις, 3 πηγάδια και 32 πηγές εντός της περιοχής έρευνας (κόκκινο περίγραμμα) (Πίνακας 28). Αυτά τα υδροσημεία παρουσιάζονται μαζί με τον χάρτη στο Σχήμα 39.

**Πίνακας 25:** Υδροσημεία εντός του κόκκινου περιγράμματος της περιοχής έρευνας.

| ΕΙΔΟΣ         | α/α        |
|---------------|------------|
| Γεώτρηση      | 439        |
| Πηγάδι        | 3          |
| Πηγή          | 32         |
| <b>Σύνολο</b> | <b>474</b> |



**Σχήμα 39:** Υδροσημεία εντός του του EL1000193 (ArcGis).

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε με σκοπό την εύρεση των συντελεστών βαρύτητας είναι η καταμέτρηση των γεωτρήσεων με διαφορετικό παράγοντα στο υπόβαθρο. Αναλυτικότερα, με βάση τα Σχήματα: 25, 27, 30, 32, 34, 36, 38 που παρουσιάζουν τους επτά (7) βαθμονομημένους παράγοντες, που λαμβάνει υπόψη η μέθοδος, έγινε η καταμέτρηση των γεωτρήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση με αρίθμηση πιθανότητας από το ένα (1) έως το πέντε (5) (Πίνακας 26).

**Πίνακας 26:** Γεωτρήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε βαθμονόμηση .

|                                 | 1   |        | 2   |        | 3   |        | 4   |        | 5   |        |
|---------------------------------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
| <b>Χρήσεις Γης</b>              | 6   | 1,39%  | 9   | 2,08%  | 21  | 4,86%  | 126 | 29,17% | 270 | 62,50% |
| <b>Κλίση</b>                    | -   | -      | 1   | 0,23%  | 16  | 3,70%  | 97  | 22,45% | 318 | 73,61% |
| <b>Απόσταση από ρήγματα</b>     | 10  | 2,31%  | 77  | 17,82% | 71  | 16,44% | 82  | 18,98% | 192 | 44,44% |
| <b>Απόσταση από υδρογραφικό</b> | 1   | 0,23%  | 28  | 6,48%  | 83  | 19,21% | 150 | 34,72% | 170 | 39,35% |
| <b>Λιθολογία</b>                | 101 | 23,38% | 34  | 7,87%  | 48  | 11,11% | 212 | 49,07% | 37  | 8,56%  |
| <b>Βροχόπτωση</b>               | 103 | 23,84% | 170 | 39,35% | 105 | 24,31% | 54  | 12,50% | -   | -      |
| <b>Κατείδυση</b>                | 163 | 37,73% | 126 | 29,17% | 104 | 24,07% | 34  | 7,87%  | 5   | 1,16%  |

\*\*Τα υδροσημεία αρχικά ανέρχονταν στα 474, ωστόσο, λόγω της βαθμονόμησης και ένωσης των χαρτών υπήρξαν περιοχές πολύ κοντά στα όρια που δεν περιείχαν δεδομένα καθώς και υδροσημεία που περιέχονταν σε πάνω από ένα αρχείο και γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκαν τα 432 υδροσημεία.

Την μεγαλύτερη συγκέντρωση υδροσημείων την διακατέχει η βαθμονόμηση πέντε (5). Οπότε με γνώμονα την στήλη με βαθμονόμηση νούμερο πέντε (5) του Πίνακα 26, έγινε η μετατροπή του αριθμού του γεωτρήσεων σε ποσοστό (%). Παρατηρούμε στον Πίνακα 27 ότι δεν έχουμε τιμή για τον παράγοντα της βροχόπτωσης, οπότε έγινε προσθήκη 0,05 σε όλους τους επτά (7) παράγοντες και παράχθηκαν έτσι οι τελικοί συντελεστές βαρύτητας.

Μεγαλύτερη βαρύτητα έχουν οι παράγοντες: Κλίσης, Χρήσεις γης, Δίκτυο Ρηγμάτων και Υδρογραφικό Δίκτυο, σε αντίθεση με τους παράγοντες που αφορούν την βροχόπτωση, την κατείδυση και την λιθολογία που η συμβολή τους είναι αρκετά μικρότερη. Στον Πίνακα 28 παρουσιάζονται όλοι οι παράγοντες με τις αντίστοιχες τιμές βαρύτητας.

**Πίνακας 27:** Τελικοί συντελεστές βαρύτητας.

| Παράγοντας         | Βαθμονόμηση<br>5 | Συντελεστής<br>βαρύτητας<br>5%+0,05 |
|--------------------|------------------|-------------------------------------|
| Βροχόπτωση         | -                | 0,05                                |
| Λιθολογία          | 0,08             | 0,08                                |
| Κατείσδυση         | 0,01             | 0,05                                |
| Κλίση των κλιτύων  | 0,73             | 0,37                                |
| Δίκτυο Ρηγμάτων    | 0,44             | 0,24                                |
| Υδρογραφικό Δίκτυο | 0,39             | 0,22                                |
| Χρήσεις Γης        | 0,62             | 0,32                                |
| <b>Σύνολο</b>      | <b>2,29</b>      | <b>1,35</b>                         |

**Πίνακας 28:** Συγκεντρωτικός πίνακας παραγόντων, με τα αντίστοιχα εύρη και βαρύτητες.

| Παράγοντες                       | Εύρος           | Βαθμονόμηση<br>(Πιθανότητα) | Βαρύτητα |
|----------------------------------|-----------------|-----------------------------|----------|
| <b>Βροχόπτωση<br/>(mm)</b>       | 524,59 – 580,91 | 1 (πολύ χαμηλή)             | 0,05     |
|                                  | 580,91 – 637,22 | 2 (χαμηλή)                  |          |
|                                  | 637,22 – 693,53 | 3 (μέτρια)                  |          |
|                                  | 693,53 – 749,84 | 4 (υψηλή)                   |          |
|                                  | 749,84 – 806,15 | 5 (πολύ υψηλή)              |          |
| <b>Κατείσδυση<br/>(mm)</b>       | 15,7 – 68,2     | 1 (πολύ χαμηλή)             | 0,08     |
|                                  | 68,2 – 120,8    | 2 (χαμηλή)                  |          |
|                                  | 120,8 – 173,3   | 3 (μέτρια)                  |          |
|                                  | 173,3 – 225,8   | 4 (υψηλή)                   |          |
|                                  | 225,8 – 278,4   | 5 (πολύ υψηλή)              |          |
| <b>Λιθολογία</b>                 | 0,03 & 0,04     | 1 (πολύ χαμηλή)             | 0,05     |
|                                  | 0,05 & 0,06     | 2 (χαμηλή)                  |          |
|                                  | 0,07 & 0,14     | 3 (μέτρια)                  |          |
|                                  | 0,2             | 4 (υψηλή)                   |          |
|                                  | 0,25 & 0,35     | 5 (πολύ υψηλή)              |          |
| <b>Κλίση<br/>Κλιτύων<br/>(°)</b> | 39,92 – 49,90   | 1 (πολύ χαμηλή)             | 0,37     |
|                                  | 29,94 – 39,92   | 2 (χαμηλή)                  |          |
|                                  | 19,96 – 29,94   | 3 (μέτρια)                  |          |
|                                  | 9,98 – 19,96    | 4 (υψηλή)                   |          |
|                                  | 0 – 9,98        | 5 (πολύ υψηλή)              |          |

|                               |                                        |                 |      |
|-------------------------------|----------------------------------------|-----------------|------|
| <b>Δίκτυο Ρηγμάτων (m)</b>    | >3000                                  | 1 (πολύ χαμηλή) | 0,24 |
|                               | 1500-3000                              | 2 (χαμηλή)      |      |
|                               | 1000-1500                              | 3 (μέτρια)      |      |
|                               | 500-1000                               | 4 (υψηλή)       |      |
|                               | <500                                   | 5 (πολύ υψηλή)  |      |
| <b>Υδρογραφικό Δίκτυο (m)</b> | >2000                                  | 1 (πολύ χαμηλή) | 0,22 |
|                               | 1000-2000                              | 2 (χαμηλή)      |      |
|                               | 500-1000                               | 3 (μέτρια)      |      |
|                               | 200-500                                | 4 (υψηλή)       |      |
|                               | <200                                   | 5 (πολύ υψηλή)  |      |
| <b>Χρήσεις Γης</b>            | Αστικός ιστός                          | 1 (πολύ χαμηλή) | 0,32 |
|                               | Λιβάδια – Φυσικοί βοσκότοποι           | 2 (χαμηλή)      |      |
|                               | Καλλιέργειες (χωρίς την ανάγκη υδάτων) | 3 (μέτρια)      |      |
|                               | Φυσική βλάστηση                        | 4 (υψηλή)       |      |
|                               | Μικτό δάσος – Καλλιεργήσιμες εκτάσεις  | 5 (πολύ υψηλή)  |      |

### 5.2.2 Εξαγωγή χάρτη

Για την εξαγωγή του τελικού χάρτη πιθανότητας ύπαρξης νερού συνέβαλαν οι επτά (7) βαθμονομημένοι χάρτες που προηγήθηκαν και πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε ο πολλαπλασιασμός του καθενός με τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας (Πίνακας 28) και έπειτα ακολούθησε το άθροισμά τους σύμφωνα με την Εξίσωση 6 (με το εργαλείο Map algebra στο ArcGis).

**Εξίσωση 6:** Εφαρμογή των συντελεστών και δημιουργία τελικού χάρτη

$$P1*W1+ P2*W2+ P3*W3 + P4*W4 + P5*W5 + P6*W6 + P7*W7$$

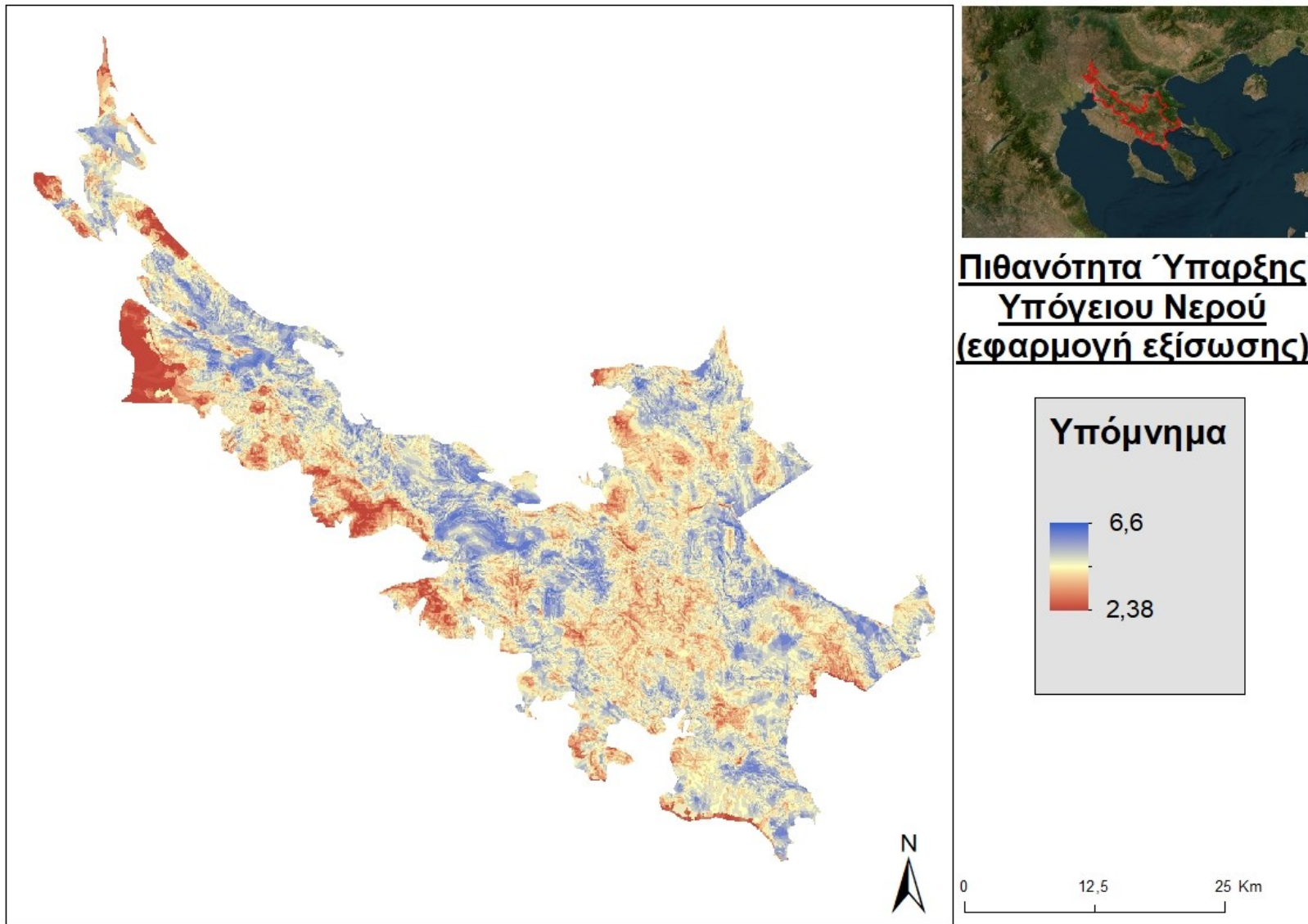
Όπου:

- P: κάθε μία από τις επτά (7) βαθμονομημένες παραμέτρους
- W: η βαρύτητα κάθε παραμέτρου από Πίνακα 28

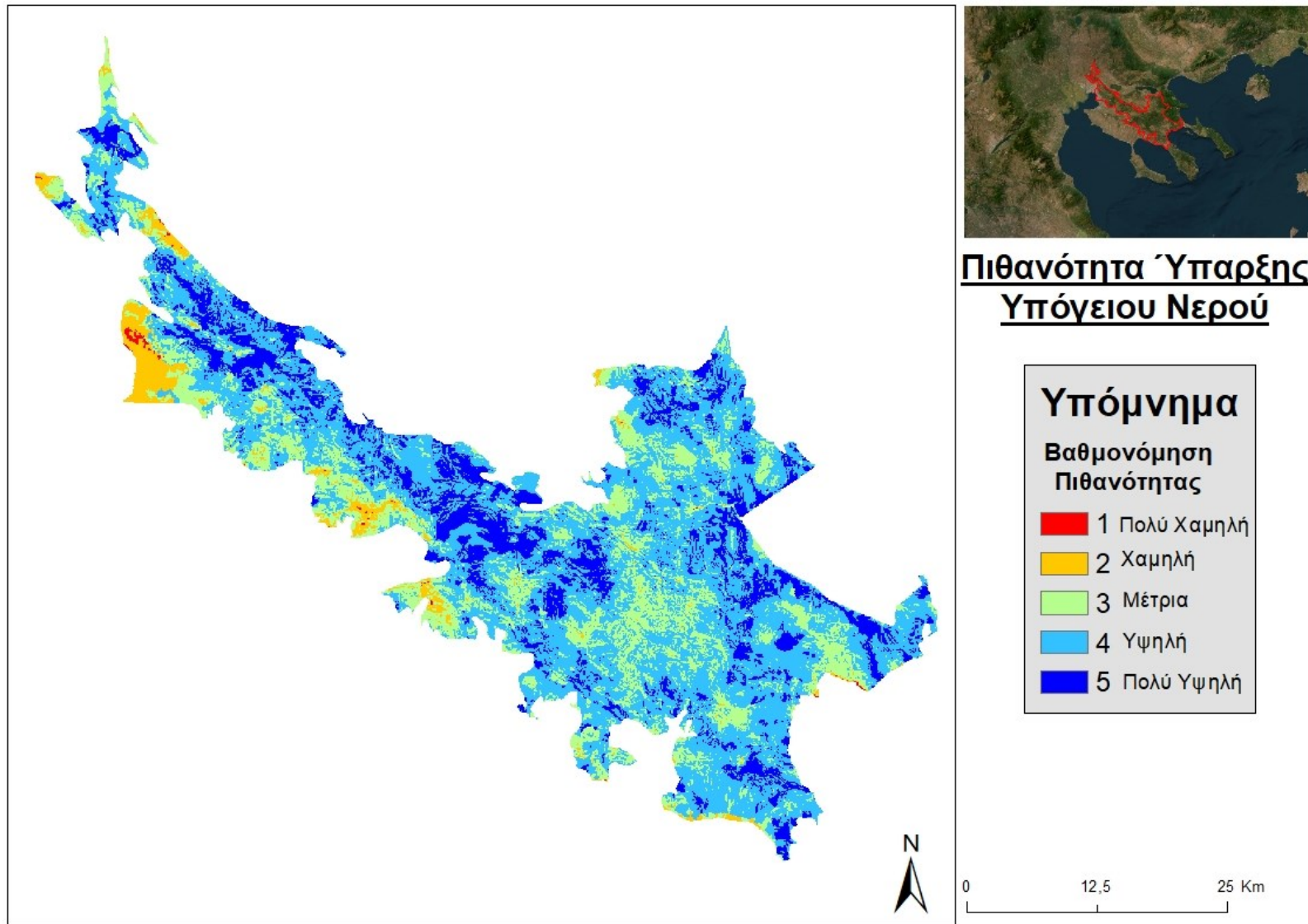
Ο παραγόμενος χάρτης που προέκυψε παρουσιάζεται στο Σχήμα 40 και απεικονίζει την πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού στην ερευνώμενη περιοχή. Παρατηρείται ότι περιμετρικά της περιοχής έρευνας, η πιθανότητα ύπαρξης είναι αρκετά χαμηλή καθώς απεικονίζεται με θερμές αποχρώσεις. Αντιθέτως η μεγάλη πιθανότητα ύπαρξης υδάτων παρατηρείται σημειακά σε όλη την έκταση έρευνας και κυρίως στο κεντρικό τμήμα και απεικονίζεται με αποχρώσεις του μπλε. (Σχήμα 40). Ακολούθησε ο διαχωρισμός του χάρτη σε κλάσεις με την εντολή των ίσων διαστημάτων (Πίνακας 29), θεωρώντας την τιμή πέντε (5) την μέγιστη πιθανότητα παρουσίας υπόγειου νερού (Σχήμα 41).

**Πίνακας 29:** Βαθμονόμηση πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού

| Κλάσεις κατανομής πιθανότητας ύπαρξης<br>υπόγειου νερού | Βαθμονόμηση |
|---------------------------------------------------------|-------------|
| 2,38-3,224                                              | 1           |
| 3,224-4,068                                             | 2           |
| 4,068-4,912                                             | 3           |
| 4,912-5,756                                             | 4           |
| 5,756-6,6                                               | 5           |



**Σχήμα 40:** Πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού του EL1000193 (ArcGis).



**Σχήμα 41:** Χάρτης πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού του EL1000193 (ArcGis).

**Πίνακας 30:** Πιθανότητα ύπαρξης νερού στην έκταση της περιοχής.

| Πιθανότητα                 | 1.Πολύ χαμηλή | 2.Χαμηλή | 3.Μέτρια | 4.Υψηλή | 5.Πολύ Υψηλή |
|----------------------------|---------------|----------|----------|---------|--------------|
| Περιοχή (km <sup>2</sup> ) | 2,89          | 59,02    | 342,95   | 883,85  | 268,68       |

Σύμφωνα με τον τελικό χάρτη του Σχήματος 41, έγινε ο υπολογισμός τις έκτασης των επιμέρους περιοχών που είναι βαθμονομημένες από το ένα (1) έως το πέντε (5). Στον Πίνακα 30 παρουσιάζονται οι υπολογισμένες εκτάσεις σε Km<sup>2</sup> των περιοχών από πολύ χαμηλή (1) έως πολύ υψηλή (5) πιθανότητα.

Συνεπώς, προκύπτει ότι οι περιοχές με υψηλή πιθανότητα καταλαμβάνουν την πιο μεγάλη σε έκταση περιοχή με τιμή 883,85 Km<sup>2</sup>, ακολουθούν οι περιοχές με μέτρια πιθανότητα έκτασης 342,95 Km<sup>2</sup> και κατά φθίνουσα σε έκταση σειρά οι περιοχές πολύ υψηλής (268,68 Km<sup>2</sup>), χαμηλής (59,02 Km<sup>2</sup>), πολύ χαμηλής (2,89 Km<sup>2</sup>) πιθανότητας.

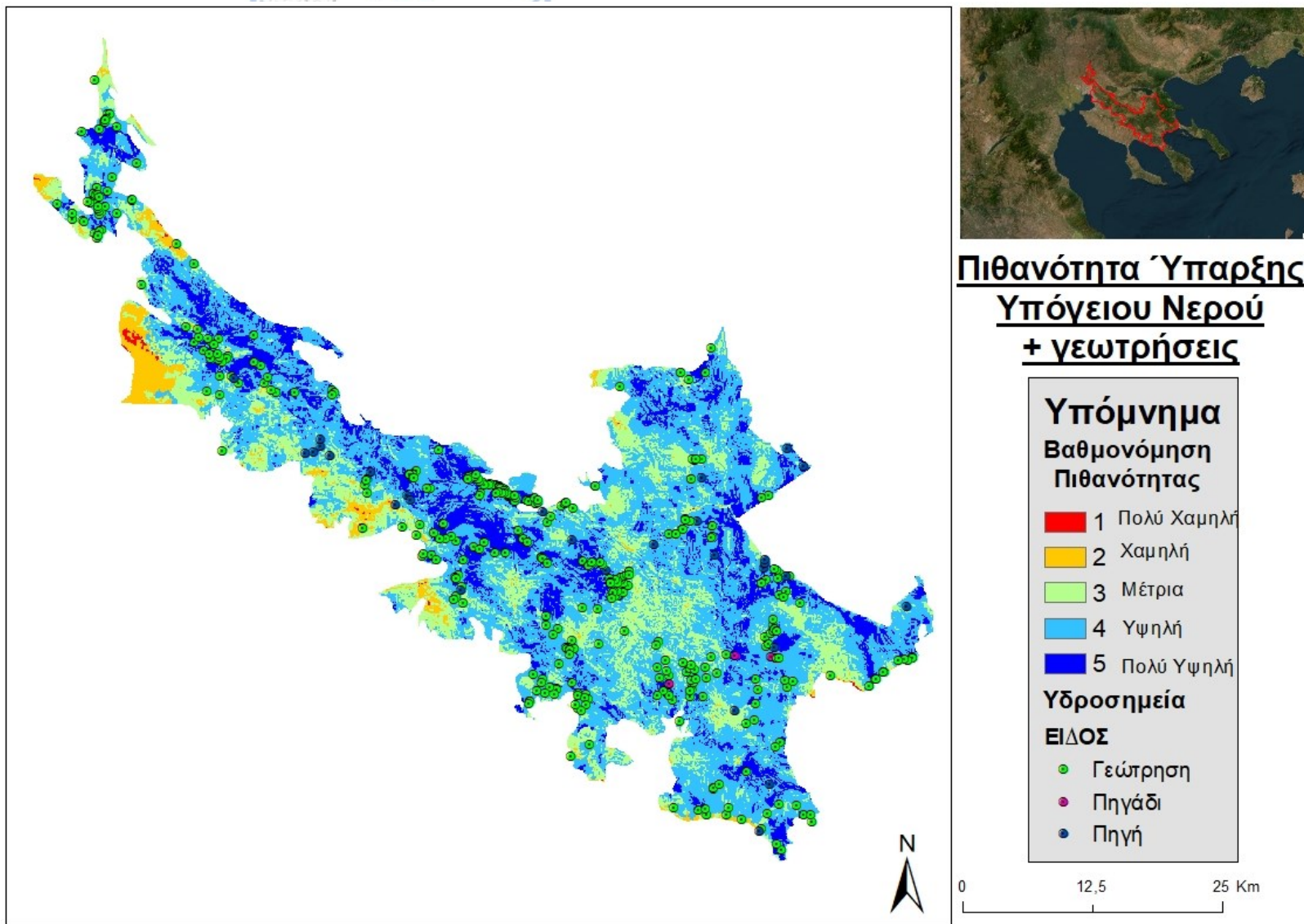
### 5.2.3 Υδροσημεία και Τελικός Χάρτης

Στον Πίνακα 29 που ακολουθεί, παρουσιάζονται το είδος των υδροσημείων σε σχέση με τη θέση που βρίσκονται με 1, 2, 3, 4 και 5 ή πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή πιθανότητα ύπαρξης νερού.

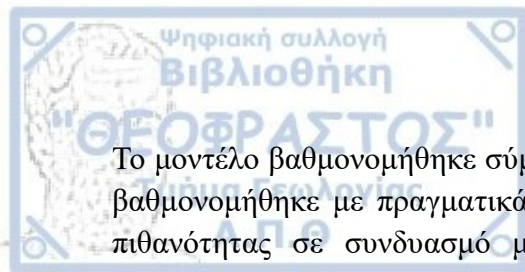
Παρατηρείται ότι τα υδροσημεία που παρατηρούνται σε περιοχές με πολύ χαμηλή πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού ανέρχονται σε ποσοστό 0%, ακολουθούν οι περιοχές με χαμηλή πιθανότητα με ποσοστό 0,93%, με μέτρια πιθανότητα στα 12,50% και τέλος με υψηλή έως πολύ υψηλή με ποσοστό 60,65% και 25,93%.

**Πίνακας 31:** Υδροσημεία σε σχέση με την θέση τους πάνω στην πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού.

| Βαθμονόμηση   | 1 | 2            | 3              | 4               | 5               | Σύνολο                |
|---------------|---|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Γεώτρηση      | - | 4<br>(0,93%) | 46<br>(10,65%) | 245<br>(56,71%) | 103<br>(23,84%) | 398<br>(92,13%)       |
| Πηγάδι        | - | -            | -              | 2<br>(0,46%)    | 1<br>(0,23%)    | 3<br>(0,69%)          |
| Πηγή          | - | -            | 8<br>(1,85%)   | 15<br>(3,47%)   | 8<br>(1,85%)    | 31<br>(7,18%)         |
| <b>Σύνολο</b> | - | 4<br>(0,93%) | 54<br>(12,50%) | 262<br>(60,65%) | 112<br>(25,93%) | <b>432<br/>(100%)</b> |



**Σχήμα 42:** Χάρτης πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού & υδροσημείων του EL1000193 (ArcGis).



Το μοντέλο βαθμονομήθηκε σύμφωνα με τις υφιστάμενες γεωτρήσεις της περιοχής, συνεπώς βαθμονομήθηκε με πραγματικά δεδομένα. Στο Σχήμα 42 παρουσιάζεται ο τελικός χάρτης πιθανότητας σε συνδυασμό με τις υφιστάμενες γεωτρήσεις. Το μεγαλύτερο ποσοστό γεωτρήσεων παρατηρείται στις περιοχές με υψηλή έως πολύ υψηλή πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού με τιμή 76 %. Και σημειικά υπάρχει ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 13 % των γεωτρήσεων που είναι εγκατεστημένες σε περιοχές μέτριας-χαμηλής πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού.

Το συγκεκριμένο μοντέλο δεν προσδιορίζει την παροχή και το βάθος άντληση, αλλά μόνο τις παραμέτρους της βροχόπτωσης, της λιθολογίας, της κατείσδυσης, των κλίσεων, του υδρογραφικού δικτύου, της απόστασης από τα ρήγματα και των χρήσεων γης.

## 6. Συμπεράσματα-Προτάσεις

### Γενικά για την περιοχή έρευνας

Το Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου εντοπίζεται στην Περιφέρεια της Κεντρικής Μακεδονίας και καταλαμβάνει έκταση 1597,41 Km<sup>2</sup>. Η έκταση αυτή είναι κατανεμημένη σε μέρος δεκατριών (13) Δήμων που εντάσσονται στις Περιφερειακές Ενότητες Θεσσαλονίκης, Χαλκιδικής και Κιλκίς. Επιπλέον, από μορφολογικής απόψεως, η περιοχή χαρακτηρίζεται ημιορεινή έως ορεινή με το υψόμετρο να φτάνει στα 1185 m στην θέση του όρους Χορτιάτη.

Όπως και στην υπόλοιπη Ελλάδα, έτσι και στην περιοχή της Περιφέρειας της Κεντρικής Μακεδονίας, το κλίμα χαρακτηρίζεται από θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες.

Από γεωλογικής απόψεως οι σχηματισμοί που εμφανίζονται προέρχονται από τρεις (3) γεωτεκτονικές ζώνες, οι οποίες είναι: η Σερβομακεδονική, Περιοδοπική και η Ζώνη Αξιού. Το Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου χαρακτηρίζεται ως ρωγματικό υπόγειο υδατικό σύστημα, με σημαντική έκταση αδιαπεράτων και ημιπερατών σχηματισμών.

### Για την μέθοδο

- Οι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη ήταν η βροχόπτωση, η κατείσδυση, η λιθολογία, οι κλιτύες, η απόσταση από τα ρήγματα, η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο και οι χρήσεις γης.
- Βροχόπτωση: Για τον παράγοντα της βροχόπτωσης λήφθηκε υπόψη η εξίσωση της βροχοβαθμίδας:  $P(mm) = 0.2376 * H(m) + 524.6$  και το αντίστοιχο ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου. Σε θέσεις με μεγάλο υψόμετρο η βροχόπτωση παρουσιάζει υψηλές τιμές, συνεπώς και μεγάλη πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού και το αντίστροφο.
- Λιθολογία: Πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός και η ποσοτικοποίηση όλων των γεωλογικών σχηματισμών ανάλογα με τους συντελεστές κατείσδυσης με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα. Στις θέσεις που εμφανίζονται χαμηλοί συντελεστές, παρουσιάζουν χαμηλή δυναμικότητα σε νερό σε αντίθεση όσο αυξάνει ο συντελεστής κατείσδυσης αυξάνεται και η δυναμικότητα.
- Κατείσδυση: Ο παράγοντας της κατείσδυσης διαμορφώθηκε με βάση την βροχόπτωση και τους συντελεστές κατείσδυσης. Σημαντική έκταση καταλαμβάνει η περιοχή με πολύ χαμηλή και χαμηλή πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού λόγω περιορισμένης τροφοδοσίας από το νερό της βροχόπτωσης.
- Τοπογραφία-Κλιτύες: Σε θέσεις με μεγάλες κλίσεις η αποθήκευση νερού είναι μηδαμινή, καθώς αυτό με τη βοήθεια της βαρύτητας κινείται σε θέσεις με πιο ήπια κλίση (προς τα κατόντη). Συνεπώς, σε μεγάλες κλίσεις έχουμε πολύ χαμηλή πιθανότητα εύρεσης υπόγειου νερού και όσο οι κλίσεις μειώνονται αυτή αυξάνεται.
- Απόσταση από τα ρήγματα: Μέσα στο σύστημα των ρηγμάτων μπορεί να κυκλοφορήσει νερό, γι' αυτό τον λόγο όσο απομακρυνόμαστε από αυτά, η πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού περιορίζεται.

- Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο: Όσο απομακρυνόμαστε από το υδρογραφικό δίκτυο μειώνεται ο κορεσμός του υπεδάφους και η τροφοδοσία συνεπώς και η πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού.
- Χρήσεις γης: Κατά τον πλείστον η περιοχή έρευνας αποτελείται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις που κατηγοριοποιούνται σε περιοχές με υψηλή έως πολύ υψηλή πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού, ακολούθως περιοχές με φυσική βλάστηση και καλλιέργειες που δεν απαιτούν άρδευση, κατατάσσονται στην ομάδα της μέτριας πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού. Αντιθέτως, όπου σημειικά παρουσιάζονται αστικός ιστός, υγρές επιφάνειες και λιβάδια, δεν μπορεί να γίνει συγκράτηση του νερού στο υπέδαφος και παρουσιάζουν πολύ χαμηλή έως χαμηλή πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου υδροφορέα.

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας στο Υποσύστημα Χολομώντα – Ωραιοκάστρου, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός τελικού χάρτη απεικόνισης της πιθανότητας στην ύπαρξη υπόγειου νερού. Θεωρήθηκε ότι κάθε παράγοντας λαμβάνει διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας. Το μοντέλο βαθμονομήθηκε σύμφωνα με τις υφιστάμενες γεωτρήσεις της περιοχής, συνεπώς βαθμονομήθηκε με πραγματικά δεδομένα.

Με την χρήση νέων τεχνολογιών, όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, καθώς και με τον συνδυασμό αυτών με πρωτογενή δεδομένα υπαίθρου, μπορούν να δημιουργηθούν θεματικοί χάρτες εύκολα και γρήγορα και να προταθούν νέες θέσεις ανόρυξης υδρογεωτρήσεων. Η προτεινόμενη διαδικασία αποτελεί ένα συμπληρωματικό εργαλείο για τις αντίστοιχες υδρογεωλογικές μελέτες.

### **Προτάσεις**

Το συγκεκριμένο μοντέλο δεν προσδιορίζει την παροχή και το βάθος άντληση, αλλά μόνο τις παραμέτρους της βροχόπτωσης, της λιθολογίας, της κατεύθυνσης, των κλίσεων, του υδρογραφικού δικτύου, της απόστασης από τα ρήγματα και των χρήσεων γης.

Για την εύρεση πιθανών θέσεων για την ανόρυξη υδρογεωτρήσεων θα ληφθεί υπόψη ο τελικός χάρτης, που παρουσιάζει την πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού. Έπειτα, στις θέσεις με υψηλή πιθανότητα και εφόσον έχουν ληφθεί όλοι οι παράγοντες υπόψη είναι ιδανικές για την κατασκευή γεωτρήσεων με πολύ υψηλή πιθανότητα επιτυχίας και εύρεσης εκμεταλλεύσιμων ποσοτήτων υπόγειου νερού.

Ωστόσο, για τον καλύτερο προσδιορισμό νέων θέσεων ανόρυξης υδρογεωτρήσεων θα πρέπει να γίνει υποβιβασμός στην κλίμακα του μοντέλου και των παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψιν (π.χ. συλλογή δεδομένων σε κλίμακα 1:500), έτσι ώστε να αναπαρασταθούν με λεπτομέρεια οι θέσεις πολύ υψηλής πιθανότητας.

## 7. Βιβλιογραφία

### Ελληνική Βιβλιογραφία:

**Βεράνης Ν., Χατζηκώρκου Α. (2010):** Υδρογεωλογική Μελέτη: Υδροφόρα συστήματα Επανομής -Μουδανίων, Κασσάνδρας, Ορμύλιας και Σιθωνίας του υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, Έκθεση ΙΓΜΕ

**Βουβαλίδης Κ. (2011):** «Φυσική Γεωγραφία», Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Δίσιγμα.

**Βουδούρης Κ. (2022):** «Εκμετάλλευση και Διαχείριση Υπόγειου Νερού», Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα.

**Βουδούρης Κ. (2021):** «Τεχνική Υδρογεωλογία, Υπόγεια Νερά», Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα.

**Δημογιάννη Σ. (2014):** «Συμβολή των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και της τηλεπισκόπησης στην υδρογεωλογία της περιοχής της Λάρισας-Τυρνάβου », Θεσσαλονίκη, Διατριβή ειδίκευσης

**Ειδική Γραμματεία Υδάτων (Δεκέμβριος, 2012) :** Π.1.1 Καθορισμός και καταγραφή αρμόδιων αρχών και προσδιορισμός περιοχής άσκησης των αρμοδιοτήτων τους.

**Ειδική Γραμματεία Υδάτων (Ιανουάριος, 2013):** Π.1.10 Αξιολόγηση και Ταξινόμηση της Ποιοτικής (Χημικής) και Ποσοτικής Κατάστασης των Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων.

**Ι.Γ.Μ.Ε:** απόσπασμα φύλλου γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, Φύλλο "Αρναία".

**Ι.Γ.Μ.Ε:** απόσπασμα φύλλου γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, Φύλλο "Βασιλικά".

**Ι.Γ.Μ.Ε:** απόσπασμα φύλλου γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, Φύλλο "Ζαγκλιβέρι".

**Ι.Γ.Μ.Ε:** απόσπασμα φύλλου γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, Φύλλο "Ιερισσός".

**Ι.Γ.Μ.Ε:** απόσπασμα φύλλου γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, Φύλλο "Θέρμη".

**Ι.Γ.Μ.Ε:** απόσπασμα φύλλου γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, Φύλλο "Θεσσαλονίκη".

**Ι.Γ.Μ.Ε:** απόσπασμα φύλλου γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, Φύλλο "Κιλκίς".

**Ι.Γ.Μ.Ε:** απόσπασμα φύλλου γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, Φύλλο "Πολύγυρος".

**Ι.Γ.Μ.Ε:** Απόσπασμα φύλλου γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, Φύλλο "Σταυρός".

**Ι.Γ.Μ.Ε:** Απόσπασμα φύλλου γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, Φύλλο "Χερσόνησος Σιθωνίας".

**Ι.Γ.Μ.Ε, Βεράνης, Ν. (2010):** Υδρογεωλογική Μελέτη Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας ( 10)

**Καζάκης Ν. (2013):** «Εκτίμηση της διακινδύνευση της εξωτερικής ρύπανσης των υπόγειων νερών: Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούντα», Θεσσαλονίκη, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.

**Κακλής Τ. (2011):** Υδρογεωλογική μελέτη και μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων Πιέριας λεκάνης Ν. Καβάλας, Θεσσαλονίκη, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.

**Κουτσόπουλος Κ. (2017):** «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών & Ανάλυση χώρου», Αθήνα, Εκδόσεις Δίσιγμα

**Μουντράκης Δ. (2010):** «Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας», Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις University Studio Press

**Μουντράκης Δ. (1985):** «Γεωλογία της Ελλάδας», Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις University Studio Press

**Νικολακόπουλος Κ., Κατσάνου Κ., Λαμπράκης Ν. (2015):** Ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου, Κεφάλαιο 8, Ανοιχτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις

**Ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου:** SRTM: N40E022 & N40E022

### **Ξένη Βιβλιογραφία:**

**Ashwini K., Singh A., Verma R. K., Sriharsha S., (2023):** Delineation of groundwater potential zone for sustainable water resources management using remote sensing-GIS and analytic hierarchy approach in the state of Jharkhand, India

**Bagheri D., Tizro A. T., Okhravi S., Fryar A., Kazakis N., Voudouris K., (2022):** Delineation of groundwater potential areas using RS/GIS and geophysical methods: a case study from the western part of Iran

**Burrough P. A. (1983):** Multi-scale Sources of Spatial Variation in Soil , Journal of Soil Science

**Das R. , Saha S., (2022):** Spatial mapping of groundwater potentiality applying ensemble of computational intelligence and machine learning approaches

**El-Aziz H. A. , Abu-Bakr, Abdelmoniem M., (2023):** Groundwater potentiality delineation in Moghra, Egypt Heba Abd el-Aziz Abu-Bakr, Manal Abdelmoniem

**Elbarbary S., Araffaa S. A.S., El-Shahat A., Zahera M. A., Khedherd K. M., (2021):** Delineation of water potentiality areas at Wadi El-Arish, Sinai, Egypt, using hydrological and geophysical techniques

**Ferozura R. Md., Jahanb C. S., Arefinb R., Mazumderb Q. H., (2019):** Groundwater potentiality study in drought prone barind tract, NW Bangladesh using remote sensing and GIS

**Godif G., Manjunatha B.R., (2023):** Delineation of groundwater potential zones using remotely sensed data and GIS-based analytical hierarchy process: Insights from the Geba river basin in Tigray, Northern Ethiopia

**Kazakis N., Kantiranis N., Kaprara M., Mitrakas M. , Vargomezis G., Voudouris K., Chatzipetros A., Kalaitzidou K, Filippidis A. (2016). : *An interdisciplinary study in Anthemountas basin, N. Greece.***

**Kazakis, N., Oikonomidis, D., Voudouris, K. (2015):** Groundwater vulnerability and pollution risk assessment with disparate models in karstic, porous and fissured rock aquifers using remote sensing techniques and G.I.S. in Anthemountas basin, Greece.

**Kazakis N., Kougias I., Patsialis Th. (2015):** Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece.

**Kumar M., Singh P., Singh P., (2023):** Machine learning and GIS-RS-based algorithms for mapping the groundwater potentiality in the Bundelkhand region, India

**Oikonomidis D., Dimogianni S., Kazakis N., Voudouris K., (2015):** A GIS/Remote Sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece.

**Shebl A., Abdelaziz M. I., Ghazalad H., Awad S., Araffae S., Abdellatif M., Csámera A., (2022):** Multi-criteria ground water potentiality mapping utilizing remote sensing and geophysical data: A case study within Sinai Peninsula, Egypt

**Smida H., Dassi L., Boukhachem K., Masrouhi A., (2022):** Satellite remote sensing and GIS-based multi-criteria analysis for the assessment of groundwater potentiality in fractured limestone aquifer: Case study of Maknassy Basin, central Tunisia

**Sresto M. A., Siddika S., Haque Md. N. , Saroar M., (2021):** Application of fuzzy analytic hierarchy process and geospatial technology to identify groundwater potential zones in north-west region of Bangladesh, Bangladesh.

**Thornthwaite and Mather, (1957):** Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance

**Tranos M., Papadimitriou E., Kiliass A., (2003):** Thessaloniki–Gerakarou Fault Zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment

**T.S. Steenhuis, W.H. Van Der Molen, (1985):** The Thornthwaite-Mather procedure as a simple engineering method to predict recharge

**Yeh H., Cheng Y., Lin H., Lee C., (2016):** Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualien River, Taiwan



### **Ηλεκτρονικές σελίδες**

**Γενική Διεύθυνση Υδάτων** (<https://ypen.gov.gr/>)

**Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΑΤ)** (<https://www.statistics.gr>)

**Χρήσεις Γης Corine** (<https://land.copernicus.eu/>)

**ArcGis** (<https://www.arcgis.com/index.html>)

**Meteo** (<https://www.meteo.gr/>)

**Google Earth** (<https://earth.google.com/web>)

**Google Maps** (<https://www.google.com/maps>)

**Qgis** (<http://qgis.org/en/site>)

**Surfer** (<https://www.goldensoftware.com/products/surfer/> )

**Wikipedia** (<https://www.wikipedia.org>)

Παράρτημα



**Σχήμα 43:** Θέση με συντεταγμένες: X: 442600.85, Y: 4488441.81, εντός ασβεστολίθων και Πλειστοκαινικών αποθέσεων (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm \*7 cm)



**Σχήμα 44:** Θέση με συντεταγμένες: X: 447390.49, Y: 4483590.41, εντός ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm \*7 cm)



**Σχήμα 45:** Θέση με συντεταγμένες:  $X: 448212.26$ ,  $Y: 4482204.81$ , εντός ψαμμιτών (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων  $16\text{ cm} * 7\text{ cm}$ )



**Σχήμα 46:** Θέση με συντεταγμένες:  $X: 450528.93$ ,  $Y: 4474366.37$ , εντός ψαμμιτών (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων  $16\text{ cm} * 7\text{ cm}$ )



**Σχήμα 47:** Θέση με συντεταγμένες: X: 475441.7, Y: 4455288.65, εντός βιοτιτικού διμαρμαρυγιακού γρανοδιορίτη (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm \*7 cm)



**Σχήμα 48:** Θέση με συντεταγμένες: X:472928.55, Y: 4458476.36, εντός του σχηματισμού χαλαζιτών & χαλαζιακών ψαμμιτών (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων 16 cm \*7 cm)



**Σχήμα 49:** Θέση με συντεταγμένες:  $X: 472986.79$ ,  $Y: 4487261.32$ , εντός του σχηματισμού των γρανιτών (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων  $16\text{ cm} * 7\text{ cm}$ )



**Σχήμα 50:** Θέση με συντεταγμένες:  $X: 465918.2$ ,  $Y: 4481477.57$ , εντός πρόσφατων αποθέσεων (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων  $16\text{ cm} * 7\text{ cm}$ )



**Σχήμα 51:** Θέση με συντεταγμένες:  $X:464264.46$ ,  $Y: 4481903.99$ , εντός αποσαθρωμένου διμαρμαρυγιακού βιοτιτικού γρανίτη (μέγεθος κλίμακας αναφοράς κινητό τηλέφωνο διαστάσεων  $16\text{ cm} * 7\text{ cm}$ )

