



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ



ΣΟΦΙΑ Δ. ΔΗΜΟΓΙΑΝΝΗ

ΓΕΩΛΟΓΟΣ



ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ –
ΤΥΡΝΑΒΟΥ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2014

ΣΟΦΙΑ Δ. ΔΗΜΟΓΙΑΝΝΗ

ΓΕΩΛΟΓΟΣ

**ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ –
ΤΥΡΝΑΒΟΥ**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον»

Ειδίκευση «Γεωγραφία και Περιβάλλον

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων: Λέκτορας Α.Π.Θ, Οικονομίδης Δημήτριος

Μέλος: Επ. Καθηγητής Α.Π.Θ, Βουδούρης Κωνσταντίνος

Μέλος: Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ, Αλμπανάκης Κωνσταντίνος

Το εὐδαίμον το ελεύθερον, το δ' ελεύθερον το εὐψυχον.

(Ευτυχισμένοι είναι οι ελεύθεροι και ελεύθεροι είναι οι γενναίοι)

Θουκυδίδης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	7
1. ΓΕΝΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	8
1.1. Γεωγραφική θέση	8
1.1.1. Δημογραφικά στοιχεία	9
1.2. Γεωμορφολογία	10
1.2.1. Γεωμορφολογία ευρύτερης περιοχής	10
1.2.2. Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης	11
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ	13
2.1. Γενικά χαρακτηριστικά	13
2.2. Γεωλογία της περιοχής μελέτης	14
2.2.1. Τεταρτογενείς αποθέσεις	14
2.2.2. Τριτογενείς αποθέσεις	15
2.2.3. Μεσοζωικά πετρώματα	15
2.3. Τεκτονική της ευρύτερης περιοχής	19
2.3.1. Ρήγματα της περιοχής μελέτης	20
3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	21
3.1. Γενικά	21
3.2. Θερμοκρασία	22
3.3. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	25
3.3.1. Σχέση βροχής – υψομέτρου	28
4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	30
4.1. Γενικά	30
4.1.1. Πηνειός ποταμός	30
4.1.2. Τιταρήσιος ποταμός	31
4.2. Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής	32
4.2.1. Υδρογραφική πυκνότητα	35
4.3. Υδρογεωλογία περιοχής	36
5. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	38
5.1. Τηλεπισκόπηση	38

5.2.	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S) -----	39
5.3.	Υδρολογικά μοντέλα-----	40
6.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ -----	41
6.1.	Γενικά-----	41
6.2.	Περιγραφή διάρθρωσης μεθοδολογίας-----	43
6.3.	Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM)-----	45
6.4.	Μοντέλο χωρικής βαθμονόμησης πιθανότητας (WSPM)-----	47
6.5.	Βροχόπτωση -----	48
6.6.	Κατείσδυση -----	52
6.7.	Λιθολογία -----	57
6.8.	Φωτογραμμώσεις -----	61
6.9.	Κλίση αναγλύφου-----	67
6.10.	Υδρογραφικό δίκτυο -----	71
6.11.	Βάθος υπόγειου νερού-----	75
6.12.	Ποιότητα νερού -----	81
6.13.	Εφαρμογή του μοντέλου χωρικής βαθμονόμησης πιθανότητας-----	86
6.14.	Τελικός χάρτης-----	89
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -----	92
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ -----	94
8.1.	Ελληνική -----	94
8.2.	Ξενόγλωσση-----	95
8.3.	Διαδίκτυο -----	97
9.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ -----	98

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί διατριβή ειδίκευσης, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον», του Τομέα Γεωγραφίας και Περιβάλλοντος, του Τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η ανάθεση του θέματος έγινε με πρόταση των Καθηγητή κ. Θ. Αστάρα, του Λέκτορα κ. Δ. Οικονομίδη, ο οποίος ήταν και ο κύριος επιβλέπων αυτής, καθώς και του Επίκουρου Καθηγητή κ. Κ. Βουδούρη.

Ο τίτλος της εργασίας αυτής είναι: «Συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και της Τηλεπισκόπησης στην υδρογεωλογία της περιοχής Λάρισας – Τυρνάβου».

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της δυνατότητας χαρτογράφησης του υπόγειου νερού της περιοχής Λάρισας – Τυρνάβου σύμφωνα με μια μεθοδολογία καθορισμού των στοιχείων του υπόγειου νερού ποιοτικά και ποσοτικά, με τη συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Τα στοιχεία που εξετάζονται είναι: η βροχόπτωση, η κατείσδυση, η λιθολογία, η πυκνότητα των φωτογραμμώσεων, οι κλιτύες, το υδρογραφικό δίκτυο, το βάθος του υπόγειου νερού και η ποιότητα του υπόγειου νερού. Στόχος είναι η δημιουργία ενός τελικού χάρτη πιθανότητας ύπαρξης του υπόγειου νερού καλής ποιότητας και δυναμικότητας.

Μετά την ολοκλήρωση της διατριβής ειδίκευσης αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν στην διεκπεραίωσή της με οποιονδήποτε τρόπο.

Αρχικά, ευχαριστώ θερμά τον κ. Δημήτριο Οικονομίδη, Λέκτορα του τμήματος Γεωλογίας και επιβλέποντα της παρούσας εργασίας για την καθοδήγηση και συνέπεια που συνέβαλλαν στην πραγματοποίηση μιας παραγωγικής δουλειάς.

Ευχαριστώ, τον κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας για τη συνεχή παροχή επιστημονικών υποδείξεων και τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου.

Ευχαριστώ, τον κ. Κωνσταντίνο Αλμπανάκη, Αναπληρωτή του τμήματος Γεωλογίας για τις επιστημονικές γνώσεις που μου προσέφερε κατά τη φοίτησή μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Γεωγραφία και Περιβάλλον».

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Θεόδωρο Αστάρα, Ομότιμο Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας για τη συμβολή του στην ανάθεση του θέματος και την επιστημονική του γνώση.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Νεραντζή Καζάκη, Διδάκτορα του τμήματος Γεωλογίας για τον χρόνο που διέθεσε, τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του και τη συνεχή παρακολούθηση της έρευνας.

Ευχαριστώ τους γεωλόγους κ. Ιωάννη Μπαλαμώτη, Προϊστάμενο του τμήματος Υδροοικονομίας, και κ. Κωνσταντίνο Σελλούντο για τη διάθεση στοιχείων, δίχως τα οποία θα ήταν αδύνατη η συγγραφή της εργασίας αυτής.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και τους συμφοιτητές μου για την ηθική βοήθεια και τις επισημάνσεις τους.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ηθική και υλική στήριξη, που χωρίς αυτή τίποτα από τα παραπάνω δε θα είχε σημασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονείται στην περιοχή Λάρισας – Τυρνάβου που καταλαμβάνει έκταση 419,38 km². Βρίσκεται στο ΒΔ τμήμα της Θεσσαλίας και διασχίζεται από δύο ποτάμια, τον Πηνειό και τον Τιταρήσιο. Η γεωμορφολογική ανάπτυξη της περιοχής χαρακτηρίζεται από ήπιο έως σχετικά έντονο ανάγλυφο και αποτελείται από Τριτογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, καθώς και σχηματισμούς του υποβάθρου, όπως μάρμαρα και σχιστόλιθους. Η γεωργία αποτελεί ένα από τα κύρια στοιχεία της Θεσσαλικής οικονομίας, έχοντας ως αποτέλεσμα τη μεγάλη γεωργική δραστηριότητα και κατ' επέκταση την αυξημένη εκμετάλλευση των πόρων του υπόγειου νερού. Επομένως, κρίνεται απαραίτητος ο συστηματικός σχεδιασμός για την εκμετάλλευση του με τη βοήθεια νέων τεχνολογιών, ώστε να γίνει η κατάλληλη διαχείρισή του. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται έχει σχέση με την εφαρμογή του κατάλληλου εργαλείου αξιολόγησης των περιοχών μεγαλύτερης πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού. Η διαμόρφωση αυτού του χάρτη βασίζεται στη μελέτη στοιχείων όπως: η βροχόπτωση, η κατείσδυση, η λιθολογία, η πυκνότητα των φωτογραμμώσεων, οι κλιτύες, το υδρογραφικό δίκτυο, το βάθος και η ποιότητα του υπόγειου νερού. Σε όλους αυτούς τους παράγοντες αντιστοιχίζονται συντελεστές σύμφωνα με τη σχετικότητά τους στην ύπαρξη υπόγειων υδάτων και τελικά δημιουργείται ένα χάρτης βάσει του μοντέλου χωρικής βαθμονόμησης. Ο χάρτης αυτός αποτελείται από πέντε διαβαθμίσεις, που δείχνουν την πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού, η οποία κυμαίνεται από πολύ υψηλή έως πολύ χαμηλή. Στόχος της εργασίας αυτής είναι η δημιουργία ενός χάρτη που δείχνει την πιθανότητα εμφάνισης υπόγειου νερού συνδυάζοντας τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και την Τηλεπισκόπηση με τα στοιχεία που λαμβάνονται από το πεδίο, ώστε να υπάρχει εικόνα της περιοχής που θα αποτελεί συμπληρωματικό εργαλείο της υδρογεωλογικής έρευνας.

ABSTRACT

This M. Sc. Thesis was elaborated in the region of Larisa – Tirnavos occupying an area of 419.38 km². The study area is located in the northwestern part of Thessaly and which is crossed by two rivers, Pinios and Titarisios. The geomorphological development of the region is characterized by mild to relatively intense relief and consists of Tertiary and Quaternary sediments and bedrock formations, such as marbles and schists. Agriculture is one of the main elements of Thessaly's economy resulting in large agricultural activity and consequently increased exploitation of groundwater resources. Therefore, systematic planning for groundwater exploration is essential, by using modern techniques for the proper utilization and management of this vital resource. The methodology used is related to the application of an appropriate assessment tool, which will be able to delineate areas of groundwater potential. The configuration of this map is based on the study of input data such as: rainfall, infiltration, lithology, lineament density, slope, drainage density, depth to groundwater and water quality. To all these factors weights are assigned according to their relevance to groundwater potential and eventually a map based on weighted spatial modeling system is created. This map consists of five classes, showing the groundwater potential, which ranges from very high to very low. The aim of this project is to create a map that shows the likelihood of groundwater combining Geographic Information Systems and Remote Sensing with data obtained from the field, as an additional tool in the hydrological research.

ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

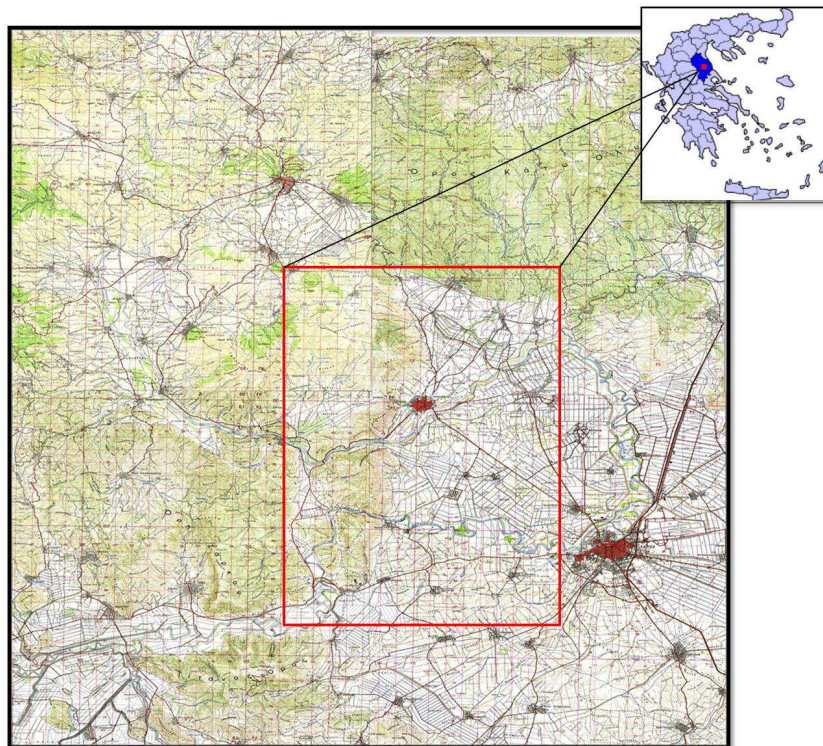
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και οι εργασίες που υλοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Γεωλογικοί χάρτες 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε, φύλλα: Γόννοι, Ελασσόνα, Λάρισα, Φαρκαδώνα.
- Τοπογραφικοί χάρτες 1:50.000 της Γ.Υ.Σ, φύλλα: Γόννοι, Ελασσόνα, Λάρισα, Φαρκαδώνα.
- Εικόνα ETM+ του Landsat 7 (multispectral), ημερομηνία λήψης 28/01/2000, με τα εξής χαρακτηριστικά:
path: 184
row: 032
pixel size: 12.5
columns: 19190
rows: 17400
- Συλλογή στοιχείων (Μετεωρολογικά – κλιματολογικά – πιεζομετρικά δεδομένα, χημικές αναλύσεις, γεωλογικοί – τοπογραφικοί χάρτες, δορυφορικές εικόνες) από δημόσιους (Τμήμα Υδροοικονομίας Λάρισας, Διεύθυνση Υδάτων Θεσσαλίας) και ιδιωτικούς φορείς.
- Εύρεση βιβλιογραφίας (Ελληνική – διεθνής, διαδίκτυο).
- Ψηφιοποίηση γεωλογικών χαρτών και δεδομένων (τοπογραφικών, υδρογεωλογικών, μετεωρολογικών, δορυφορικών) με το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών ArcGIS 9.3, στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87.
- Επεξεργασία δορυφορικής εικόνας με το λογισμικό επεξεργασίας εικόνας ENVI.
- Σύνταξη θεματικών χαρτών (βροχόπτωσης, φωτογραμμώσεων, κλίσεων κλπ.).

1. ΓΕΝΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

1.1. Γεωγραφική θέση

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα, στην περιφέρεια Θεσσαλίας, βορειοδυτικά της πόλης της Λάρισας και νοτιοανατολικά της πόλης του Τυρνάβου καταλαμβάνοντας έκταση 419,38 km². Ανήκει στο 8^ο υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας και πιο συγκεκριμένα στη λεκάνη απορροής Πηνειού. Η περιοχή οριοθετείται βόρεια από τα όρη Αντιχάσια και το νότιο τμήμα του Ολύμπου, δυτικά από τη βουνοσειρά της Πίνδου, νότια από το όρος Όρθρυς και ανατολικά από τα όρη του Πηλίου και της Όσσας.



Σχήμα 1.1: Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής (Γ.Υ.Σ, Φύλλα Λάρισα, Γόννοι, Ελασσόνα, Φαρκαδόνα).

1.1.1. Δημογραφικά στοιχεία

Διοικητικά η περιοχή μελέτης υπάγεται στην περιφέρεια Θεσσαλίας και πιο συγκεκριμένα στους Δήμους Ελασσόνας, Λαρισαίων και Τυρνάβου. Ο πληθυσμός του Δήμου Λαρισαίων ανέρχεται, σύμφωνα με την απογραφή της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής του 2011, σε 162.591 κατοίκους, ενώ της πόλης του Τυρνάβου σε 25.032 κατοίκους.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά τα πληθυσμιακά στοιχεία ανά Δημοτική Ενότητα:

Πίνακας 1.1: Πληθυσμιακά στοιχεία της περιοχής μελέτης (Πηγή ΕΛ.ΣΤΑΤ).

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗ 2011
Δήμος Λαρισαίων	162.591
Δημοτική Ενότητα Γιάννουλης	12.496
Δημοτική Ενότητα Κοιλάδας	3.169
Δημοτική Ενότητα Λαρισαίων	146.926
Δήμος Ελασσόνας	32.121
Δημοτική Ενότητα Αντιχασίων	3.584
Δημοτική Ενότητα Βερδικούσσης	2.254
Δημοτική Ενότητα Ελασσόνας	11.044
Δημοτική Ενότητα Καρυάς	719
Δημοτική Ενότητα Λιβαδίου	2.674
Δημοτική Ενότητα Ολύμπου	3.164
Δημοτική Ενότητα Ποταμιάς	4.187
Δημοτική Ενότητα Σαραντάπορου	2.455
Δημοτική Ενότητα Τσαριτσάνης	2.040
Δήμος Τυρνάβου	25.032
Δημοτική Ενότητα Αμπελώνος	8.055
Δημοτική Ενότητα Τυρνάβου	16.977

1.2. Γεωμορφολογία

1.2.1. Γεωμορφολογία ευρύτερης περιοχής

Η περιοχή ενδιαφέροντος αποτελεί τμήμα της Πελαγονικής ζώνης. Το χερσαίο τμήμα της ζώνης αυτής στον Ελλαδικό χώρο, από πλευρά ταξινόμησης του επιφανειακού αναγλύφου, αποτελεί μορφοδομική μονάδα 4^{ης} τάξης, γνωστή με τον όρο Πελαγονικό τέμαχος. Το τέμαχος αυτό ανήκει στο μεγάλο σύμπλεγμα των τεκτονικών καλυμμάτων, εξαρμάτων – βυθισμάτων της Πελαγονικής (μορφοδομική μονάδα 3^{ης} τάξης), το οποίο με τη σειρά του ανήκει στην Ηπειρωτική περιοχή (μορφοδομική μονάδα 2^{ης} τάξης) του Νεοελληνικού Μορφοδομήματος (μορφοδομική μονάδα 1^{ης} τάξης) (Μπέλεσης 2012).

Στο υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής δεσπόζει ο Πηνειός, ο οποίος συγκεντρώνει σχεδόν το σύνολο της επιφανειακής απορροής των Θεσσαλικών πεδιάδων και έχει ένα συνολικό μήκος 205 km (Σχήμα 1.2). Μέσω της διόδου στο βόρειο τμήμα της κεντρικής λοφοσειράς μεταξύ των δύο πεδιάδων εισέρχεται από τη δυτική στην ανατολική, όπου και αναπτύσει έντονους μαιανδρισμούς. Στη συνέχεια, αφού ενωθεί με τον Τιταρήσιο ποταμό εξέρχεται της πεδιάδας προς τα βόρεια μέσω του στενού της Ροδιάς και της κοιλάδας των Τεμπών εκβάλλοντας στο Αιγαίο Πέλαγος μεταξύ Όσσας και Κάτω Ολύμπου. Στο αλλουβιακό του πεδίο από την έξοδό του στην πεδιάδα έως την πόλη της Λάρισας έχει γενική πορεία Α προς Δ και κατέρχεται από υψόμετρο 90 m. Σε υψόμετρο 70 m έχοντας κλίση κατά μήκος του, 1.42‰, ενώ από τη Λάρισα έως το στενό της Ροδιάς έχει γενική πορεία ΝΝΔ προς ΒΒΑ και κατέρχεται από υψόμετρο 70 m σε υψόμετρο 60 m έχοντας κλίση κατά μήκος του 0.5‰ (Μπέλεσης 2012).

Το κεντρικό τμήμα της λεκάνης της Λάρισας έχει δεχθεί τις επιδράσεις του Πηνειού ποταμού (λιμναίο, ποταμολιμναίο και ποτάμιο περιβάλλον). Το ΒΔ τμήμα της λεκάνης της Ανατολικής Θεσσαλίας είναι δημιούργημα του Τιταρήσιου ποταμού από φερτά υλικά, προϊόντα διάβρωσης της λεκάνης απορροής του, τα οποία αποτέθηκαν μετά την έξοδο του Τιταρήσιου από το ορεινό σύμπλεγμα στο αρχικά δημιουργηθέν τεκτονικό βύθισμα στην ευρύτερη περιοχή Τυρνάβου – Αμπελώνα.

Η εξάπλωση τους είναι προϊόν της μεταφορικής ικανότητας του νερού σε συνδυασμό με την κοκκομετρία, το ειδικό βάρος των φερτών υλικών, την τεκτονική μετεξέλιξη, την κλιματολογία κλπ.

Αποτέλεσμα όλων αυτών ήταν η δημιουργία ενός τεράστιου κώνου κορημάτων με διαφοροποιημένη οριζόντια και κάθετη εξάπλωση και με υπόβαθρο τα νεογενή (μάργες) ή οι σχιστόλιθοι της Πελαγονικής. Ο κώνος αυτός των κορημάτων από την περιοχή του Αμπελώνα και στα ενδότερα της υδρογεωλογικής λεκάνης Ομορφοχωρίου – Πλατυκάμπου βυθίζεται σε βάθος έως και 200 m καλυπτόμενος από νεότερες αποθέσεις ποταμολιμναίας φάσης (Πηνειός ποταμός).



Σχήμα 1.2: Τμήμα γεωμορφολογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής (url1: <http://users.sch.gr>).

1.2.2. Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης

Η έκταση του Δήμου Τυρνάβου ανέρχεται σε 370,30 km², τα οποία διατάσσονται με επιμήκη ανάπτυξη, κατά διεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ, μεταξύ του Κάτω Ολύμπου, του

όρους Ζάρκου και των λεκανών ανατολικά της λεκάνης Λάρισας, Δ – ΒΔ της λεκάνης Ποταμιάς και Β της λεκάνης Ελασσόνας – Τσαριτσάνης.

Η γενική έκθεση της ημιορεινής περιοχής είναι ανατολική προς τη λεκάνη της Λάρισας, με τοπικές όμως αποκλίσεις κυρίως προς τα νότια και βόρεια και η γενική έκθεση της πεδινής περιοχής είναι βορειοανατολική και νοτιοανατολική.

Η γεωμορφολογική ανάπτυξη της περιοχής χαρακτηρίζεται από ήπιο έως σχετικά έντονο ανάγλυφο. Ουσιαστικά μπορεί να διακριθεί σε τρία τμήματα (Dikau 1989):

- Την πεδινή ζώνη του αναπτύγματος του ΒΔ τμήματος της λεκάνης της Ανατολικής Θεσσαλίας, η οποία καταλαμβάνει το Ν – ΝΑ – Α – ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης (με σημείο αναφοράς τον Τύρναβο) και με μέσο υψόμετρο 80 m έως και 100 m περίπου. Στη ζώνη αυτή έχουμε τους οικισμούς Τύρναβος, Κριτήρι, Περαιχώρα, Αργυροπούλι, Λυγαριά, Δένδρα, Αγία Σοφία, Πλατανούλια.
- Τη λοφώδη ζώνη, η οποία περιλαμβάνει το ενδιάμεσο τμήμα μεταξύ του Τιταρήσιου και του Πηνειού, με υψόμετρα που κυμαίνονται από 150 έως 600 m. Στη ζώνη αυτή έχουμε τους οικισμούς Δαμάσι και Δαμασούλι (Κοιλάδα Τιταρήσιου).
- Την ημιορεινή ζώνη, στην οποία τα υψόμετρα κυμαίνονται από 600 έως 900 m. Στη ζώνη αυτή έχουμε τους οικισμούς Βοτανοχώρι και Άνω Αργυροπούλι.
- Την ορεινή ζώνη, η οποία περιλαμβάνει τις περιοχές, τα υψόμετρα των οποίων είναι μεγαλύτερα από 900 m. Η περιοχή αυτή καταλαμβάνει το ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης και είναι οι κορυφές των ΝΑ απολήξεων του Κάτω Ολύμπου. Στη ζώνη αυτή δεν έχουμε οικισμούς.

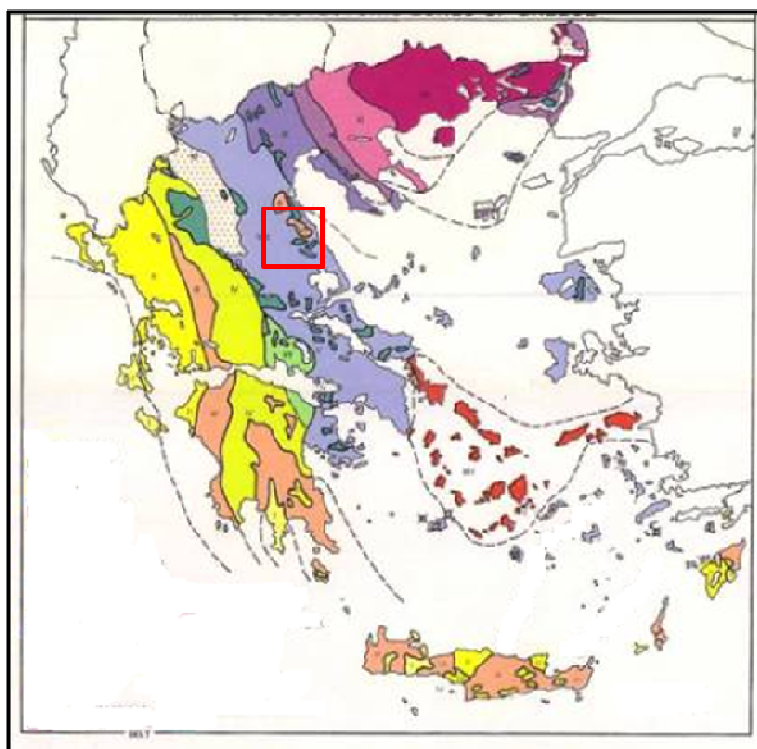
Χαρακτηριστικό είναι ότι το 90% της έκτασης του Δήμου αναπτύσσεται έως και 700 m, με το 50% να αναπτύσσεται σε υψόμετρο έως και 200 m.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1. Γενικά χαρακτηριστικά

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντάσσεται γεωλογικά στην Πελαγονική ζώνη, η οποία συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα πάνω στα οποία υπάρχουν Μεσοζωικά ιζήματα. Η ιζηματογένεση θεωρείται ανθρακική, καθαρά νηριτική με εξαίρεση δύο περιοχές, όπου εμφανίζονται πελαγικά ιζήματα με οφειολιθικές μάζες.

Η Πελαγονική ζώνη έχει διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ και εκτείνεται από την πρώην Γιουγκοσλαβία προς τους Ελληνικούς ορεινούς όγκους του Βόρα, του Βέρνου, του Βερμίου, των Πιερίων, του Ολύμπου, του Πηλίου, της Βόρειας Εύβοιας και στη συνέχεια κάμπτεται προς τις Σποράδες, συμπεριλαμβάνοντας τα νησιά Σκιάθος, Σκόπελος και Σκύρος. Πιθανολογείται ότι προεκτείνεται στο Αιγαίο μέχρι τη Βόρεια Μικρά Ασία.



Σχήμα 2.1: Χάρτης γεωτεκτονικών ζωνών (Μουντράκης, 1985).

2.2. Γεωλογία της περιοχής μελέτης

2.2.1. Τεταρτογενείς αποθέσεις

Πρόσφατες ποτάμιες αναβαθμίδες: Αποτελούνται από κροκάλες και λατύπες ποικίλλου μεγέθους και λιθολογικής σύστασης και άμμους, στις κοίτες των ποταμών, των χειμάρρων και στις αναβαθμίδες τους.

Αλλουβιακές αποθέσεις: Καλύπτουν μεγάλο μέρος της περιοχής και αποτελούνται από ποταμολιμναίες αποθέσεις από άμμους και αργίλους, με ασύνδετες κροκάλες και λατύπες.

Ελουβιακός μανδύας: Λεπτομερή έως αδρομερή, μη συγκολλημένα προϊόντα αποσάθρωσης των υποκείμενων πετρωμάτων με πάχος έως 25 m.

Παλιές αναβαθμίδες: Κροκαλολατύπες διαφορετικής σύστασης και ποικίλλου μεγέθους συγκολλημένες μεταξύ τους με ανθρακικό κυρίως υλικό. Έχουν πάχος 20 m.

Ποταμοχερσαίοι σχηματισμοί: Υπέρκεινται λιμναίων και ποταμολιμναίων αποθέσεων. Αποτελούνται από αργιλοαμμώδη υλικά και πηλούς με διάσπαρτες κροκαλολατύπες. Το πάχος τους φτάνει τα 100 m περίπου.

Κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα: Αποτελούνται από κροκαλολατύπες ποικίλλου μεγέθους, κατά κανόνα ανθρακικές, αναμεμειγμένες με λεπτομερές υλικό και μερικές φορές συγκολλημένες ελαφρά, με ανθρακική και λιγότερο αργλική συγκολλητική ύλη.

Παλαιοί κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα: Αποτελούνται από κροκάλες και λατύπες, σχεδόν αποκλειστικά ανθρακικές, συγκολλημένες κατά κανόνα με ανθρακική και λιγότερο αργλική συγκολλητική ύλη και κοκκινωπό λεπτομερές υλικό. Τα

κροκαλολατυποπαγή εμφανίζονται σε πάγκους έως 2.5 m ενώ το συνολικό πάχος φτάνει τα 10 m.

Ποταμολιμναίες αποθέσεις: Άργιλοι και άμμοι με παρεμβολές αδρομερών υλικών. Το πάχος τους φτάνει έως τα 15 m.

2.2.2. Τριτογενείς αποθέσεις

Κροκαλοπαγή: Είναι επικλυσιογενή – πολυγενή – συμπαγή κροκαλοπαγή που μεταπίπτουν προς τα πάνω σε παχυστρωματώδεις, μικρολατυποπαγείς τεφρούς ασβεστόλιθους. Το πάχος τους είναι περίπου 80 m.

2.2.3. Μεσοζωικά πετρώματα

ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ

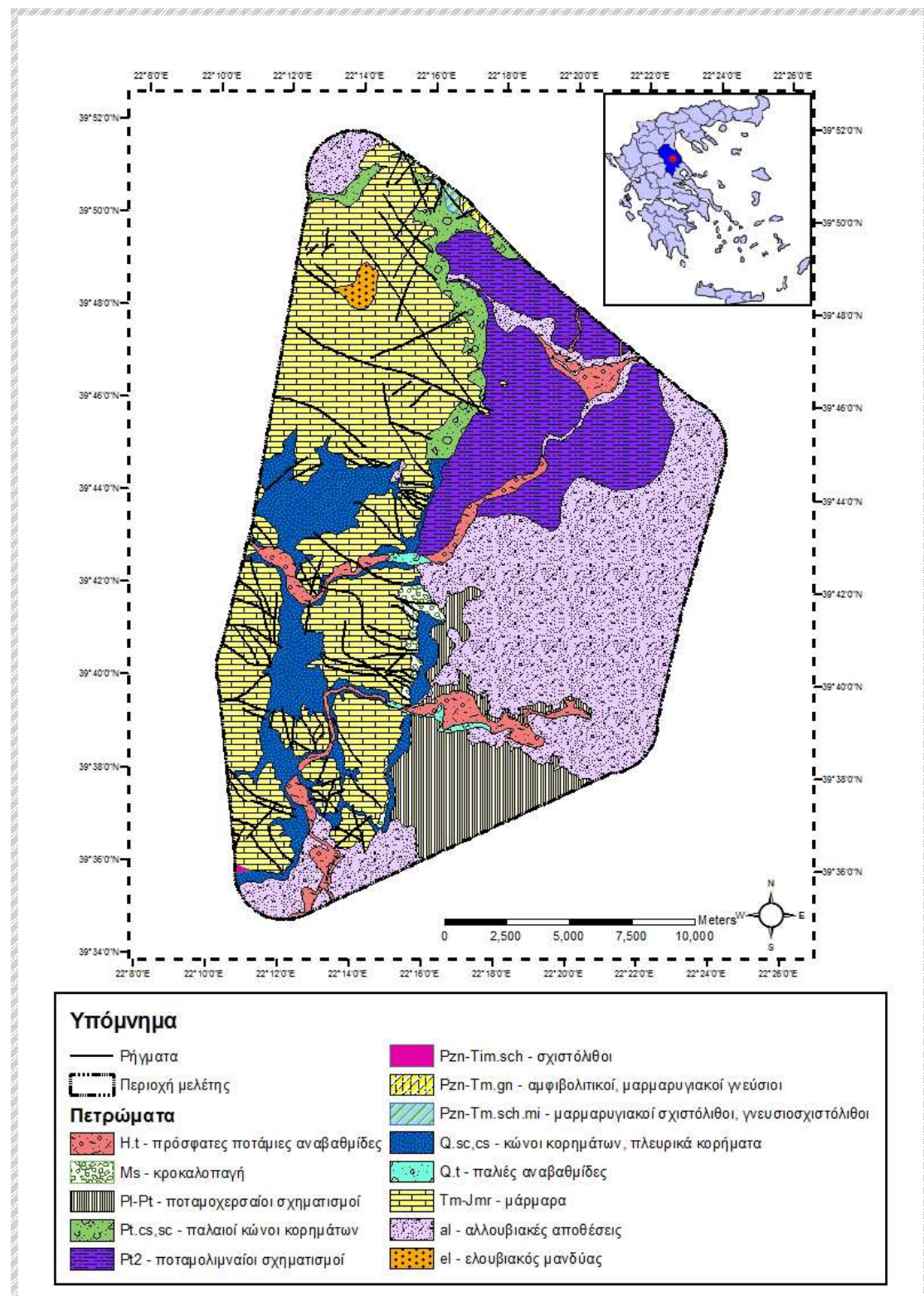
Μάρμαρα: Αποτελούν την κανονική προς τα επάνω εξέλιξη των παλαιοζωικών – κάτω μεσοτριαδικών σχηματισμών. Είναι κυρίως μεσοστρωματώδη και λιγότερο παχυστρωματώδη έως άστρωτα. Καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής.

Σχιστόλιθοι: Πρόκειται για σερικιτικούς, μαρμαρυγιακούς – ακτινολιθικούς σχιστόλιθους και πρασινοσχιστόλιθους. Έχουν υποστεί χαμηλού αριθμού μεταμόρφωση στην πρασινοσχιστολιθική φάση. Το πάχος τους ποικίλει από λίγα έως 150 m.

Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες: Οι πετρολογικοί αυτοί τύποι εναλλάσσονται, τόσο κατά στρώση, όσο και πλευρικά, με επικράτηση κατά θέση τότε του ενός και τότε του άλλου τύπου.

Αμφιβολιτικοί – μαρμαρυγιακοί γνεύσιοι: Πρόκειται για ορθο- και παραπετρώματα με χρώμα καστανότεφρο, ιστό γνευσιακό και υφή συμπαγή. Τα κύρια ορυκτολογικά τους συστατικά είναι άστριοι, χαλαζίας, αμφίβολοι, μοσχοβίτης και τα δευτερεύοντα επίδοτο, τιτανίτης, χλωρίτης και βιοτίτης.

Στη συνέχεια, στο Σχήμα 2.1 παρατίθεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής, όπως ψηφιοποιήθηκε και επεξεργάστηκε στο πρόγραμμα ArcGIS.



Σχήμα 2.2: Λιθολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (ανασχεδιασμένος από τους γεωλογικούς χάρτες Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλα: Γόννοι, Ελασσόνα, Λάρισα, Φαρκαδόνα).

Παρακάτω παρατίθενται τα εμβαδά των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης:

Πίνακας 2.1: Γεωλογικοί σχηματισμοί και η έκτασή τους

ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)
Πρόσφατες ποτάμιες αναβαθμίδες	16.84
Αλλουβιακές αποθέσεις	119.47
Ελουβιακός μανδύας	1.76
Παλιές αναβαθμίδες	1.59
Ποταμοχερσαίοι σχηματισμοί	31.88
Κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα	37.78
Παλαιοί κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα	11.98
Ποταμολιμναίες αποθέσεις	62.11
Κροκαλοπαγή	2.94
Μάρμαρα	138.3
Σχιστόλιθοι	0.14
Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες	0.86
Αμφιβολιτικοί – μαρμαρυγικοί γνεύσιοι	0.79
Σύνολο	419.38

2.3. Τεκτονική της ευρύτερης περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντάσσεται γεωλογικά στην επιμήκη ενδοορεινή τεκτονική λεκάνη της Ανατολικής Θεσσαλικής πεδιάδας (Λάρισας), η οποία έχει σχηματιστεί παράλληλα με τη ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση των Εσωτερικών Ελληνίδων. Το υπόβαθρο και τα ορεινά που την περιβάλλουν από ΒΔ, ΒΑ και ΝΑ αποτελούνται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα και ανθρακικά, της Πελαγονικής. Η λοφώδης ράχη που περιορίζει τη ΝΔ πλευρά της λεκάνης και τη διαχωρίζει από τη δυτική Θεσσαλική πεδιάδα, αποτελείται κυρίως από τεκτονικά ανυψωμένα ιζήματα της ίδιας της λεκάνης τα οποία επικάθονται επί μιας αντικλινικής δομής του υποβάθρου (Doutsos 1980).

Η λεκάνη αυτή δημιουργήθηκε κατά το Πλειόκαινο (ή ανώτερο Μειόκαινο) σαν αποτέλεσμα της διαστολής που ακολούθησε την τελευταία αλπική ορογενετική φάση (Αλπιδική) που διαμόρφωσε οριστικά το ορογενές και επηρέασε την περιοχή από το Ηώκαινο έως το Μέσο Μειόκαινο.

Η διαστολή έλαβε χώρα σε δύο κύριες φάσεις. Η πρώτη φάση διήρκησε από το Πλειόκαινο έως το Μέσο Πλειστόκαινο, είχε διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ και δημιούργησε τα μεγάλα ΒΔ – ΝΑ διευθυνόμενα ρήγματα τα οποία καθορίζουν έως σήμερα τη μορφολογική διάταξη και το μέγεθος της λεκάνης. Η δεύτερη φάση διαστολής διαρκεί από το Μέσο Πλειστόκαινο έως σύγχρονα, έχει διεύθυνση Β – Ν έως ΒΒΑ – ΝΝΔ και δημιούργησε τα Α έως ΔΒΔ – ΑΝΑ διευθυνόμενα ρήγματα, τα οποία καθόρισαν στη συνέχεια την εσωτερική μορφολογία της λεκάνης. Στα πλαίσια αυτών των ρηξιγενών δομών δημιουργήθηκε ένα σύνθετο ποταμολιμναίο – ποταμοχερσαίο περιβάλλον απόθεσης, εντός του οποίου αποτέθηκαν ιζήματα με μέγιστο πάχος περίπου 500 m (Doutsos 1980).

Το περιβάλλον αυτό καθορίστηκε από την αρχική ανάπτυξη μιας μεγάλης λίμνης με μεταβλητό βάθος που είχε μέγιστο μερικές δεκάδες μέτρα και με τα νερά της κάλυπτε και τις δύο Θεσσαλικές πεδιάδες ενώ κατά το Μέσο Πλειόκαινο απομονώθηκαν μεταξύ τους. Η λίμνη τροφοδοτούνταν με μεγάλο ποσοστό ιζημάτων από την αποσάθρωση των γύρω ορεινών και δημιουργούσαν δελταϊκές αποθέσεις, προελαυνούσες στο εσωτερικό της λίμνης, όπως το δέλτα της Ροδιάς. Περίπου σε αυτήν την εποχή ο Πηνειός άρχισε να σχηματίζει το δέλτα του στο Αιγαίο και το γεγονός αυτό συνδέεται με τη διαμόρφωση

της κοιλάδας των Τεμπών η οποία επέτρεψε την σταδιακή εκκένωση της θεσσαλικής λίμνης από τα νερά της και στη θέση της αναπτύχθηκε ένα σύστημα απορροής. Οι μεταβολές αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τις διαφοροποιήσεις στο περιβάλλον απόθεσης, ανάλογο με την έκταση της λίμνης, τα σημεία τροφοδοσίας με κλαστικά υλικά στη λεκάνη και τη διάταξη του υδρογραφικού δικτύου.

Η αλλαγή του τεκτονικού καθεστώτος από το Μέσο Πλειστόκαινο και η ανάπτυξη μιας δεύτερης γενιάς ρηγμάτων διεύθυνσης Α έως ΔΒΔ – ΝΑ δημιούργησε μεταβολές στην τοπογραφία της λεκάνης της Λάρισας και συγκεκριμένα μια ΒΔ λεκάνη – τη λεκάνη του Τυρνάβου – που κατά το Πλειστόκαινο ήταν λίμνη και στη συνέχεια το αλλουβιακό πεδίο του Πηνειού και του Τιταρήσιου ποταμού, ένα τοπογραφικό υψηλό που την οριοθετεί – της Χασάμπαλης – και μια λεκάνη στο ΝΑ τμήμα της πεδιάδας – της Κάρλας – η οποία μέχρι πρόσφατα αποτελούσε το υπόλειμμα της πλειο – πλειστοκαινικής λίμνης, αλλά σήμερα έχει αποξηρανθεί και επανασυστήνεται. Κατά το διάστημα αυτό η λεκάνη του Τυρνάβου αποτελεί πλέον το κυρίως αποθετικό κέντρο στη θεσσαλική πεδιάδα λόγω της καταβύθισης της από τα ρήγματα που την οριοθετούν και περιλαμβάνει μια σημαντική πλειστοκαινική – ολοκαινική ποταμολιμναία και ποταμοχερσαία ιζηματογένεση.

2.3.1. Ρήγματα της περιοχής μελέτης

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης παρουσιάζονται σε διάφορους χάρτες αρκετά ρήγματα τα οποία έχουν σχεδιαστεί στον γεωλογικό χάρτη της παρούσας διερεύνησης. Τα φύλλα Ελασσόνα, Λάρισα, Γόννοι και Φαρκαδώνα του Γεωλογικού Χάρτη της Ελλάδας του ΙΓΜΕ, παρουσιάζουν ρήγματα τα οποία δεν χρονολογούνται. Από τα ρήγματα αυτά, θεωρούμε ότι παρουσιάζουν οπωσδήποτε νεοτεκτονικό ενδιαφέρον και εξετάζονται λεπτομερέστερα, όσα τέμνουν σχηματισμούς του νεογενούς και τεταρτογενούς ή σχετίζονται με άλλα ρήγματα τα οποία έχουν αυτή την ηλικία.

Τα σημαντικότερα ρήγματα είναι τα εξής: το ρήγμα Τυρνάβου, το ρήγμα Γυρτώνης, το ρήγμα Ροδιάς και το ρήγμα της Λάρισας.

3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.1. Γενικά

Τα κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής, όπως είναι η βροχόπτωση και η θερμοκρασία παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του υδρολογικού ισοζυγίου μιας λεκάνης και πιο συγκεκριμένα στην κατείδυση, στην επιφανειακή απορροή και στην εξατμισοδιαπνοή.

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από κλίμα ηπειρωτικό και συγκεκριμένα μεταβατικό, από το μεσογειακό προς το μεσοευρωπαϊκό. Το γεγονός ότι η Θεσσαλική πεδιάδα περικλείεται από τους ψηλούς, ορεινούς όγκους της Πίνδου, του Ολύμπου, της Όσσας, του Μαυροβουνίου, του Πηλίου και των Αγράφων έχει αρχικά ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός φυσικού εμποδίου στα κλιματικά φαινόμενα της δύσης και κατά συνέπεια τη μείωση των βροχοπτώσεων και δευτερευόντως την απομόνωση της ευεργετικής επίδρασης του Αιγαίου, που επηρεάζει τα ανατολικά της παράλια.

Ο κλιματικός τύπος της ευρύτερης περιοχής μελέτης με βάση την ταξινόμηση Korpen (1936) χαρακτηρίζεται ως τύπος κλίματος Csa, δηλαδή μεσογειακός τύπος κλίματος ή μεσόθερμος τύπος κλίματος με ξηρό και θερμό θέρος και ήπιους και υγρούς χειμώνες.

Στα πλαίσια αυτής της διατριβής χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που αφορούν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και τη θερμοκρασία τεσσάρων σταθμών στην ευρύτερη περιοχή και πιο συγκεκριμένα των σταθμών της Λάρισας (70 m), της Μαγούλας (180 m), της Ελασσόνας (314 m) και του Λιβαδίου (1200m). Οι συντεταγμένες τους σε ΕΓΣΑ '87 είναι οι εξής:

- Λάρισα: $x = 364288.73$, $y = 4387963.68$
- Μαγούλα: $x = 335550.435$, $y = 4407686.56$
- Ελασσόνα: $x = 345020.62$, $y = 4416536.85$
- Λιβάδι: $x = 342884.784$, $y = 44431.60.80$

Στην επιλογή των σταθμών αναφοράς, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν το εύρος της διαθέσιμης χρονοσειράς παρατηρήσεων, η αξιοπιστία των παρατηρήσεων που είναι

συνυφασμένη με τον τρόπο με τον οποίο διενεργούνται οι μετρήσεις, καθώς και η γεωγραφική θέση του σταθμού ως προς την περιοχή μελέτης.

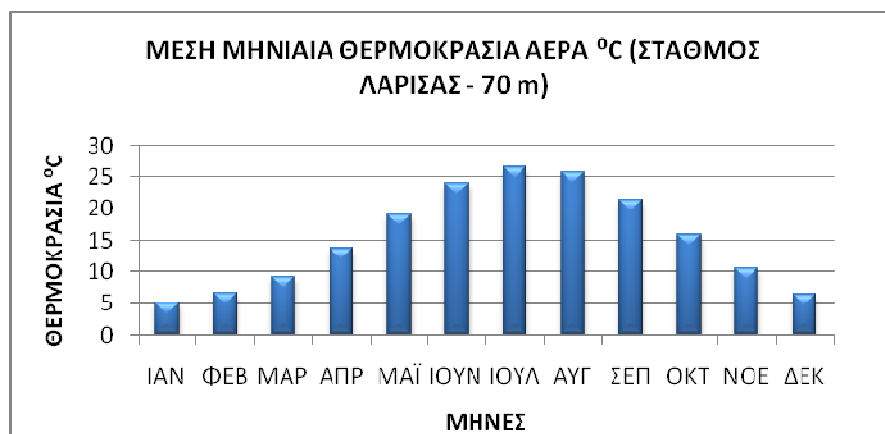
3.2. Θερμοκρασία

Σύμφωνα με τον Καλλέργη (1986), η γνώση της θερμοκρασίας συμβάλλει στην καλύτερη μελέτη της υδρογεωλογίας μιας περιοχής, δεδομένου ότι επιδρά στην εξατμισοδιαπνοή.

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του αέρα των σταθμών της Λάρισας, της Μαγούλας, της Ελασσόνας και του Λιβαδίου.

Πίνακας 3.1: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα (°C) για την περίοδο 1956 – 2005 του σταθμού Λάρισας (Μπέλεσης 2012 , Καραμουχτάρη 2006).

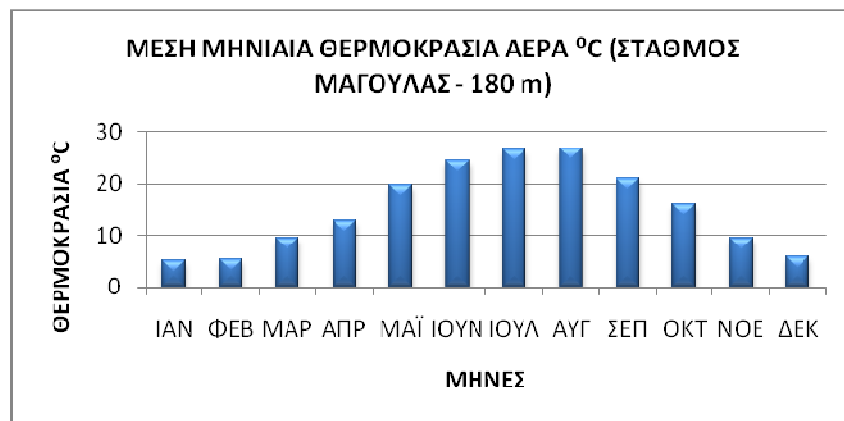
ΜΗΝΑΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μ.Ο. (T °C)	5.1	6.7	9.1	13.7	19.2	24.1	26.6	26	21	15.9	10.5	6.4



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα της ενδοετήσιας μεταβολής της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα από στοιχεία του σταθμού Λάρισας για την περίοδο 1956 – 2005 (Υ.Ε.Β 2013).

Πίνακας 3.2: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα (°C) για την περίοδο 2005 – 2007 του σταθμού
Μαγούλας (Υ.Ε.Β 2013).

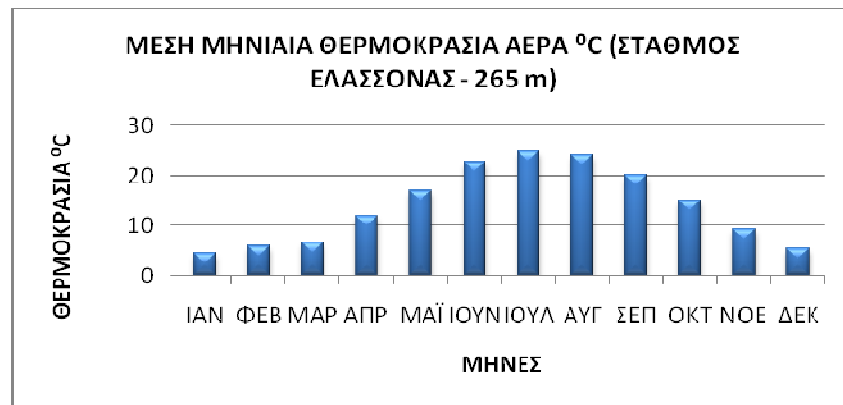
ΜΗΝΑΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μ.Ο. (Τ °C)	5.1	5.4	9.4	13	20	24.3	26.7	26.7	21.3	16	9.5	5.9



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα της ενδοετήσιας μεταβολής της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα από
στοιχεία του σταθμού Μαγούλας για την περίοδο 2005 – 2007 (Υ.Ε.Β 2013).

Πίνακας 3.3: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα (°C) του σταθμού Ελασσόνας (Καραπιλάφης
2008).

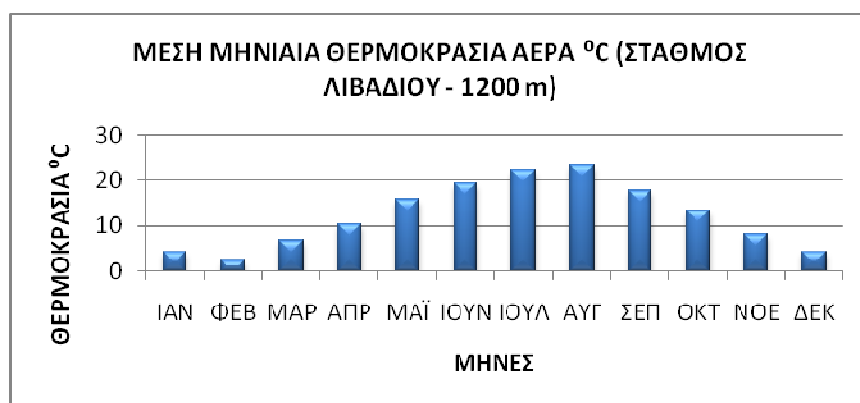
ΜΗΝΑΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μ.Ο. (Τ °C)	4.5	5.8	6.5	12	17	22.8	24.9	24.2	20.2	15.1	9.2	5.4



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα της ενδοετήσιας μεταβολής της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα από στοιχεία του σταθμού Ελασσόνας (Καραπιλάφης 2008).

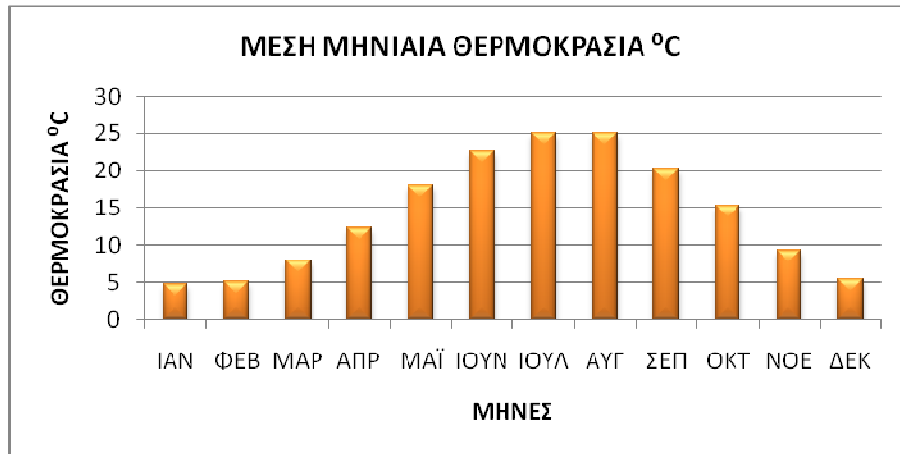
Πίνακας 3.4: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα (°C) για την περίοδο 2005 – 2008 του σταθμού Λιβαδίου (Υ.Ε.Β 2013).

ΜΗΝΑΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μ.Ο. (Τ °C)	4.2	2.3	6.8	10.3	16	19.4	22	23	18	14	8.1	4.3



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα της ενδοετήσιας μεταβολής της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα από στοιχεία του σταθμού Λιβαδίου για την περίοδο 2005 – 2008 (Υ.Ε.Β 2013).

Από τους πίνακες που προηγούνται συμπεραίνεται ότι η μέση θερμοκρασία της περιοχής είναι περίπου 14.2 °C, εμφανίζοντας μέγιστη τιμή 25.1 °C κατά το μήνα Ιούλιο και ελάχιστη 4.7 °C κατά το μήνα Ιανουάριο.



Σχήμα 3.5: Διάγραμμα της ενδοετήσιας μεταβολής της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας όλων των σταθμών.

3.3. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Για την περιοχή μελέτης χρησιμοποιούνται στοιχεία τιμών ύψους ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων από τέσσερις σταθμούς της ευρύτερης περιοχής, των σταθμών Λάρισας, Μαγούλας, Ελασσόνας και Λιβαδίου.

Πίνακας 3.5: Τιμές ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων για την περίοδο 1955 – 2004 του
σταθμού Λάρισας.

1955	769.7	1968	350.9	1981	391.8	1993	356.7
1956	534.5	1969	318.7	1982	704.3	1994	444.8
1957	482.1	1970	211.3	1983	440.8	1995	370.5
1959	420.2	1971	407.8	1984	376.2	1996	482.9
1960	540.5	1972	550.6	1985	351.2	1997	349.1
1961	354.3	1973	443.5	1986	397	1998	513.4
1962	589.5	1975	441.7	1987	489.2	1999	435.8
1963	481.2	1976	470.3	1988	402.2	2000	227.9
1964	396.6	1977	245.7	1989	322.8	2002	579
1965	299.2	1978	613.7	1990	390.1	2003	417
1966	371.7	1979	507.8	1991	489.5	2004	448
1967	407.3	1980	425.6	1992	383.2	Μ.Ο.	434



Σχήμα 3.6: Διάγραμμα της ενδοετήσιας μεταβολής των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων του
σταθμού Λάρισας για την περίοδο 1955 – 2004.

Πίνακας 3.6: Τιμές ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων για την περίοδο 1971 – 1999 του σταθμού Ελασσόνας.

1971	584.4	1986	531.9
1972	695.7	1987	615.7
1973	574	1988	236.8
1974	478.6	1989	229.5
1975	421.3	1990	417.1
1976	546	1991	346.7
1977	269.2	1992	389.3
1978	755.9	1993	311.8
1979	818	1994	360.8
1980	657.8	1995	462.4
1981	492.4	1996	444.5
1982	757	1997	366.5
1983	552.5	1998	619.2
1984	411.7	1999	633.6
1985	508.7	Μ.Ο.	499.62



Σχήμα 3.7: Διάγραμμα της ενδοετήσιας μεταβολής των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων του σταθμού Ελασσόνας για την περίοδο 1971 – 1999.

Πίνακας 3.7: Τιμές ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων για την περίοδο 2005 – 2007 του σταθμού Μαγούλας – Λιβαδίου.

	2005	2006	2007	2008	M.O.
ΜΑΓΟΥΛΑ	609.9	655.6	592.2		619.23
ΛΙΒΑΔΙ	820.4	859.4	651.7	664.6	749.03

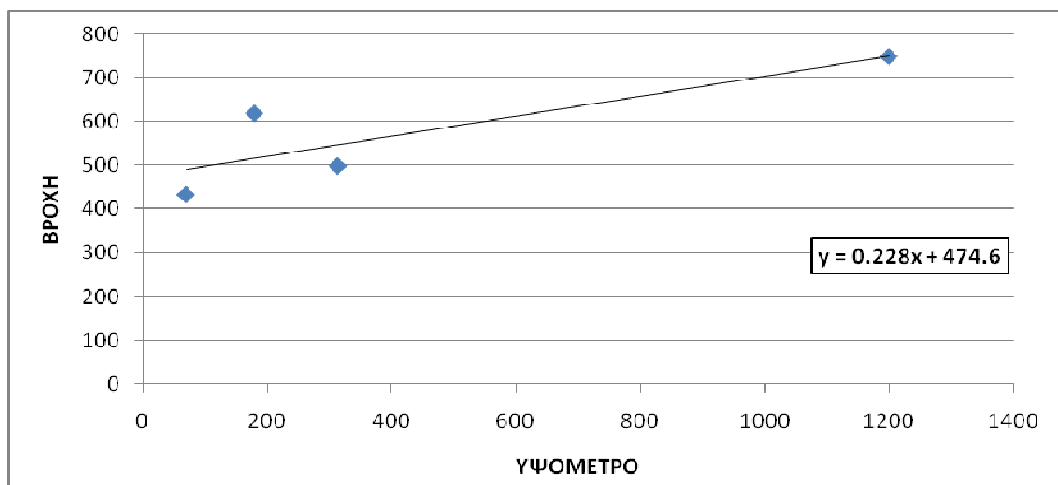
3.3.1. Σχέση βροχής – υψομέτρου

Η κατανομή των βροχοπτώσεων καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, καθοριστικότερος των οποίων είναι το υψόμετρο της περιοχής. Η μαθηματική σχέση που συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη είναι μία εξίσωση πρώτου βαθμού, της μορφής $y = ax + b$, με ανεξάρτητη μεταβλητή το απόλυτο υψόμετρο των σταθμών και εξαρτημένη μεταβλητή το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης. Η σχέση αυτή ονομάζεται εξίσωση της βροχοβαθμίδας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του βροχομετρικού χάρτη μιας περιοχής.

Για τον υπολογισμό της εξίσωσης της βροχοβαθμίδας για την περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τέσσερις μετεωρολογικούς σταθμούς.

Στο σχήμα 3.8 δίνεται η ευθεία παλινδρόμησης της μεταβολής των βροχοπτώσεων (σε mm ύψους βροχής) σε συνάρτηση το απόλυτο υψόμετρο των σταθμών (σε m) που χρησιμοποιήθηκαν.

Η βροχομετρική βαθμίδα, δηλαδή η ανά μονάδα αύξηση του υψομέτρου της βροχής σε mm, είναι 0.228. Δηλαδή, η βροχόπτωση αυξάνεται 22.8 mm ανά 100 m.



Σχήμα 3.8: Διάγραμμα συσχέτισης της βροχής με το υψόμετρο.

4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

4.1. Γενικά

Ολόκληρη η πεδινή Θεσσαλία αποστραγγίζεται από τον Πηνειό ποταμό. Η λεκάνη απορροής του Πηνειού διαιρείται σε μεγάλο αριθμό υπολεκανών, των Εννιπέα, Φαρσαλιώτη, Σοφαδίτη, Καλέντζη, Πάμισου, Πορταϊκού, Μουργκανίου, Ληθαίου, Νεοχωρίτη και Τιταρήσιου. Στο υδατικό διαμέρισμα περιλαμβάνεται και η κλειστή λεκάνη της Κάρλας. Η περιοχή ενδιαφέροντος αποτελεί τμήμα της λεκάνης του Πηνειού και της υπολεκάνης του Τιταρήσιου.

Την περιοχή μελέτης τη διαρρέουν νότια ο Πηνειός ποταμός, σε ένα μήκος 18 km και στο κέντρο της, τη διασχίζει εγκάρσια ο Τιταρήσιος ποταμός, σε ένα μήκος 22 km εκ των οποίων τα 11 km είναι εντός της καρστικής κοιλάδας Δαμασίου έως την έξοδο στο πεδινό τμήμα και τα άλλα 11 km στο πεδινό τμήμα των στενών της Ροδιάς συμβάλλουν με τον Πηνειό ποταμό (Σχήμα 1.2).

Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου αναπτύχθηκε ασύμφωνα προς το ανάγλυφο της περιοχής και πιο συγκεκριμένα κάθετα προς αυτό. Ανάμεσα στα μάρμαρα έχουν διαμορφωθεί οι κοίτες του Πηνειού και του Τιταρήσιου, πριν την έξοδο τους στην Ανατολική Θεσσαλία. Οι δύο αυτοί ποταμοί διακινούν σημαντική ποσότητα επιφανειακών νερών προς την πεδιάδα της Ανατολικής Θεσσαλίας και το καρστικό σύστημα Κουτσόχερου – Δαμασίου – Τυρνάβου.

4.1.1. Πηνειός ποταμός

Ο Πηνειός ποταμός είναι ο αποδέκτης των υδάτων του μεγαλύτερου μέρους της Θεσσαλικής πεδιάδας. Το σύστημα του ποταμού χωρίζεται σε τρία ευδιάκριτα τμήματα: στον ορεινό ρου, στο πεδινό τμήμα και στο Δέλτα του. Μεγάλο τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού περιλαμβάνει ορεινές περιοχές με υψόμετρο πάνω από 2000 m (όπως η Πίνδος και ο Όλυμπος), καθώς και αγροτικές περιοχές (Θεσσαλικές πεδιάδα) και αστικές περιοχές.

Ο ποταμός πηγάζει από της οροσειρά της Πίνδου. Ειδικότερα σχηματίζεται από τη συμβολή του Μαλακασιώτικου ρεύματος, που πηγάζει σε υψόμετρο 1.800 m και του ρεύματος Μουργκανίου που πηγάζει στη βόρεια πλευρά των Αντιχασίων, σε υψόμετρο 1.100 m. Είναι ο 3^{ος} σε μήκος ποταμός της χώρας και το μήκος του φτάνει τα 205 km. Η λεκάνη απορροής του καλύπτει έκταση 10.700 km² και η μέση ετήσια απορροή εκτιμάται στα 3.500*10⁶ m³ (Panagopoulos 1995).

Το πεδινό τμήμα του ποταμού εισέρχεται στη Θεσσαλική λεκάνη, δυτικά της Καλαμπάκας, διέρχεται νότια των Τρικάλων και στρέφεται ανατολικά σχηματίζοντας μαιάνδρους. Ακολούθως εισέρχεται στην πεδιάδα της Λάρισας με έντονες μαιανδρικές μορφές, φθάνοντας ως τις προσβάσεις του Κάτω Ολύμπου, στην περιοχή του Τυρνάβου, όπου δέχεται τα νερά του κυριότερου παραποτάμου του, του Τιταρήσιου. Σε αυτό το τμήμα του ποταμού συμβάλλουν, εκτός από τον Τιταρήσιο και άλλοι παραπόταμοι, όπως ο Ληθαίος, ο Πορταϊκός, ο Πάμισος, ο Νεοχωρίτης, ο Ενιπέας και το Μεγάλο Ρέμα. Μετά την ένωση με τον Τιταρήσιο κατευθύνεται ανατολικά στο στενό της Ροδιάς και ακολούθως στην κοιλάδα των Τεμπών μεταξύ Όλύμπου και Όσσας.

Παρά τη σύνθετη εικόνα που παρουσιάζει στον χάρτη, το υδρογραφικό δίκτυο της Θεσσαλίας είναι σχετικά απλό, λόγω της μορφολογίας της. Στην πραγματικότητα είναι μια βαθιά λεκάνη, η οποία περιβάλλεται από υψηλούς ορεινούς όγκους, κάτι που σημαίνει ότι τα νερά των βροχών δεν μπορούν να συγκεντρωθούν εύκολα. Εκεί τα μικρά ρέματα κατανέμονται σε μεγαλύτερα (Ενιπέας, Τιταρήσιος, Ληθαίος κ.ά.) και τελικά συγκεντρώνονται σε μια κεντρική κοίτη που σχηματίζει τον Πηνειό ποταμό.

4.1.2. Τιταρήσιος ποταμός

Ο Τιταρήσιος ποταμός ή Ξεριάς είναι παραπόταμος του Πηνειού ποταμού, πηγάζει από τις δυτικές πλαγιές του Ολύμπου και τις ανατολικές πλαγιές των Καμβουνίων, διαρρέει την επαρχία Ελασσόνας και Τυρνάβου και χύνεται στον Πηνειό ποταμό. Ο Τιταρήσιος σχηματίζεται από την συμβολή πολλών ορεινών χειμάρρων και μικρορεμάτων και συχνά μετά την έξοδό του από την λεκάνη απορροής δεν εμφανίζει διαρκή ροή. Στο γεγονός αυτό οφείλεται το όνομα Ξεριάς.

Σύμφωνα με τον Ευαγγελόπουλο (1974), η αλλουβιακή λεκάνη οφείλει τον πλούτο της στα υπόγεια νερά και στον Τιταρήσιο ποταμό. Ο αλλουβιακός υδροφόρος ορίζοντας δέχεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα άφθονη τροφοδοσία, εντοπισμένη κυρίως στα ανάντη του ποταμού.

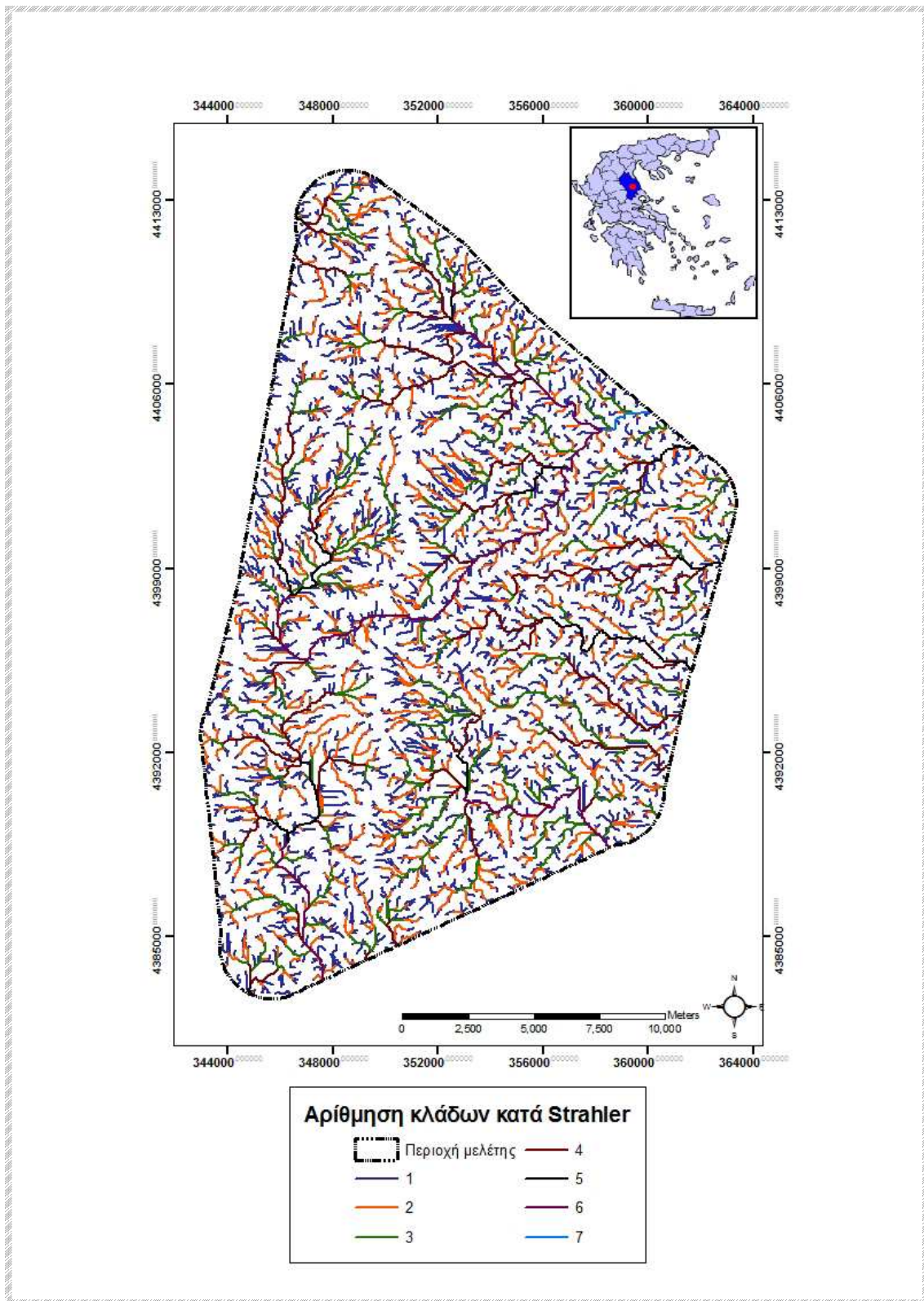
4.2. Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής

Το υδρογραφικό δίκτυο αποτελεί θεμελιώδη γεωμορφολογικό παράγοντα και η ανάπτυξη, η μορφή και η λειτουργία του έχουν μελετηθεί από διάφορους ερευνητές. Η μελέτη του περιλαμβάνει τόσο την ποιοτική όσο και την ποσοτική ανάλυσή του. Η ποιοτική ανάλυση πραγματοποιείται με τον καθορισμό του δικτύου, η οποία μπορεί να είναι το συνδυασμένο αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων όπως κλιματολογικών, γεωλογικών, τεκτονικών κ.α. Όσον αφορά την ποσοτική ανάλυση περιορίζεται στην αρίθμηση των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου.

Στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης η ταξινόμηση των κλάδων έγινε με τη μέθοδο Strahler (Strahler 1952). Η εξαγωγή τους έγινε από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM), με την εξαγωγή των δύο πρώτων κλάδων χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ArcGIS 9.3. Επίσης, παρατίθεται πίνακας του μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1: Μήκος υδρογραφικών κλάδων ανάλογα με την τάξη τους.

ΚΛΑΔΟΙ	ΜΗΚΟΣ (km)
1 ^η τάξης	904.71
2 ^η τάξης	448.79
3 ^η τάξης	212.88
4 ^η τάξης	115.14
5 ^η τάξης	31.97
6 ^η τάξης	44.03
7 ^η τάξης	2.29
Συνολικό άθροισμα μήκους κλάδων	1759.81



Σχήμα 4.1: Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης.

4.2.1. Υδρογραφική πυκνότητα

Υδρογραφική πυκνότητα (D) ενός υδρογραφικού δικτύου ονομάζεται ο δείκτης που συγκρίνει την σχετική διαβρωτική δράση ή αλλιώς την ικανότητα διαβρωτικής δράσης των κοιτών των ποταμών μεταξύ των λεκανών απορροής. Ο δείκτης αυτός (D) εκφράζει το μήκος των ποτάμιων κοιτών σε χιλιόμετρα ανά τετραγωνικά χιλιόμετρα λεκάνης απορροής (ή km/km^2).

Πίνακας 4.2: Υδρογραφική πυκνότητα λιθολογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης.

ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (km/km^2)
Πρόσφατες ποτάμιες αναβαθμίδες	6.09
Αλλουβιακές αποθέσεις	4.38
Ελουβιακός μανδύας	6.59
Παλιές αναβαθμίδες	6.84
Ποταμοχερσαίοι σχηματισμοί	3.66
Κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα	6.16
Παλαιοί κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα	6.01
Ποταμολιμναίες αποθέσεις	4.02
Κροκαλοπαγή	4.14
Μάρμαρα	3.15
Σχιστόλιθοι	5.79
Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, γενευσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες	1.93
Αμφιβολιτικοί – μαρμαρυγικοί γενεύσιοι	2.15
<i>Πυκνότητα περιοχής μελέτης</i>	$1759.81 / 419.38 = 4.2$

4.3. Υδρογεωλογία περιοχής

Οι σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή παρουσιάζουν διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά, καθώς χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ιδιότητες. Οι αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούν έναν εκτεταμένο υδροφορέα, ο οποίος υδραυλικά βρίσκεται σε άμεση επικοινωνία με τους καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους που εμφανίζονται στο δυτικό περιθώριο της περιοχής. Επίσης, σημειώνεται με έμφαση η υδραυλική επικοινωνία μεταξύ του αλλουβιακού υδροφορέα και των ποταμών που τον διαβρέχουν (Panagopoulos 1995).

Το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από κρυσταλλικό μοσχοβιτικό σχιστόλιθο, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως σχεδόν αδιαπέρατος σχηματισμός και υδατοστεγανός διαμορφώνοντας ιδανικές συνθήκες για τον υπερκείμενο υδροφορέα. Ο καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος (καρστ) και τα μάρμαρα, στο δυτικό περιθώριο της αλλουβιακής περιοχής, έχουν πάχος 400 – 500 m. Ο συντελεστής διαπερατότητας τους είναι μεγάλος, καθώς εμφανίζεται ισχυρά κατακερματισμένος και έντονα καρστικοποιημένος. Η επιφάνειά τους αποτελεί ζώνη εμπλουτισμού της αλλουβιακής λεκάνης. Ο συντελεστής κατείσδυσης του νερού εκτιμάται ότι είναι υψηλός, για το λόγο ότι δεν υπάρχει επιφανειακό κάλυμμα εδάφους ή βλάστηση.

Οι αλλουβιακές αποθέσεις της περιοχής εμφανίζονται στο μεγαλύτερο τμήμα της. Διακρίνονται σε δύο υδροφόρα στρώματα, διαχωρισμένα από ένα υδατοστεγές στρώμα πάχους 50 m (Panagopoulos 1995). Ο κατώτερος υδροφορέας έχει πάχος 300 m περίπου στο ΝΔυτικό τμήμα της λεκάνης, ενώ λεπταίνει στα περιθώριά της. Οι περισσότερες αρδευτικές και υδρευτικές γεωτρήσεις εμφανίζονται σε αυτή την περιοχή, όπου η απόδοσή τους κρίνεται υψηλότερη. Το αδιαπέρατο στρώμα έχει πάχος 50 m περίπου, στο κέντρο της λεκάνης και επηρεάζει την υδραυλική επικοινωνία του συστήματος.

Ο ανώτερος υδροφορέας λόγω του περιορισμένου πάχους -70 m περίπου- έχει περιοσμένα αποθέματα νερού και ευάλωτα σε επιφανειακούς παράγοντες ρύπανσης. Οι κοίτες των ποταμών, οι απώλειες από τα αρδευτικά κανάλια και το αρδεύόμενο νερό στις καλλιέργειες εμπλουτίζουν τον επιφανειακό υδροφορέα, φιλτράρονται και διοχετεύονται στο κυρίως σύστημα. Επομένως, παρόλο που το υδραυλικό δυναμικό του επιφανειακού

υδροφορέα δεν είναι ιδιαίτερα παραγωγικό, έχει σημαντικό ρόλο για τη λειτουργία του συστήματος.

Σε επόμενα κεφάλαια, κατά την περιγραφή της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε στην περιοχή Λάρισας – Τυρνάβου θα αναλυθούν με λεπτομέρεια το βάθος και η ποιότητα του υπόγειου νερού, η κατείσδυση, το υδρογραφικό δίκτυο κλπ.

5. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

5.1. Τηλεπισκόπηση

Τηλεπισκόπηση καλείται η τεχνική συλλογής στοιχείων (δεδομένων) για τον προσδιορισμό της φύσης και των ιδιοτήτων ενός ή περισσότερων αντικειμένων μιας περιοχής από απόσταση (από τον αέρα ή το διάστημα), χωρίς τη φυσική επαφή με τα αντικείμενα αυτά. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ειδικών συστημάτων καταγραφής των αντικειμένων (δεδομένων), καθώς και με τη βοήθεια ειδικών συστημάτων οπτικής και ψηφιακής επεξεργασίας των δεδομένων (φωτογραφιών και εικόνων) (Αστάρας 2006).

Η Τηλεπισκόπηση μπορεί να παρέχει μοναδικά στοιχεία για την κατασκευή χωρικών βάσεων δεδομένων. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν αναλογικές αεροφωτογραφίες ή ψηφιακές εικόνες που αντιπροσωπεύουν την εκπομπή ή την ανάκλαση της ακτινοβολίας της ενέργειας από την επιφάνεια του εδάφους. Τα δεδομένα της Τηλεπισκόπησης είναι διαθέσιμα από μια ποικιλία μέσων που είναι τοποθετημένα σε δορυφόρους και πλατφόρμες αεροσκαφών. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία ώστε να γίνει διόρθωση της επίδρασης της ατμόσφαιρας, σε ανασχεδιασμό και σε αναλύση για την εξαγωγή πληροφοριών που απαιτούνται για τα υδρολογικά μοντέλα.

Τα δορυφορικά δεδομένα παρέχουν γρήγορα βασικές πληροφορίες σχετικά με τις παραμέτρους που ελέγχουν την εμφάνιση και την κίνηση των υπόγειων υδάτων, όπως η γεωλογία, η λιθολογία, η στρωματογραφία, η γεωμορφολογία, τα εδάφη, η έκταση χρήσεων γης και οι φωτογραμμώσεις.

Η αναγνώριση των φωτογραμμώσεων έχει τεράστια σημασία στην υδρογεωλογία σκληρών πετρωμάτων, καθώς μπορούν να εντοπιστούν διαρρήξεις όπου εντοπίζονται τα υπόγεια ύδατα. Τα περισσότερα από τα γεωλογικά γραμμικά χαρακτηριστικά θεωρούνται ότι είναι η ζώνη διαρρηγμένων πετρωμάτων και κατάλληλη θέση γεωτρήσεων όπου αναμένεται καλή απόδοση νερού (Das 1990).

Η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για τον εντοπισμό ορίων απρόσιτων λεκανών απορροής. Στοιχεία όπως οι τύποι εδάφους και πετρωμάτων, η κάλυψη της γης, η διάβρωση των εδαφών στις παράκτιες ζώνες και η ανάπτυξη της γεωργίας, της βιομηχανίας, της αστικοποίησης και του τουρισμού μελετώνται επιτυχώς. Παρόλα αυτά, πολλές μελέτες απαιτούν επαλήθευση ώστε να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των εικόνων.

Επίσης, εκτός από την αναγνώριση πιθανών ζωνών υπόγειων υδάτων, μπορεί να εκτιμηθεί το σύνολο των υπόγειων υδατικών πόρων σε μια περιοχή και να γίνει η επιλογή κατάλληλων χώρων γεωτρήσεων ή συστημάτων τεχνητής αναπλήρωσης αποθεμάτων. Σε συνδυασμό των εξ αποστάσεως πληροφοριών ανίχνευσης με τα δεδομένα πεδίου, είναι δυνατόν να καταλήξουμε σε προγνωστικά μοντέλα πρόβλεψης του βάθους, της απόδοσης σε διαφορετικά υδρογεωλογικά πεδία (Howari 2007).

5.2. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S)

Μια σειρά εφαρμογών GIS για τους υδατικούς πόρους και τις λεκάνες απορροής έχουν ολοκληρωθεί κατά τη διάρκεια των χρόνων και απεικονίζουν τις δυνατότητες της τεχνολογίας. Πολλές από αυτές τις προσπάθειες βοηθούν στην αντιμετώπιση δύσκολων στόχων. Οι εφαρμογές GIS εφαρμόζονται κυρίως λόγω της μεταβλητότητας των πληροφοριών σε χώρο και χρόνο, όπως και του αριθμού των μεταβλητών που πρέπει να είναι αξιολογηθούν.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν επηρεάσει την ανάπτυξη και την εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων σε διάφορα επίπεδα, καθώς παρέχουν αναπαραστάσεις των χωρικών χαρακτηριστικών της Γης, ενώ η υδρολογική μοντελοποίηση ασχολείται με τη ροή του νερού και των συστατικών του στην επιφάνεια της γης και στο υπέδαφος. Διάφορες υδρολογικές τεχνικές μοντελοποίησης επέτρεψαν στους χρήστες των GIS να οδηγηθούν από την καταγραφή των δεδομένων και το στάδιο της διαχείρισης, στη διεξαγωγή εξελιγμένων μοντέλων και στην προσομοίωση. Πιο συγκεκριμένα, ιδίως μέσω των ισχυρών δυνατοτήτων τους με την επεξεργασία του

Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (DEM) κάνουν τα υδρολογικά μοντέλα ισχυρά και ακριβή (Lyon 2003).

Προηγμένες εφαρμογές χρησιμοποιούν GIS, τηλεπισκόπηση και δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GPS) για την καλύτερη αντιμετώπιση των στόχων. Αυτές οι προηγμένες προσεγγίσεις κάνουν χρήση πιο πολύπλοκων μοντέλων και τεχνολογιών GIS, με τη συλλογή δεδομένων, μαζί με το GPS, καθώς και δεδομένων τηλεπισκόπησης.

5.3. Υδρολογικά μοντέλα

Τα μοντέλα υπόγειων νερών είναι η απλοποιημένη έκδοση του πραγματικού συστήματος που προσομοιώνει περίπου την είσοδο και την έξοδο του νερού και τις σχέσεις απόκρισης του συστήματος.

Κατασκευάζονται έτσι ώστε να απεικονίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος σε πλήρη κλίμακα και να προσομοιώνουν όλες τις σχετικές φυσικές παραμέτρους, οι οποίες περιγράφουν τα σημαντικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων. Υπάρχουν πολλά μοντέλα που εφαρμόζονται, είτε για να προβλέψουν τη μελλοντική συμπεριφορά, είτε για να μελετήσουν τη δυναμική του συστήματος.

Όλα τα υδρολογικά μοντέλα απαιτούν φυσικά στοιχεία, όπως η τοπογραφία και τα χαρακτηριστικά των εδαφών, δεδομένων χρήσης γης, όπως η κάλυψη γης και τα χαρακτηριστικά της βλάστησης, καθώς και κλιματολογικά στοιχεία, όπως η βροχόπτωση και η θερμοκρασία. Επιπλέον, απαιτούνται ποσοτικά δεδομένα λεκάνης απορροής για τη βαθμονόμηση του μοντέλου και την επαλήθευσή του (Cruise 2003).

6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

6.1. Γενικά

Το νερό, τόσο το επιφανειακό όσο και το υπόγειο είναι ο πιο σημαντικός και ευρέως χρησιμοποιούμενος φυσικός πόρος. Το υπόγειο νερό ποικίλλει χωρικά και χρονικά και εφόσον είναι η πιο σημαντική πηγή νερού, θα πρέπει να γίνει μελέτη και αξιολόγηση του δυναμικού των υπόγειων υδάτων. Για τη βιώσιμη ανάπτυξη των υδάτινων πόρων είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός ζωνών, όπου πραγματοποιείται αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων. Για το λόγο αυτό, η γνώση των περιοχών όπου το επιφανειακό νερό διηθείται και αναμιγνύεται με τα υπόγεια ύδατα είναι απαραίτητη.

Από την υδρογεωλογική ανάλυση της κατάστασης εκμετάλλευσης των υπόγειων υδροφορέων των υδάτινων περιοχών στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (υδρογεωλογικές λεκάνες, τμήματα λεκανών, ζώνες υδροφορίας, καρστικά συστήματα), διαπιστώθηκε ότι η εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων βρίσκεται στα όρια υπερεκμετάλλευσης στις περισσότερες υδάτινες περιοχές (Ευαγγελόπουλος 2005).

Οι συνέπειες από την υπερεκμετάλλευση την τελευταία 15ετία άρχισαν να εμφανίζονται κυρίως με τη διαταραχή της ευστάθειας του εδάφους, δηλαδή την εμφάνιση των ρωγματώσεων στα εδάφη. Οι ρωγματώσεις αυτές πρωτοεμφανίστηκαν στο νοτιοανατολικό τμήμα της υδρογεωλογικής λεκάνης Τυρνάβου – Λάρισας – Κάρλας, λίγο αργότερα στο κεντρικό τμήμα και τελευταία στο βορειοδυτικό τμήμα. Το φαινόμενο αυτό δεν είναι τίποτα άλλο παρά μια αντίδραση της εδαφικής ευστάθειας των προσχωματικών κοκκωδών σχηματισμών στη νέα κατάσταση ισορροπίας που προέκυψε ύστερα από συνεχή πτώση της στάθμης. Η πτώση αυτή της στάθμης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου των κενών που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων.

Άλλη μία επίπτωση από τη συνεχή πτώση της στάθμης είναι η αλλοίωση της ποιότητας νερού, η οποία επέρχεται με την επέμβαση του ανθρώπου από εξωγενείς παράγοντες, όπως είναι οι επιβαρύνσεις από καλλιεργητικές δραστηριότητες, κτηνοτροφικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η επιβάρυνση αυτή στηρίζεται στην αντίστροφη, αναλογική σχέση μεταξύ της ποσότητας των ρύπων του υπόγειου νερού και

της ποσότητας της συγκέντρωσης ρύπων που εισχωρούν στο υπόγειο σύστημα από την επιφάνεια και εφόσον το επιτρέπει η γεωλογική δομή της περιοχής. Επίσης, με την υπεράντληση επέρχεται αλλαγή της υπόγειας ροής από τη θάλασσα προς την προσχωματική περιοχή, καθώς ελάττωση των ρυθμιστικών αποθεμάτων και ενεργοποίηση των μόνιμων με την ανόρυξη γεωτρήσεων 200 έως και 400 m.

Ανακεφαλαιώνοντας, οι επιπτώσεις από την ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση του υπόγειου νερού είναι:

- Μείωση του αρδευτικού νερού
- Μεγάλο κόστος άρδευσης από τα μεγάλα μανομετρικά άντλησης και από την καταστροφή γεωτρήσεων με πολλές εγκαταστάσεις
- Υδρευτικά προβλήματα κυρίως με την ποιότητα νερού
- Απενεργοποίηση υδροφορέων

Επομένως, κρίνεται απαραίτητος ο κατάλληλος σχεδιασμός της περιοχής μελέτης, ώστε να μπορεί να γίνει εκτίμηση του υπόγειου νερού. Τα υδρολογικά μοντέλα είναι πολύτιμα, αν όχι απαραίτητα εργαλεία για το σκοπό αυτό. Το πλεονέκτημα των υδρολογικών μοντέλων είναι ότι όλα τα στοιχεία που συμβάλλουν στην ισορροπία του νερού μπορούν να εκτιμηθούν σε απεριόριστο χρονικό πλαίσιο. Διάφορες προσεγγίσεις έχουν προταθεί για τον σκοπό αυτό και κυμαίνονται από απλούστερα συγκεντρωτικά και θεωρητικά μοντέλα λεκανών απορροών μέχρι σύνθετα μοντέλα.

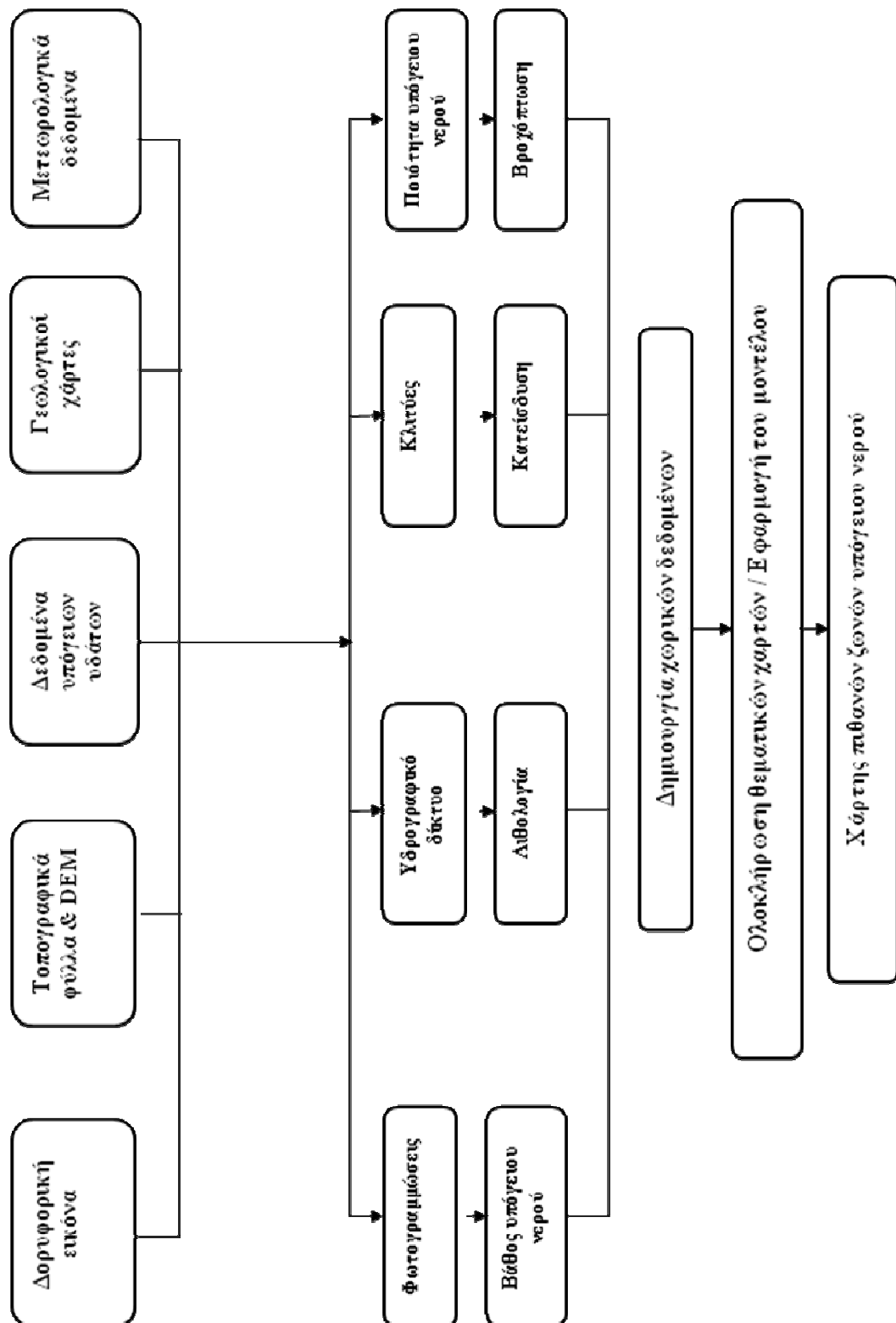
Η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών παίζουν σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση των υδρολογικών μοντέλων και στην επεξεργασία και συσχέτιση πολλών παραμέτρων που αφορούν την περιοχή που μελετάται. Τα παραπάνω θα συμβάλλουν στη διερεύνηση των υπόγειων υδάτων στην περιοχή Λάρισας – Τυρνάβου με διαφορετική μεθοδολογία και προσέγγιση σε σχέση με την παραδοσιακή γεωλογική χαρτογράφηση, δίνοντας ένα επιπλέον εργαλείο στους διαχειριστές του υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας.

Η παρούσα διατριβή είχε ως κίνητρο την ανάγκη ανάπτυξης ενός αξιόπιστου μέσου για τον προσδιορισμό του νερού στο πλαίσιο της επεξεργασίας παραγόντων που επιδρούν στη διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού, όπως είναι η βροχόπτωση, η λιθολογία, η κατείσδυση και άλλοι παράγοντες που θα αναφερθούν παρακάτω.

6.2. Περιγραφή διάρθρωσης μεθοδολογίας

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στη μελέτη της δυνατότητας χαρτογράφησης του υπόγειου νερού της περιοχής Λάρισας – Τυρνάβου με τροποποίηση μιας ήδη εφαρμοσμένης μεθοδολογίας που καθορίζει ποιοτικά και ποσοτικά το υπόγειο νερό, με τη συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Η μελέτη αυτή εκπονείται σε μια έκταση 419,38 km² της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Τυρνάβου. Η περιοχή αυτή τυγχάνει εντατικής καλλιέργειας με αποτέλεσμα τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση υδατικών πόρων. Σύμφωνα με τους Elewa και Qaddah (2010) είναι απαραίτητος ο συστηματικός σχεδιασμός του υπόγειου νερού για την εκμετάλλευση και την κατάλληλη διαχείρισή του, με τη βοήθεια νέων τεχνολογιών. Δημιούργησαν, λοιπόν, ένα μοντέλο που βασίζεται στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και στην Τηλεπισκόπηση, βάσει του οποίου οριοθετούνται πιθανές ζώνες υπόγειου νερού με απώτερο σκοπό τη δημιουργία ενός τελικού χάρτη που θα τις απεικονίζει.

Στο μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται δορυφορική εικόνα Landsat 7, μετεωρολογικά – κλιματολογικά – πιεζομετρικά δεδομένα, χημικές αναλύσεις, γεωλογικοί – τοπογραφικοί χάρτες και ένα μοντέλο χωρικής βαθμονόμησης πιθανότητας (Weighted Spatial Probability Model) για τον προσδιορισμό των πιθανών περιοχών υπόγειου νερού και κατ' επέκταση για τη δημιουργία των βαθμονομημένων θεματικών χαρτών (Σχήμα 6.1). Επίσης, χρησιμοποιείται το λογισμικό ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων (ENVI) και το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ArcGIS 9.3. Στοιχεία που εξετάζονται είναι: βροχόπτωση, κατείδυση, λιθολογία, πυκνότητα φωτογραμμώσεων, κλιτύες, υδρογραφικό δίκτυο, βάθος του υπόγειου νερού και ποιότητα νερού. Σε όλους αυτούς τους παράγοντες αντιστοιχίζονται συντελεστές σύμφωνα με τη σχετικότητά τους στην ύπαρξη των υπόγειων υδάτων και οι αντίστοιχοι βαθμονομημένοι χάρτες που προκύπτουν, αξιολογούν την αποτελεσματικότητα του κάθε παράγοντα. Τελικά, δημιουργείται ένας χάρτης βάσει του μοντέλου χωρικής βαθμονόμησης πιθανότητας (WSPM). Ο χάρτης αυτός αποτελείται από πέντε διαβαθμίσεις της πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού και κυμαίνεται από πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή πιθανότητα.

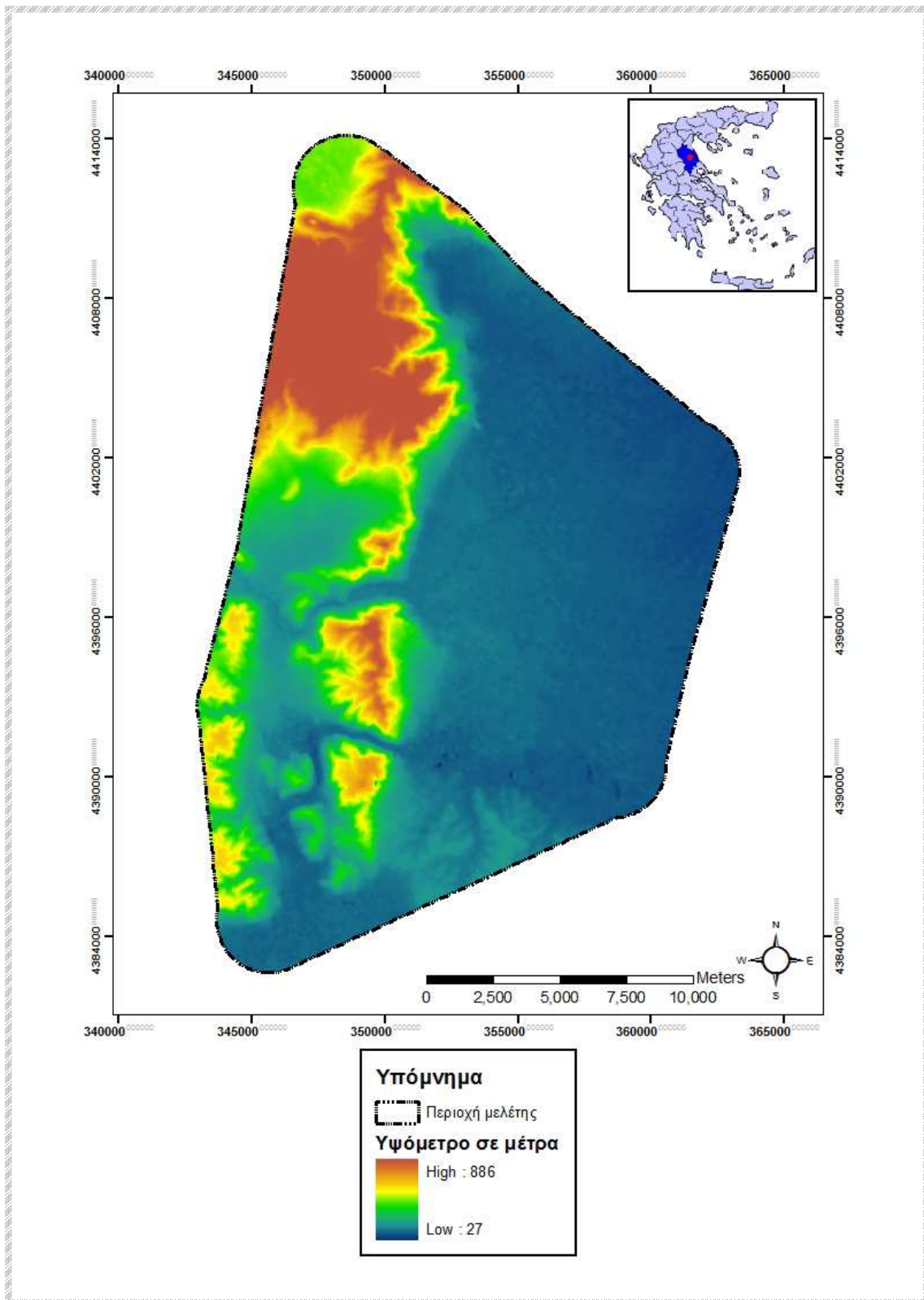


Σχήμα 6.1: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας (Elewa & Qaddah, 2010)

6.3. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM)

Τα ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου είναι η ψηφιακή αναπαράσταση της μεταβλητότητας του αναγλύφου της γήινης επιφάνειας (Αστάρας 2005). Θεωρείται διαδομένος τρόπος απεικόνισης και ανάλυσης της τοπογραφίας μιας περιοχής. Ένα DEM είναι μια αναπαράσταση μορφής καννάβου (raster) μια συνεχούς επιφάνειας, η οποία στις Γεωεπιστήμες συνήθως αναφέρεται στην επιφάνεια της Γης. Άλλα πιθανά DEM μπορεί να προκύψουν από τις τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης μιας περιοχής (ισοβαρείς καμπύλες), τα βάθη του θαλάσσιου πυθμένα (ισοβαθείς καμπύλες) κλπ. Στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιείται DEM του αναγλύφου της περιοχής, η εξαγωγή του οποίου έγινε από Aster GDEM δορυφορική εικόνα (url2).

Η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης έγινε σύμφωνα με την εντολή Buffer του λογισμικού ArcGIS, σε απόσταση 2 km από τα σημεία γεωτρήσεων και στη συνέχεια κατόπιν ενοποίησής τους, χρησιμοποιήθηκε το συγκεκριμένο κομμάτι του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου για την περαιτέρω επεξεργασία του (Σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) περιοχής μελέτης.

6.4. Μοντέλο χωρικής βαθμονόμησης πιθανότητας (WSPM)

Στην παρούσα εργασία, οι χάρτες που αφορούν τους παράγοντες που μελετώνται για την εξαγωγή του τελικού χάρτη προσδιορισμού της δυναμικότητας και της ποιότητας του υπόγειου νερού, κατηγοριοποιούνται βάσει της πιθανότητάς τους, που χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή έως πολύ χαμηλή. Αντιστοιχούνται βάρη και ποσοστά σύμφωνα με τη συμμετοχή του καθένα στα αποθέματα του υπόγειου νερού. Σε όλους τους χάρτες χρησιμοποιείται η ίδια ταξινόμηση, ωστόσο δε συμβάλλουν στον ίδιο βαθμό.

Για παράδειγμα, παράγοντες όπως η βροχόπτωση και η κατείσδυση είναι πιο αποτελεσματικές σε σχέση με την πυκνότητα των φωτογραμμώσεων ή την ποιότητα του νερού. Επίσης, κάποιοι παράγοντες λειτουργούν αρνητικά και κάποιοι άλλοι θετικά στην ύπαρξη υπόγειου νερού.

Τα βάρη και τα ποσοστά διαμορφώνονται από την εμπειρία και τη γνώση επιστημόνων σε παρόμοιες εργασίες που έχουν σχέση με τον καθορισμό των αποθεμάτων υπόγειου νερού (Elewa & Qaddah 2010).

6.5. Βροχόπτωση

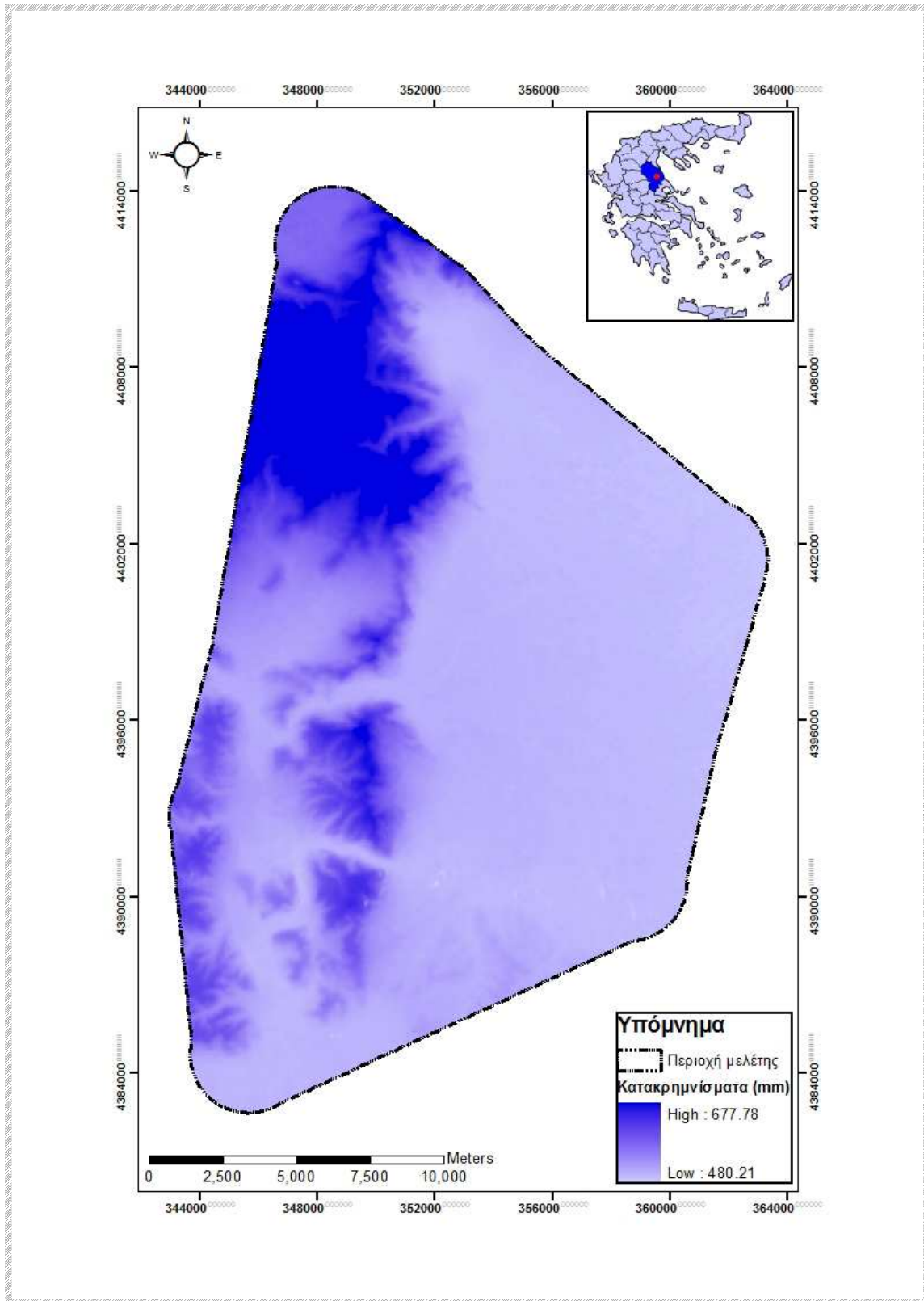
Τα κατακρημνίσματα είναι το σύνολο του μετεωρικού νερού που φτάνει στην επιφάνεια της Γης με οποιαδήποτε μορφή (βροχή, χιόνι, χαλάζι, δροσιά κλπ.). Ποσοτικά υπερέχει συντριπτικά η βροχή, σε ένα ποσοστό πάνω από 80% στο σύνολο. Η μέτρηση των κατακρημνισμάτων γίνεται με ειδικά όργανα, τα βροχόμετρα μέσω των οποίων υπολογίζονται στοιχεία όπως το μέσο μηνιαίο και ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων.

Μια λεκάνη δε δέχεται το ίδιο ύψος κατακρημνισμάτων σε όλα τα σημεία της. Τα στοιχεία που επιδρούν στην κατανομή τους μέσα στον χώρο είναι το υψόμετρο, η θέση και η απόσταση του σταθμού από τις κύριες πηγές των υδρατμών και το ανάγλυφο της περιοχής (Σούλιος 1986).

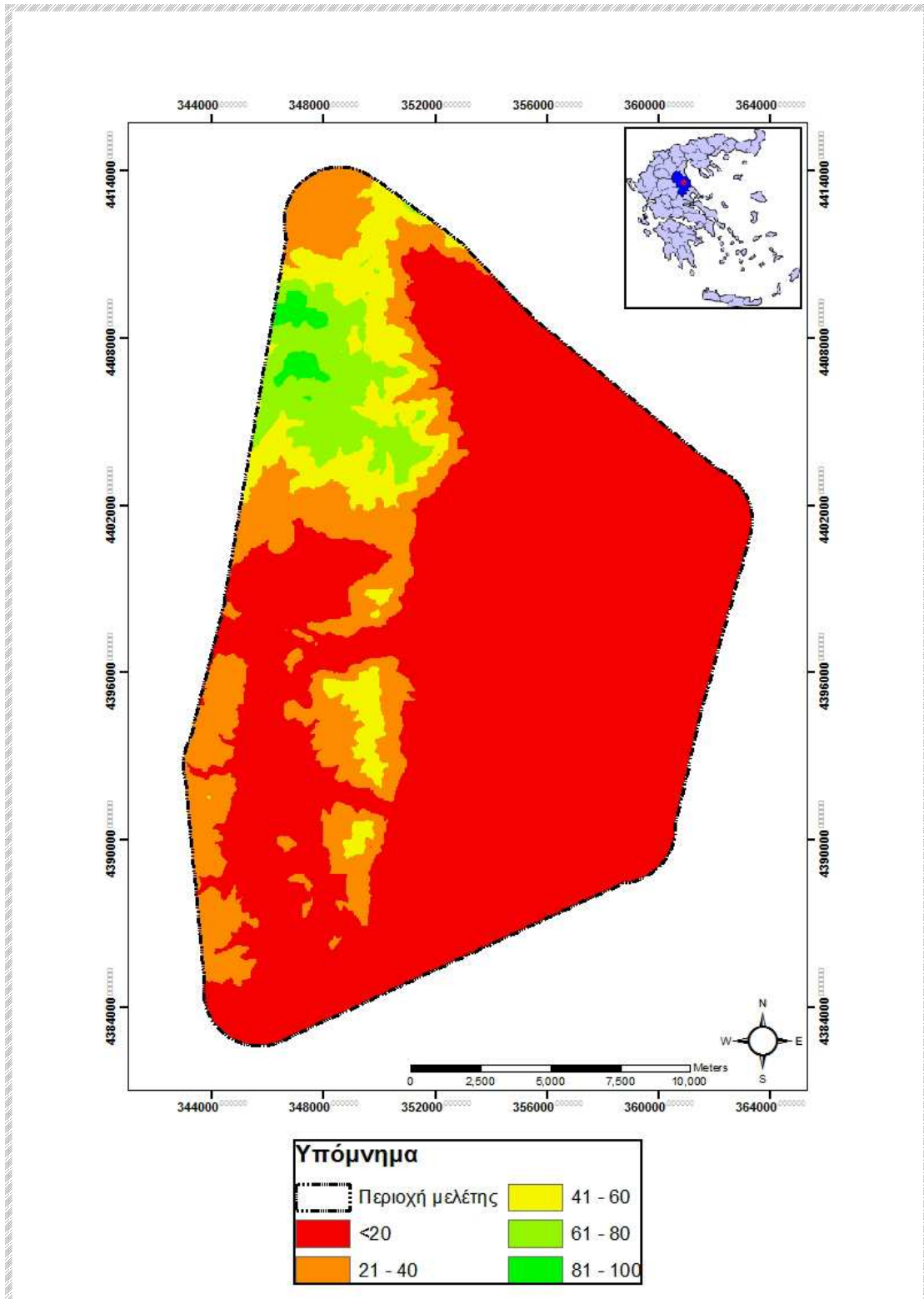
Στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τέσσερις βροχομετρικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Λάρισας, όπως αυτά παρουσιάζονται στους πίνακες 3.5 – 3.7. Με βάση τα στοιχεία αυτά διαπιστώθηκε ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, ενδεικτικά για τον σταθμό της Λάρισας, είναι της τάξης των 434 mm. Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο των βροχομετρικών σταθμών, τόσο αυξάνεται και το ύψος των κατακρημνισμάτων.

Σύμφωνα με μελέτη του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων στην περιοχή της Θεσσαλίας διαπιστώνεται ότι ο ρυθμός αύξησης των κατακρημνισμάτων με το υψόμετρο στη Βόρεια Θεσσαλία είναι χαμηλός (0.3161 mm/m) λόγω της χαμηλής κλίσης του αναγλύφου καθώς ανεβαίνουμε προς τον Όλυμπο. Ο συντελεστής προσδιορισμού είναι εξαιρετικά υψηλός που δείχνει εξαιρετική ποιότητα μετρήσεων για τη Βόρεια Θεσσαλία αλλά και προφανώς μεγάλη εξάρτηση του υψομέτρου με τα κατακρημνίσματα για τη Βόρεια Θεσσαλία.

Για την κατασκευή του χάρτη βροχόπτωσης έγινε αρχικά η συλλογή των στοιχείων από την αρμόδια υπηρεσία και με βάση της ετήσιες τιμές της βροχόπτωσης υπολογίστηκε η βροχοβαθμίδα της περιοχής, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8 και προέκυψε ότι το ύψος βροχής αυξάνει 22.8 mm ανά 100 m. Στη συνέχεια έγινε χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου και με την κατάλληλη επεξεργασία προέκυψε ο παρακάτω χάρτης (Σχήμα 6.3).



Σχήμα 6.3: Κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στην περιοχή έρευνας.



Σχήμα 6.4: Κατανομή της πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού με βάση τη βροχόπτωση στην περιοχή έρευνας, χωρισμένη σε κλάσεις.

Για κάθε τετραγωνικό εικονοστοιχείο (pixel) με γνωστό το υψόμετρό του, υπολογίστηκε το αντίστοιχο ύψος βροχής με βάση τη βροχοβαθμίδα. Το μέγιστο ύψος βροχής της περιοχής είναι 677.78 mm και το ελάχιστο 480.21 mm.

Στη συνέχεια, ο χάρτης κατανομής της βροχόπτωσης επεξεργάστηκε και διαμορφώθηκε ο χάρτης του σχήματος 6.4, ο οποίος είναι χωρισμένος σε πέντε κλάσεις. Ο χωρισμός των κλάσεων έγινε βάσει της εντολής Equal Intervals, του ArcMap. Οι κλάσεις αυτές συσχετίζουν την πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού σε συνάρτηση με τη βροχόπτωση της περιοχής (Πίνακας 6.1). Δηλαδή θεωρώντας το 100%, ως μέγιστη τιμή πιθανότητας βροχόπτωσης διαμορφώνονται οι παρακάτω τάξεις: <20, 21 – 40, 41 – 60, 61 – 80 και 81 – 100%. Ο χάρτης αυτός μας δείχνει ότι οι περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο και βροχόπτωση έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να λάβουν νερό σε σχέση με τις περιοχές χαμηλότερου υψομέτρου (Σχήμα 6.4).

Στον παράγοντα αυτόν έχει αντιστοιχιστεί η βαρύτητα 30% σύμφωνα με το μοντέλο χωρικής βαθμονόμησης (Elewa & Qaddah 2010). Επομένως, γίνεται σαφές ότι η βροχόπτωση θα έχει το μεγαλύτερο ποσοστό στην εξαγωγή του τελικού χάρτη.

Πίνακας 6.1: Τιμές βροχόπτωσης, σε αντιστοιχία με τις κλάσεις.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ
<20	480.2099915 - 519.723999
21 – 40	519.7239991 - 559.2380066
41 – 60	559.2380067 - 598.7520142
61 – 80	598.7520143 - 638.2660217
81 – 100	638.2660218 - 677.7800293

6.6. Κατείσδυση

Το επιφανειακό νερό που προέρχεται από τη βροχόπτωση αντιπροσωπεύει μία από τις σημαντικότερες πηγές για την τροφοδοσία και επαναπλήρωση των υπόγειων υδάτων. Ως κατείσδυση ορίζουμε το μέρος των κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους, φτάνει στους υπόγειους υδροφορείς και προστίθεται στο υπόγειο νερό, μετέχοντας στις κινήσεις του τελευταίου (Σούλιος 1986). Η κατείσδυση αποτελεί τη σημαντικότερη διεργασία για τον καθορισμό της υδροοικονομίας μιας περιοχής γιατί συμβάλλει στην ανανέωση των αποθεμάτων των υπόγειων υδροφορέων. Η ικανότητα κατείσδυσης εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους, τη λιθολογία, την κλίση και τον τύπο του εδάφους, τη βλάστηση, την ένταση και την κατανομή των βροχοπτώσεων κ.λπ. Μέτρο της κατείσδυσης είναι ο συντελεστής κατείσδυσης, ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του νερού που κατεisdύει σε σχέση με την ολική βροχόπτωση.

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι συντελεστές κατείσδυσης για κάθε σχηματισμό (με κάποιες τροποποιήσεις από Σούλιο 1986) για κάθε λιθολογικό σχηματισμό στην περιοχή μελέτης. Για την εξαγωγή του χάρτη της κατείσδυσης χρησιμοποιήθηκε η βροχόπτωση και η κατείσδυση της περιοχής μελέτης. Αρχικά, έγινε η ψηφιοποίηση της βροχόπτωσης στο ArcGIS 9.3 (Σχήμα 6.3), από την οποία είναι γνωστό το ύψος των κατακρημνισμάτων σε κάθε σημείο της περιοχής με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός αρχείου raster. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένα ακόμα αρχείο raster, το οποίο δείχνει τον συντελεστή κατείσδυσης που αφορά κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Ο χάρτης του σχήματος 6.5 προέκυψε από τον συνδυασμό αυτών των αρχείων και πιο συγκεκριμένα από τον πολλαπλασιασμό τους. Επομένως, δημιουργήθηκε ένας χάρτης που δείχνει το ποσό της κατείσδυσης ενός πετρώματος σε σχέση με την διακύμανση της βροχόπτωσης που υπάρχει σε όλη την έκταση του σχηματισμού. Δηλαδή, γνωρίζοντας τη βροχόπτωση κάθε σημείο (cell) και τον συντελεστή κατείσδυσης του σχηματισμού, εξάγεται το ποσοστό του νερού της βροχόπτωσης που κατείσδυσε.

Πίνακας 6.2: Συντελεστές κατείσδυσης για λιθολογικούς σχηματισμούς (με τροποποιήσεις από Σούλιο 1986).

Πέτρωμα/Σχηματισμός	Συντελεστής Κατείσδυσης	Πέτρωμα/Σχηματισμός	Συντελεστής Κατείσδυσης
Πρόσφατες ποτάμιες αναβαθμίδες	0.15	Παλαιοί κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα	0.15
Αλλουβιακές αποθέσεις	0.2	Ποταμολιμναίες αποθέσεις	0.1
Κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα		Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες	0.06
Παλιές αναβαθμίδες	0.15	Κροκαλοπαγή	0.2
Ποταμοχερσαίοι σχηματισμοί	0.2	Μάρμαρα	0.3
Ελουβιακός μανδύας	0.2	Σχιστόλιθοι	0.04
Αμφιβολιτικοί – μαρμαρυγικοί γνεύσιοι	0.07		

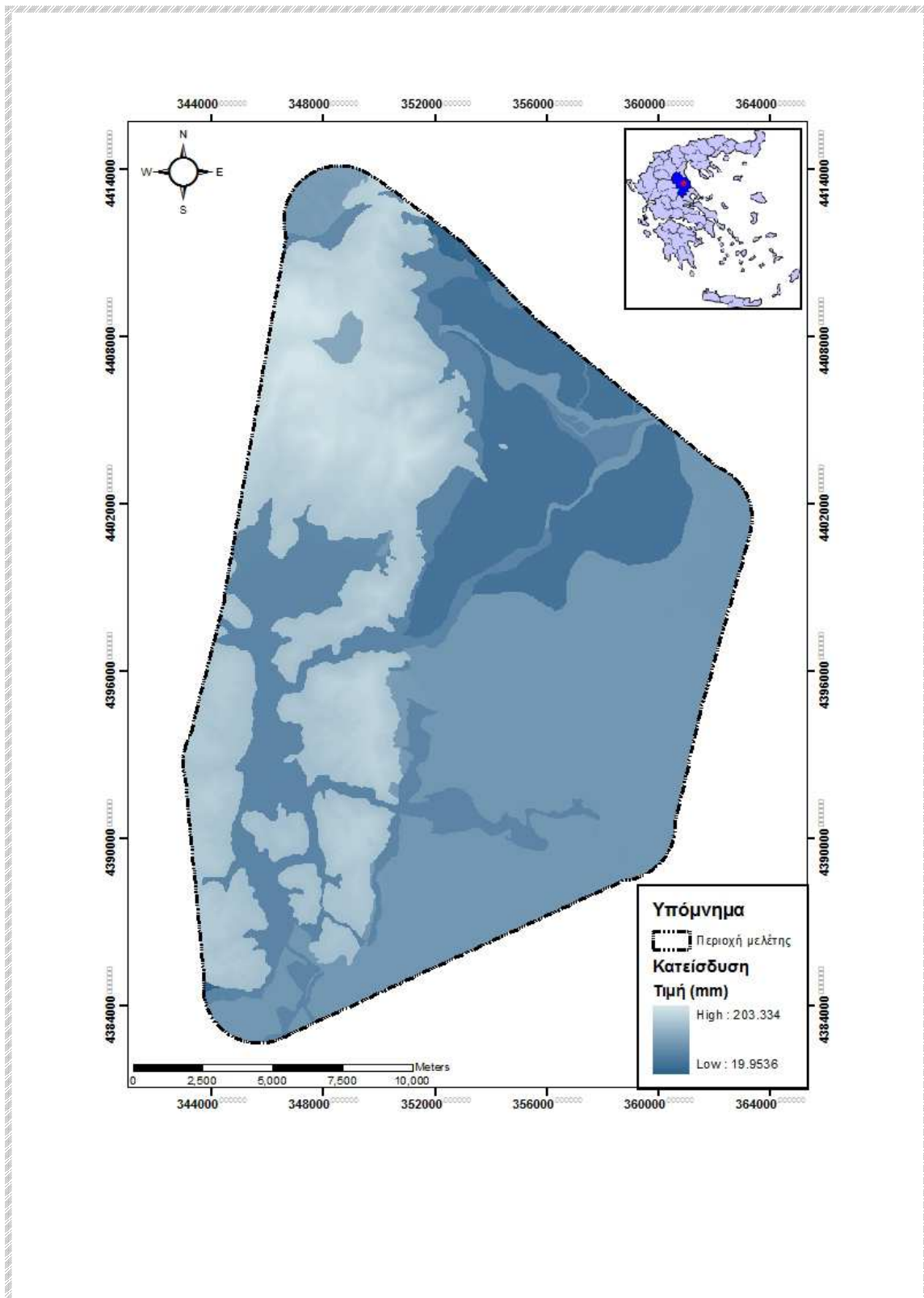
Παρατηρείται ότι υψηλότερη τιμή συναντάται στα μάρμαρα, με τιμή 203 mm και η χαμηλότερη στους αμφιβολιτικούς μαρμαρυγικούς γνεύσιους με τιμή 19 mm. Στο σχήμα 6.5 παρουσιάζεται η κατανομή της κατείσδυσης, όπως προέκυψε από τον πολλαπλασιασμό του συντελεστή κατείσδυσης του κάθε πετρώματος επί τη βροχόπτωση σε κάθε σημείο (Καζάκης 2013).

Στη συνέχεια, έγινε ο χωρισμός της περιοχής μελέτης σε κλάσεις, με την εντολή Equal Intervals του ArcMap. Κατά τον χωρισμό αυτό έγινε η μετατροπή της κατανομής της κατείσδυσης σε ποσοστιαία αναλογία. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι στις περιοχές πράσινου χρώματος (μάρμαρα) το ποσοστό της κατείσδυσης είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τις περιοχές κόκκινου χρώματος (αμφιβολιτικοί, μαρμαρυγικοί γνεύσιοι), όπου το ποσοστό κατείσδυσης έχει τις μικρότερες τιμές (Σχήμα 6.6).

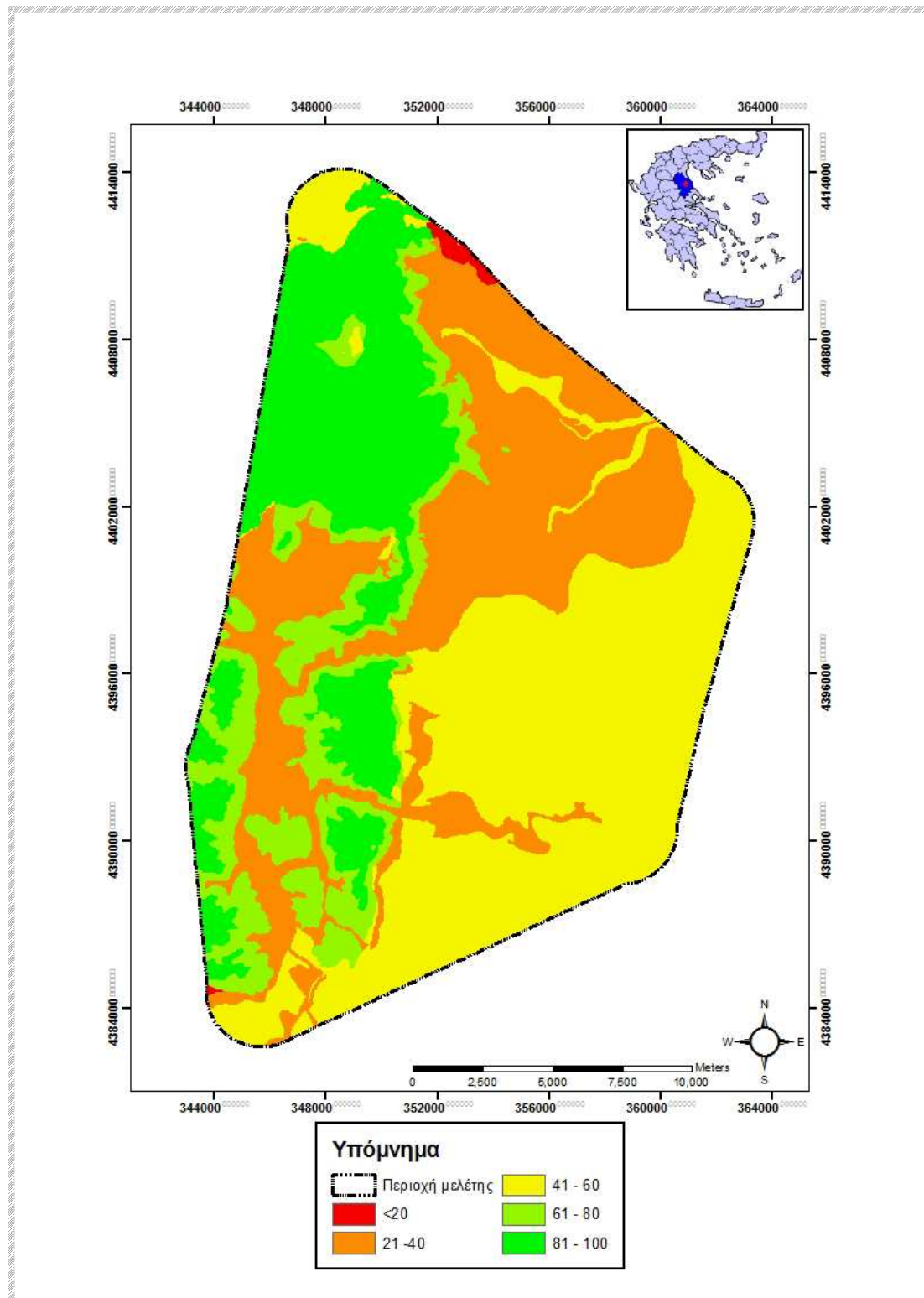
Βάσει του χωρικού μοντέλου βαθμονόμησης, στην κατείσδυση δόθηκε η βαρύτητα 20% (Elewa & Qaddah 2010).

Πίνακας 6.3: Τιμές κατείδυσης σε σχέση με τη βροχόπτωση στο κάθε πέτρωμα, σε αντιστοιχία με τις κλάσεις.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ
<20	19.95359993 - 56.62968292
21 – 40	56.62968293 - 93.30576591
41 – 60	93.30576592 - 129.9818489
61 – 80	129.981849 - 166.6579319
81 – 100	166.657932 - 203.3340149



Σχήμα 6.5: Κατανομή της κατείσδυσης σε mm.



Σχήμα 6.6: Κατανομή της πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού με βάση την κατείδσυνση των λιθολογικών σχηματισμών, χωρισμένη σε κλάσεις.

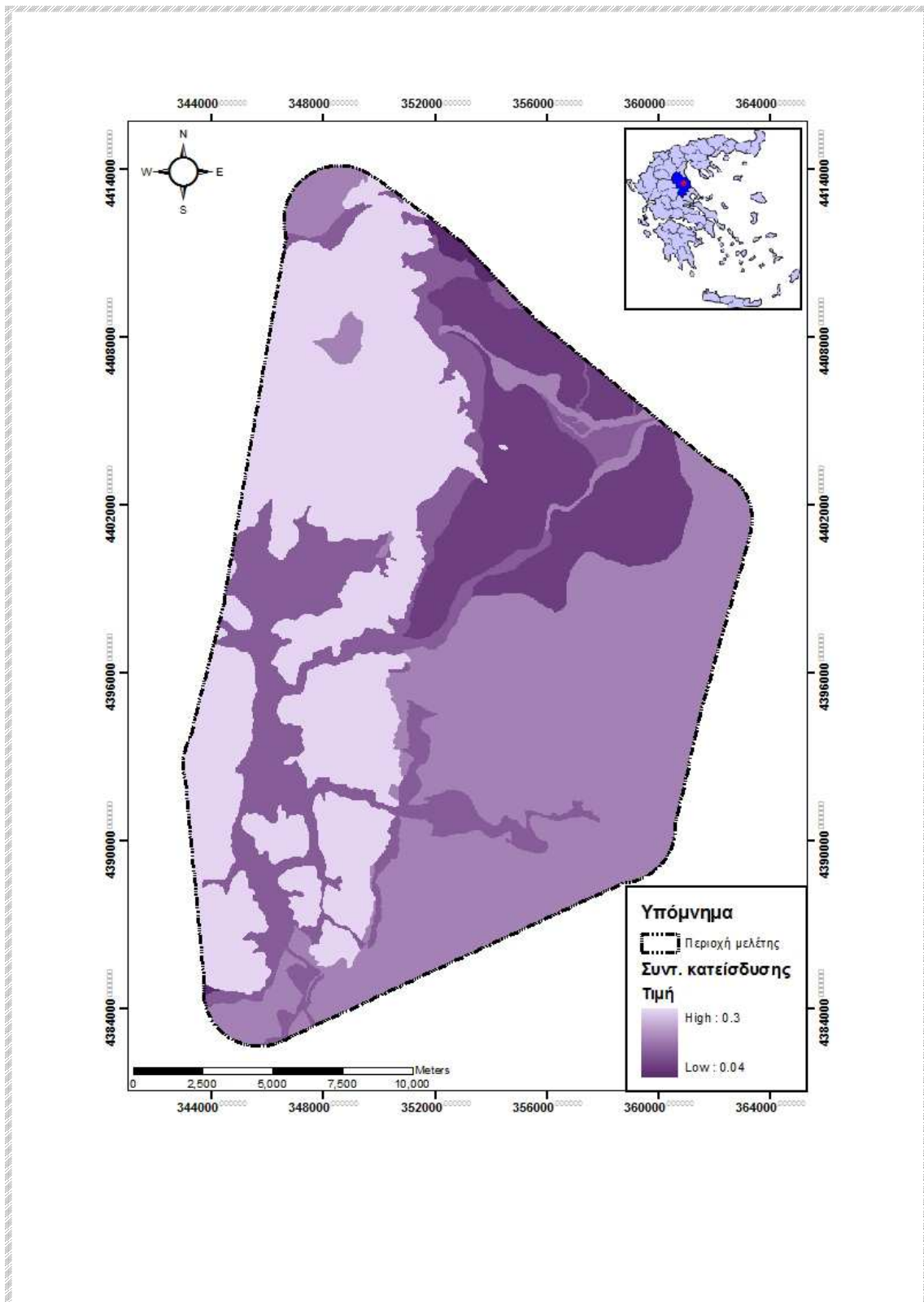
6.7. Λιθολογία

Η γνώση της λιθολογίας μιας περιοχής είναι απαραίτητη για την κατανόηση της φύσης και της κατανομής του νερού. Οι σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής μελέτης παρουσιάζουν διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά, καθώς χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ιδιότητες. Οι αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης αποτελούν έναν εκτεταμένο υδροφορέα, ο οποίος υδραυλικά βρίσκεται σε άμεση επικοινωνία με τους καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους που εμφανίζονται στο δυτικό περιθώριο της περιοχής. Επίσης, σημειώνεται με έμφαση η υδραυλική επικοινωνία μεταξύ του αλλουβιακού υδροφορέα και των ποταμών που τον διαβρέχουν (Panagopoulos 1995).

Ο διαχωρισμός της περιοχής γίνεται με βάση την υδροπερατότητα των σχηματισμών, που είναι η ικανότητα των πετρωμάτων να επιτρέπουν τη διείσδυση και την κυκλοφορία του νερού μέσα σε αυτά. Ενδείκνυται η χρήση του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας, βάσει του οποίου οι σχηματισμοί χωρίζονται σε υδροπερατούς – αδιαπέρατους και υπολογίζεται από δοκιμαστικές αντλήσεις. Ωστόσο, λόγω της έλλειψης διαθέσιμων δεδομένων στην περιοχή μελέτης η κατηγοριοποίηση των σχηματισμών έγινε με βάση τον συντελεστή κατείσδυσης.

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί προσδιορίστηκαν από τους γεωλογικούς χάρτες 1:50000, φύλλα Λάρισα – Γόννοι – Ελασσόνα – Φαρκαδώνα. Οι διαφορετικές λιθολογίες που αναφέρονται σε σχηματισμούς του υποβάθρου και σε Νεογενείς – Τεταρτογενείς αποθέσεις, εντοπίστηκαν και ψηφιοποιήθηκαν στο ArcGIS 9.3, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός raster αρχείου. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ακόμα ένα raster αρχείο, το οποίο δείχνει τον συντελεστή κατείσδυσης κάθε πετρώματος (Σχήμα 6.7), όπως υπολογίστηκε βάσει βιβλιογραφικών συντελεστών για κάθε σχηματισμό (με τροποποιήσεις από Σούλιο).

Ο συντελεστής κατείσδυσης κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.04 και 0.3. Η υψηλότερη τιμή συναντάται στα μάρμαρα, με τιμή 0.3, τα οποία έχουν δευτερογενώς σχηματισθέντες ρωγμές ή έγκοιλα, έχουν δηλαδή ρωγμώδες νερό. Επομένως, θα έχουν και μεγάλο συντελεστή κατείσδυσης. Η χαμηλότερη τιμή συναντάται στους σχιστόλιθους, με τιμή 0.07.



Σχήμα 6.7: Συντελεστής κατείσδυσης λιθολογικών σχηματισμών.

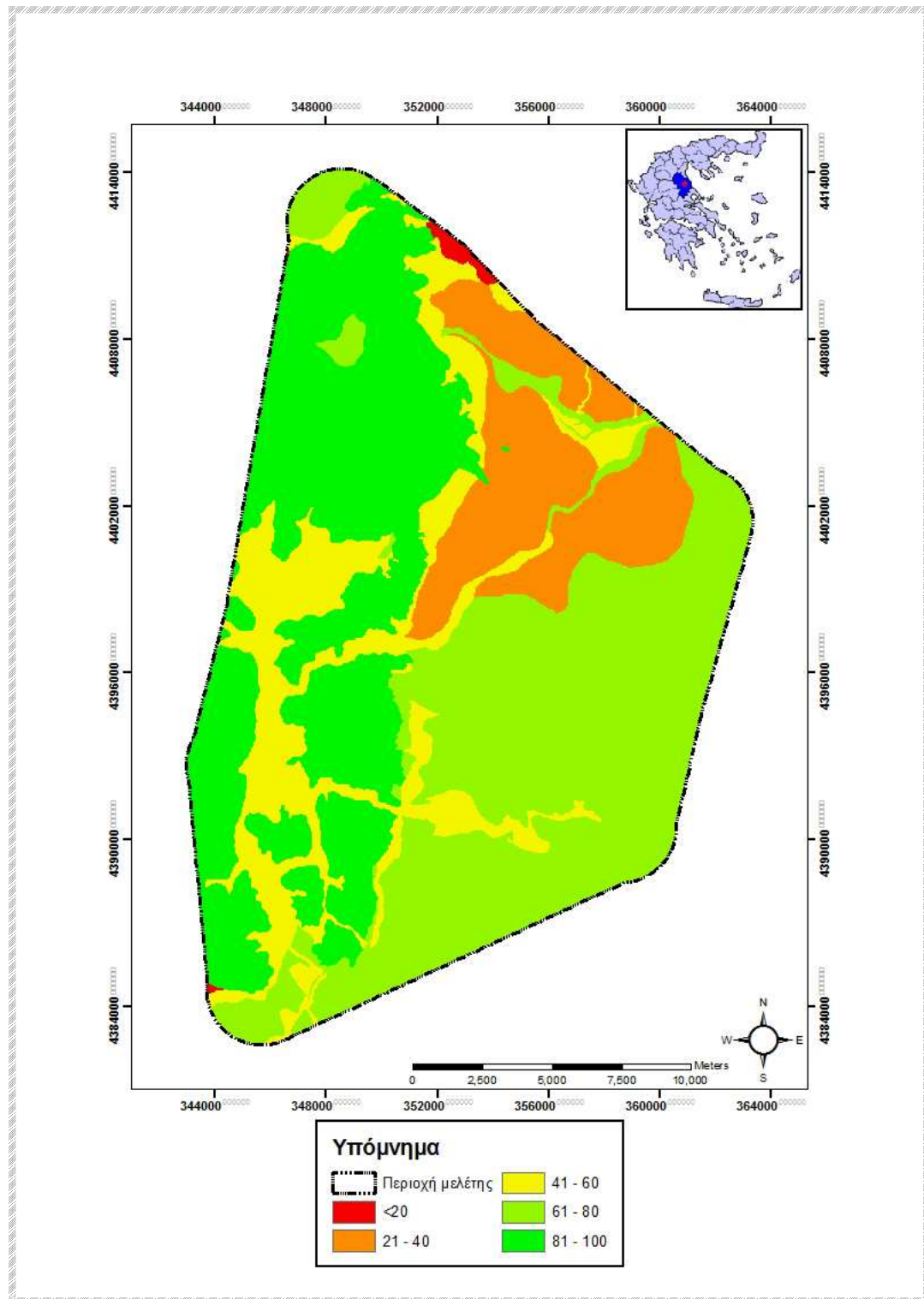
Οι σχιστόλιθοι είναι αδιαπέρατοι σχηματισμοί και αποτελούν φραγμό στην κατείσδυση των υπόγειων υδάτων, με αποτέλεσμα να έχουν μικρό συντελεστή κατείσδυσης. Αρκετά υψηλή τιμή έχουν και οι αλλουβιακές αποθέσεις, που είναι σχηματισμοί με μέτρια έως υψηλή περατότητα και κατ' επέκταση με σχετικά μεγάλο συντελεστή κατείσδυσης. Στον πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι συντελεστές κατείσδυσης για κάθε σχηματισμό (με κάποιες τροποποιήσεις από Σούλιο 1986).

Μετά τον υπολογισμό των συντελεστών κατείσδυσης για τους λιθολογικούς σχηματισμούς της περιοχής, προέκυψε ο χάρτης του σχήματος 6.8 που είναι χωρισμένος σε κλάσεις (Πίνακας 6.4), οι οποίες δείχνουν τον συσχετισμό της πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού με την κατείσδυση που υπάρχει σε κάθε σχηματισμό. Ο χωρισμός των κλάσεων έγινε με την εντολή Equal Intervals. Επομένως, παρατηρείται ότι στα μάρμαρα και στις αλλουβιακές αποθέσεις, όπου ο συντελεστής κατείσδυσης έχει μεγαλύτερη τιμή, η πιθανότητα αυτή είναι μεγαλύτερη και παρουσιάζεται με πράσινο χρώμα. Αντίθετα, στους σχιστόλιθους η πιθανότητα ύπαρξης νερού είναι πολύ μικρή λόγω του μικρού συντελεστή κατείσδυσης (κόκκινο χρώμα). Στα υπόλοιπα πετρώματα, η πιθανότητα αυτή παρουσιάζει μέτριες τιμές, με κάποιες να τείνουν προς το μέγιστο και άλλες προς το ελάχιστο (κίτρινο και πορτοκαλί χρώμα).

Στη λιθολογία δόθηκε βαρύτητα 20%, καθιστώντας την έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στη διαμόρφωση του τελικού χάρτη (Elewa & Qaddah 2010).

Πίνακας 6.4: Τιμές συντελεστή κατείσδυσης, σε αντιστοιχία με τις κλάσεις.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ
<20	0.039999999 - 0.092000002
21 – 40	0.092000002 - 0.144000004
41 – 60	0.144000004 - 0.196000007
61 – 80	0.196000007 - 0.248000009
81 – 100	0.248000009 - 0.300000012



Σχήμα 6.8: Κατανομή της πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού με βάση τη λιθολογία των σχηματισμών, σε συνάρτηση με τους συντελεστές κατεΐσδυσης, χωρισμένη σε κλάσεις.

6.8. Φωτογραμμώσεις

Φωτογραμμώσεις θεωρούνται τα γραμμικά χαρακτηριστικά που αναπτύσσονται λόγω της τεκτονικής δραστηριότητας και αντικατοπτρίζουν μια επιφανειακή έκφραση των υπόγειων διαρρήξεων (Pradhan et al. 2006, Pradhan & Youssef 2010). Η ανάλυση των φωτογραμμώσεων εφαρμόζεται εκτενώς για την ανάλυση της γεωλογικής κατάστασης από τη στιγμή που οι γεωλογικές εικόνες άρχισαν να χρησιμοποιούνται κατά τη δεκαετία του 1930. Αναφέρονται γενικά στην ανάλυση της Τηλεπισκόπησης διαρρήξεων ή διαφόρων δομών. Οι φωτογραμμώσεις που προκύπτουν από δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά, αλλά τα επί τόπου αποτελέσματα μπορεί να είναι διαφορετικά. Για τον λόγο αυτό δε μπορούν να καθοριστούν πλήρως (Yeh et al. 2009).

Σύμφωνα με τους O' Leary et al. (1976) οι φωτογραμμώσεις ορίζονται ως οι απλές και σύνθετες γραμμικές ιδιότητες των γεωλογικών δομών, όπως ρήγματα, διαρρήξεις και διάφορες επιφάνειες ασυνέχειας που είναι διατεταγμένες σε ευθείες ή ελαφρά καμπύλες γραμμές, όπως ανιχνεύονται από την Τηλεπισκόπηση. Πολλές μη γεωλογικές δομές, όπως δρόμοι, κανάλια μπορεί να προκαλέσουν σύγχυση στην ανάλυσή τους. Συνεπώς, γίνεται χρήση των γεωλογικών χαρτών και διεξάγεται επί τόπου έρευνα για την εξάλειψη των πιθανών σφαλμάτων. Οι φωτογραμμώσεις χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την κίνηση των υπόγειων υδάτων. Επομένως, η αναγνώρισή τους είναι πολύ σημαντική στην υδρογεωλογία.

Οι φωτογραμμώσεις μπορούν να προσδιοριστούν οπτικά από έναν ερμηνευτή, ή αυτόματα χρησιμοποιώντας κατάλληλα σχεδιασμένους αλγόριθμους, οι οποίοι εκμεταλλεύονται πλήρως την ψηφιακή φύση της εικόνας. Γενικότερα, η διάκριση των υδρογεωλογικά σημαντικών φωτογραμμώσεων από τις πολυάριθμες «ψεύτικες» φωτογραμμώσεις εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γνώση και την εμπειρία του ερμηνευτή (Legg 1989).

Για την εξαγωγή των φωτογραμμώσεων χρησιμοποιήθηκε δορυφορική εικόνα Landsat 7 (Σχήμα 6.9). Αρχικά έγινε η εισαγωγή στο πρόγραμμα ENVI έτσι ώστε να ερευνηθεί ποιος συνδυασμός ζωνών RGB είναι κατάλληλος ώστε να γίνει ο εντοπισμός

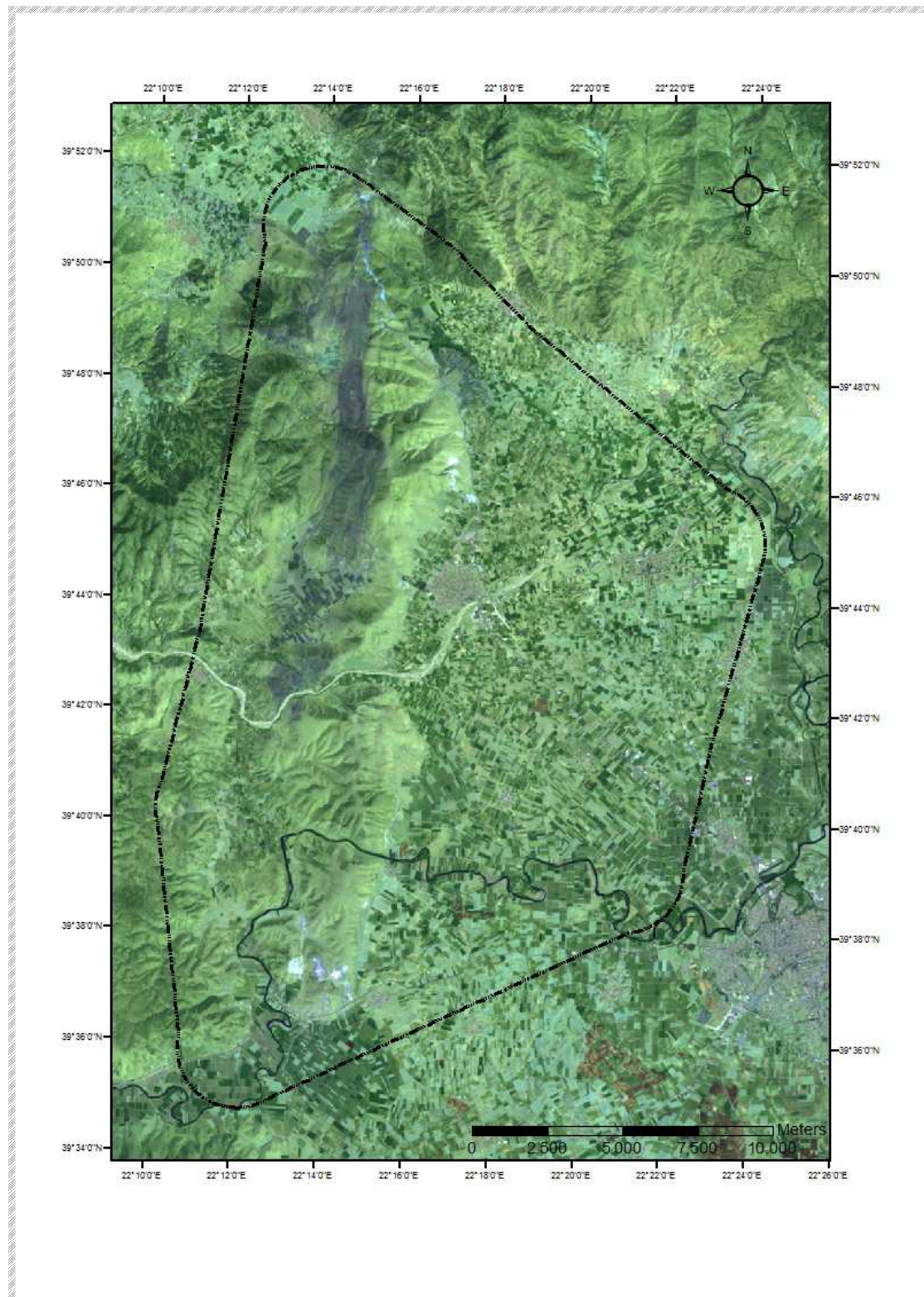
τους. Διαπιστώθηκε, λοιπόν, ο συνδυασμός 7:5:3 RGB ήταν ο καταλληλότερος. Στη συνέχεια, έγινε η ψηφιοποίησή τους στο ArcGIS 9.3 και διαμορφώθηκε ο χάρτης του σχήματος 6.10, όπου παρουσιάζονται οι φωτογραμμώσεις και τα ρήγματα που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση των γεωλογικών χαρτών.

Μετά την ψηφιοποίηση υπολογίστηκε η πυκνότητα τους για κάθε τετραγωνικό εικονοστοιχείο (pixel) στο ArcGIS 9.3 (Σχήμα 6.11), χρησιμοποιώντας την εντολή ArcToolbox > Analysis Tool > Extract > Clip, όπου Input Features: fault_density_all και Clip Features: Study area. Παρατηρείται ότι στις περιοχές μαύρου χρώματος, όπου κυριαρχεί η παρουσία των μαρμάρων, η πυκνότητα αποκτά τη μέγιστη τιμή 8.37 km/km². Κατόπιν έγινε ο διαχωρισμός τους σε κλάσεις (Equal Intervals) σύμφωνα με την πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού στις περιοχές όπου υπάρχουν ρήγματα και φωτογραμμώσεις (Πίνακας 6.5). Κατά συνέπεια, προκύπτει ότι στις περιοχές κόκκινου χρώματος, όπου δεν υπάρχουν ρήγματα και φωτογραμμώσεις είναι μικρή η πιθανότητα να υπάρξει υπόγειο νερό, σε αντίθεση με τις περιοχές πράσινου χρώματος, όπου η πιθανότητα αγγίζει τα μέγιστα επίπεδα (Σχήμα 6.12).

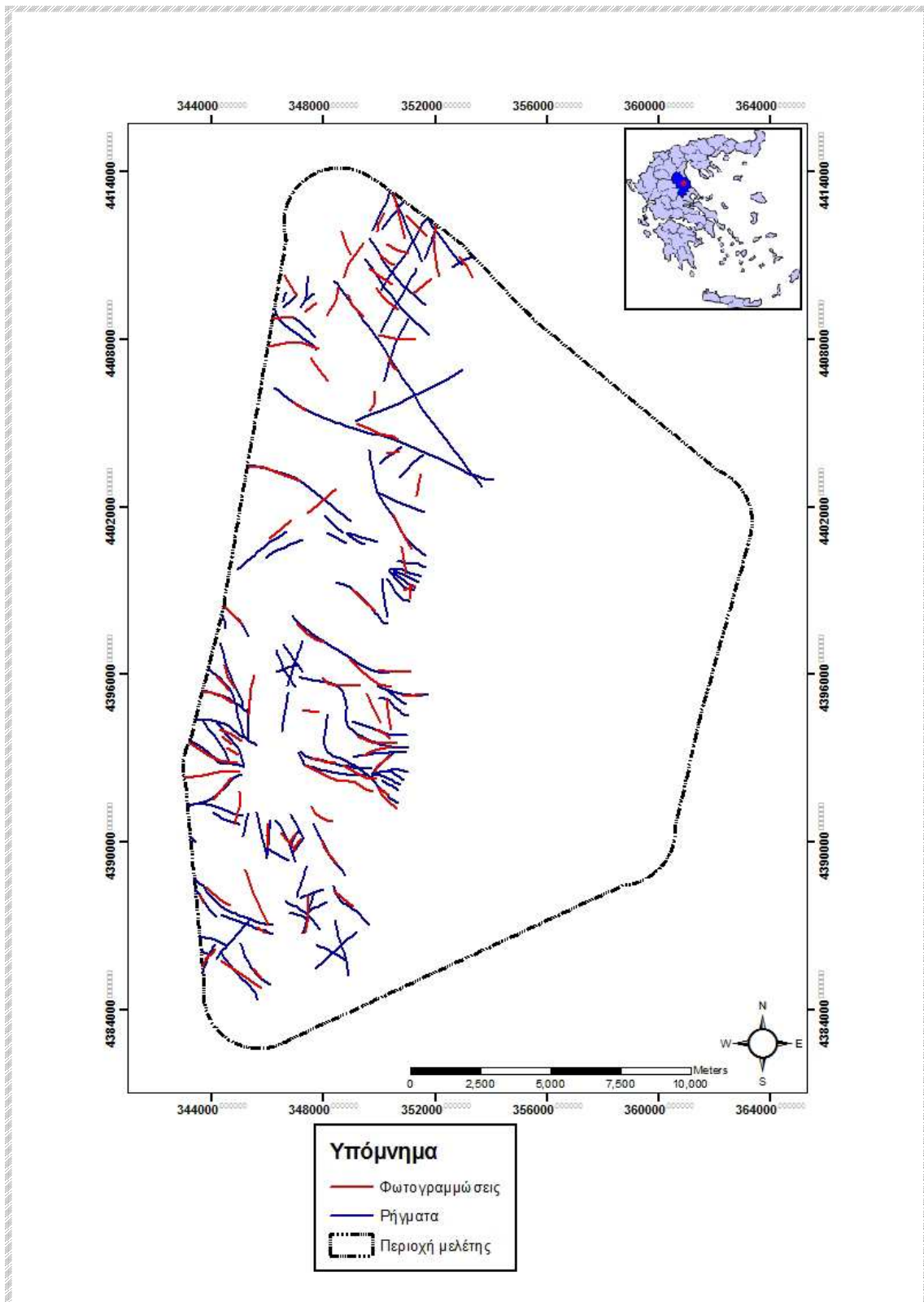
Στον παράγοντα αυτόν αντιστοιχίστηκε η βαρύτητα 10% για την εξαγωγή του τελικού χάρτη (Elewa & Qaddah 2010).

Πίνακας 6.5: Τιμές πυκνότητας ρηγμάτων και φωτογραμμώσεων, σε αντιστοιχία με τις κλάσεις.

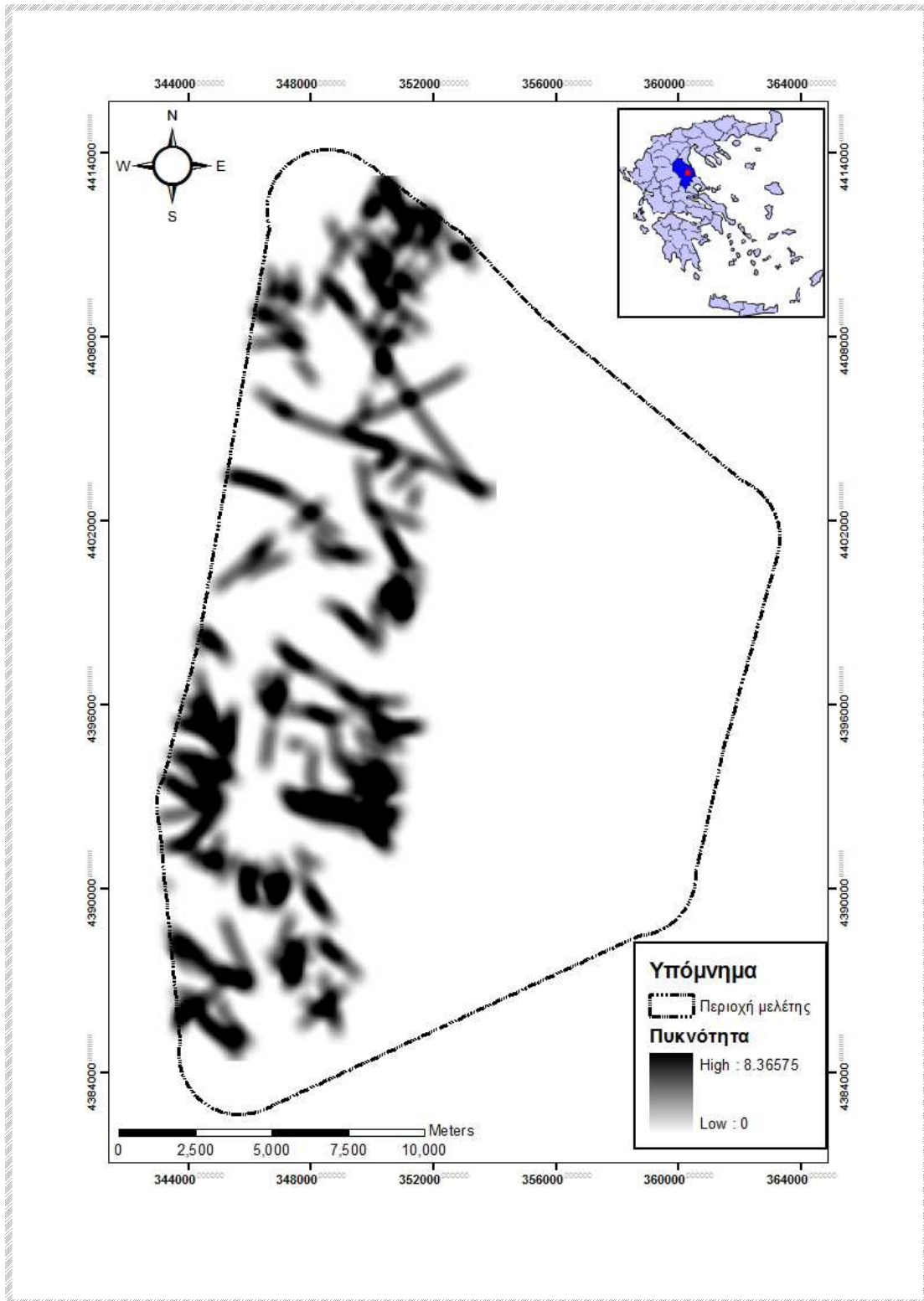
ΚΛΑΣΕΙΣ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΡΗΓΜΑΤΩΝ/ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΩΣΕΩΝ
<20	0 - 1.67315
21 – 40	1.67316 - 3.346299
41 – 60	3.3463 - 5.019449
61 – 80	5.019450 - 6.692599
81 – 100	6.6926 - 8.366575



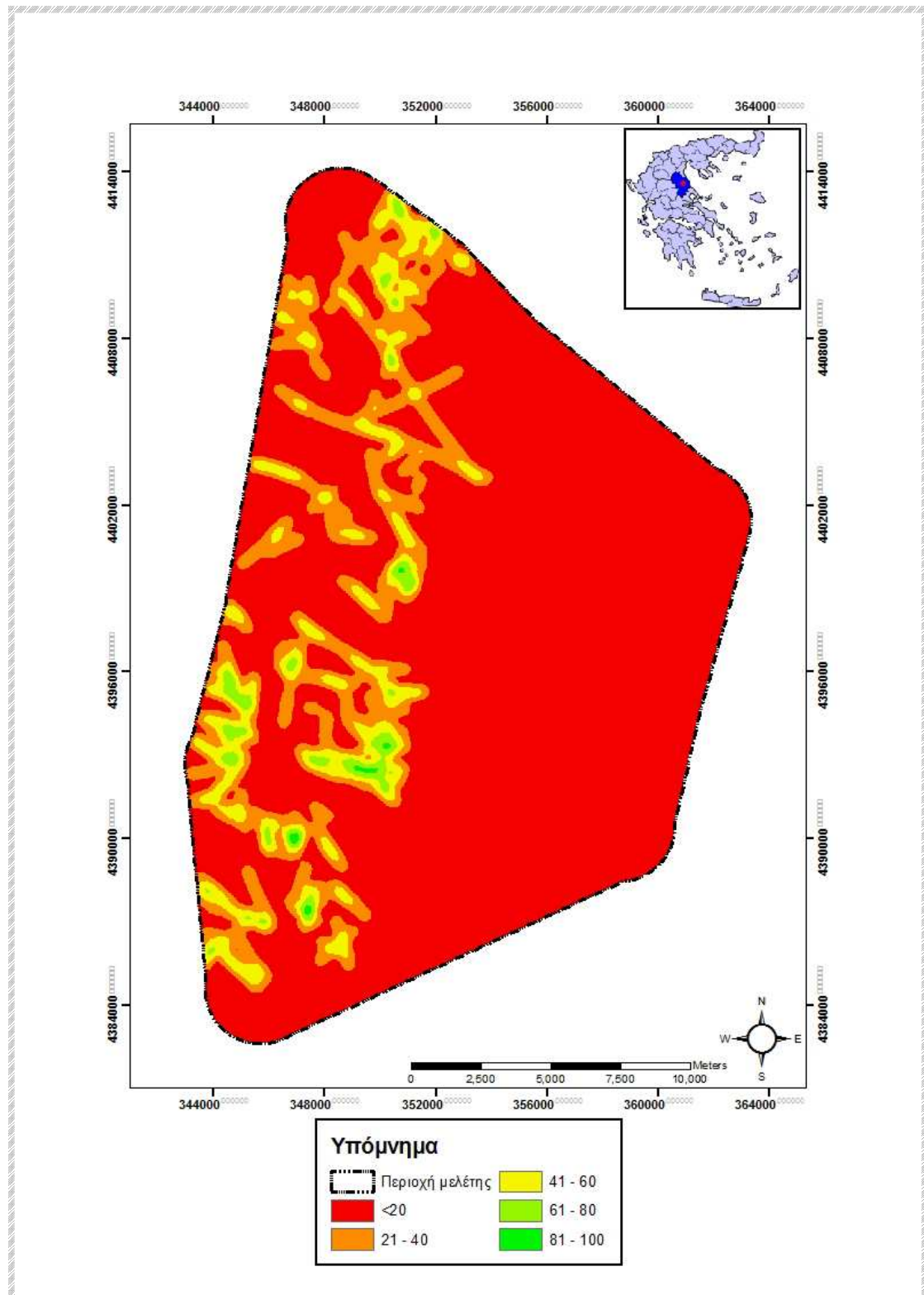
Σχήμα 6.9: Δορυφορική εικόνα Landsat 7, 7:5:3 RGB.



Σχήμα 6.10: Χάρτης φωτογραμμώσεων και ρηγμάτων στην περιοχή έρευνας.



Σχήμα 6.11: Πυκνότητα ρηγμάτων και φωτογραμμώσεις



Σχήμα 6.12: Κατανομή της πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού με βάση την πυκνότητα των φωτογραμμώσεων και των ρηγμάτων, χωρισμένη σε κλάσεις.

6.9. Κλίση αναγλύφου

Ως κλίση ορίζεται η μέγιστη μεταβολή του υψομέτρου σε κάθε σημείο μιας επιφάνειας και εκφράζεται σε ποσοστό ή μοίρες. Η κλίση επηρεάζει τον ρυθμό ροής του νερού και των φερτών υλικών που μεταφέρει, ελέγχοντας την ενέργεια του νερού κατά την κίνησή του στα κατάντη (Zevenbergen & Thorne 1987). Η ενέργεια ροής ελέγχεται από την κλίση της επιφάνειας. Η αύξηση της κλίσης μιας επιφάνειας οδηγεί σε μεγαλύτερη ενέργεια για την κίνηση του νερού. Όσο αυξάνεται η ενέργεια ενός ρέματος, τόσο μεγαλώνει και η μεταφορική του ικανότητα, με αποτέλεσμα οι απότομες κλιτύς να παρουσιάζουν ένα μεγαλύτερο δυναμικό διάβρωσης.

Η κλίση του αναγλύφου διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της κατείσδυσης σε σχέση με την απορροή. Η κατείσδυση είναι αντιστρόφως ανάλογη της απορροής, δηλαδή το νερό που διαπερνάει την επιφάνεια του εδάφους μειώνεται όσο αυξάνεται η κλίση του εδάφους. Γενικότερα, η κλίση του αναγλύφου βοηθάει στον έλεγχο της πιθανότητας αν το επιφανειακό νερό θα παραμείνει στην επιφάνεια αρκετά για να κατεισδύσει ή θα συνεχίσει τη ροή του. Συνήθως οι απότομες πλαγιές υποδεικνύουν μεγαλύτερη ταχύτητα του νερού.

Στην παρούσα μελέτη, ο χάρτης κλίσεων δημιουργήθηκε από το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM), όπως φαίνεται στο σχήμα 6.13. Σύμφωνα με την Επιτροπή Γεωμορφολογικής Έρευνας και Χαρτογράφησης (Commision on Geomorphological Survey and Mapping) της Διεθνούς Γεωγραφικής Ένωσης (IGU – International Geographical Union) (Demek 1972) η ταξινόμηση των κλίσεων αφορά έξι κύριες κατηγορίες (Πίνακας 6.6). Ως εκ τούτου, υπολογίστηκε το ποσοστό επί τοις εκατό της κλίσης των κλιτύων της περιοχής μελέτης Λάρισας – Τυρνάβου και σχεδιάστηκε ο χάρτης κλίσεων.

Ο χάρτης κλίσεων του αναγλύφου προέκυψε από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου, με το λογισμικό ArcGIS.

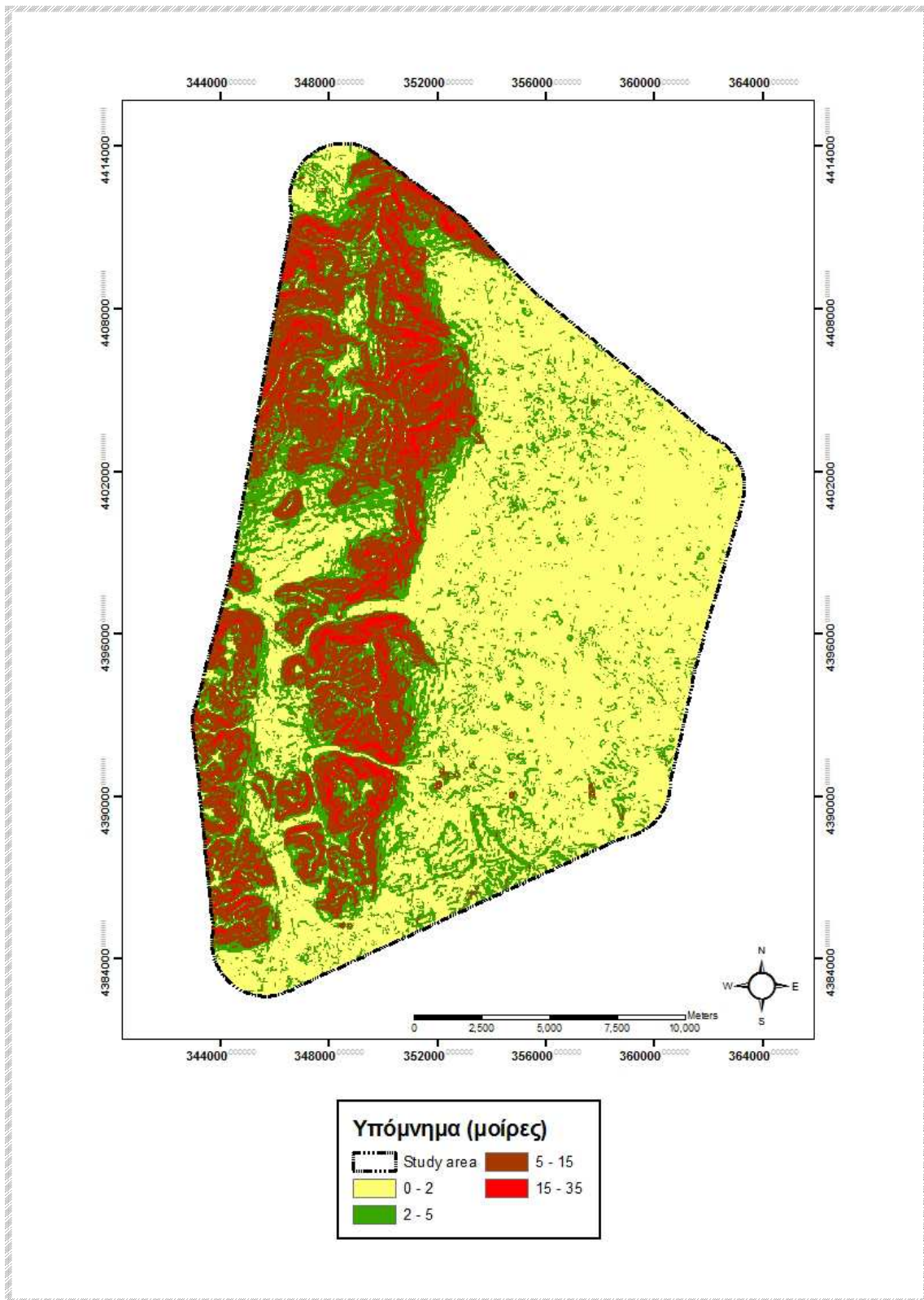
Πίνακας 6.6: Ταξινόμηση των κλίσεων του αναγλύφου (Demek 1972).

Κλίση 0 – 2° (0 – 3.5%)	Επίπεδο έως ελαφρά κεκλιμένο ανάγλυφο (πλημμυρικά πεδία, επιφάνειες επιπέδωσης, αναβαθμίδες).
Κλίση 2 – 5° (3.5 – 8.7%)	Ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (πρόποδες κοιλάδων, περιοχές τελικών μοραίων, κλιτύες θινών).
Κλίση 5 – 15° (8.7 – 26.8%)	Ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (κλιτύες κοιλάδων, τεκτονικές αναβαθμίδες).
Κλίση 15 – 35° (26.8 – 70%)	Απότομο έως εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο (κλιτύες κοιλάδων μεσαίων όρεων).
Κλίση 35 – 55° (70 – 135%)	Απόκρημνο ανάγλυφο (απότομες κλιτύες κοιλάδων υψηλών όρεων, κλιτύες σχηματισμών hogbacks, κλιτύες ασβεστολιθικών φαραγγίων).
Κλίση >55° (>135%)	Κάθετο ανάγλυφο (κάθετες κλιτύες σε περιοχές ψαμμιτικών και ασβεστολιθικών όρεων).

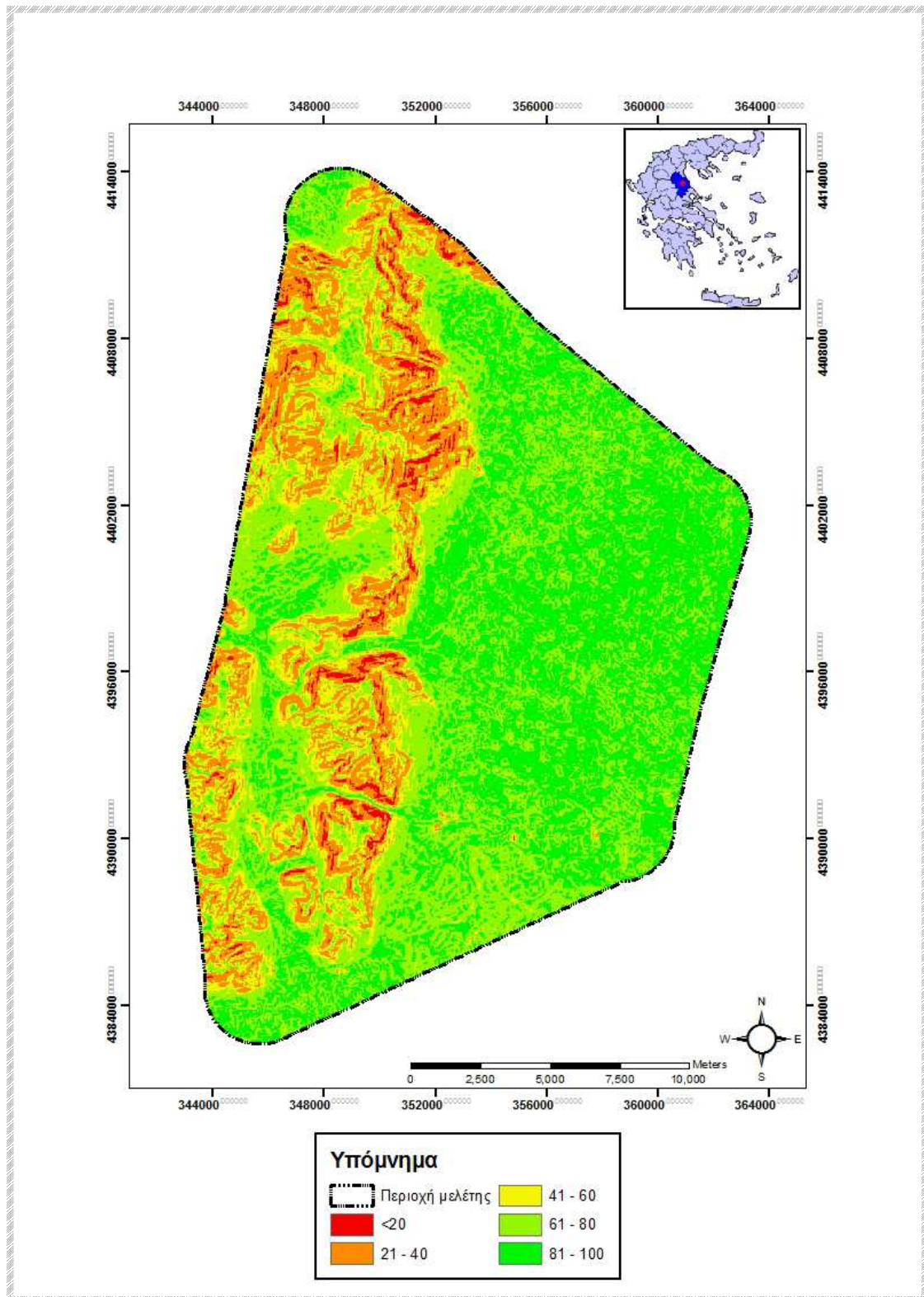
Η κλίση του αναγλύφου είναι σημαντικός παράγοντας της αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων, επομένως πραγματοποιήθηκε μελέτη στην περιοχή μεταξύ μιας σχετικά ορεινής περιοχής και μιας επίπεδης. Η κλίση των κλιτύων επηρεάζει την ανάπτυξη του εδάφους. Στις ορεινές περιοχές οι αλλουβιακές αποθέσεις είναι σπάνιες, εξαιτίας της επικλινούς επιφάνειας που επιταχύνει τις διεργασίες διάβρωσης, ενώ σε επίπεδες εκτάσεις τα πυκνά λεπτόκοκκα ιζήματα μπορεί να επιβραδύνουν σε ένα ποσοστό την επαναφόρτιση.

Στη συνέχεια έγινε ο διαχωρισμός του χάρτη στις κλάσεις που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και προέκυψε ο χάρτης του σχήματος 6.14. Ο χωρισμός των κλάσεων έγινε βάσει της ταξινόμησης κατά Demek. Προκύπτει, λοιπόν, ότι στις περιοχές με εντονότερο ανάγλυφο λόγω της μεγαλύτερης επιφανειακής απορροής μειώνεται η πιθανότητα εμπλουτισμού των υπόγειων υδάτων, σε αντίθεση με τις περιοχές ηπίου αναγλύφου όπου η πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού αυξάνεται λόγω της μεγαλύτερης κατείσδυσης.

Σύμφωνα με το μοντέλο χωρικής βαθμονόμησης, στην κλίση αναγλύφου δόθηκε η βαρύτητα 5% (Elewa & Qaddah 2010).



Σχήμα 6.13: Χάρτης κλίσεων αναγλύφου κατά Demek.



Σχήμα 6.14: Κατανομή της πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού με βάση την κλίση του αναγλύφου, χωρισμένη σε κλάσεις.

6.10. Υδρογραφικό δίκτυο

Το τρεχούμενο νερό πάνω στην επιφάνεια της Γης αποτελεί τον σπουδαιότερο παράγοντα διαμόρφωσης του επιφανειακού αναγλύφου. Όταν οργανώνεται σε μια επιμήκη, υδάτινη μάζα μέσα σε ρυάκια, χειμάρρους και ποταμιά δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για διάβρωση, μεταφορά και απόθεση φερτών υλικών που αποσπώνται από τα μητρικά πετρώματα. Η δράση αυτή του νερού αποτελεί την κύρια αιτία για τη δημιουργία των λεκανών απορροής και των κοιλάδων που σαν μορφολογικό σύνολο διαμορφώνουν στη βάση τους τους δρόμους αποστράγγισης του νερού, δηλαδή το υδρογραφικό δίκτυο (Βουβαλίδης 2006).

Η μελέτη του υδρογραφικού δικτύου εστιάζεται στις ιδιότητές του και στους πιθανούς τρόπους ανάπτυξής του. Για να γίνει η ποσοτική ανάλυση ενός υδρογραφικού δικτύου πρέπει να γίνει ο καθορισμός της σχέσης μεταξύ των κλάδων του. Η ύπαρξη μεγάλων κεντρικών κλάδων, μικρότερων δεύτερης τάξης και ακόμη μικρότερων πρώτης τάξης οδήγησε τους επιστήμονες στην πρόταση για ποσοτική έκφραση της ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου με τη μορφή αρίθμησης των κλάδων του.

Το ποσοστό των επιφανειακών υδάτων που επαναφορτίζουν τους υπόγειους υδροφορείς εξαρτάται επίσης από τον χαρακτηρισμό των υδρογραφικών δικτύων. Συνεπώς, η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου μελετάται συχνά σε τέτοιες έρευνες και ενσωματώνεται πολλές φορές στις φωτογραμμώσεις, καθώς μαζί ελέγχουν τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου σε ορισμένα σημεία της λεκάνης απορροής και υποδεικνύουν πιθανές ζώνες υπόγειου νερού.

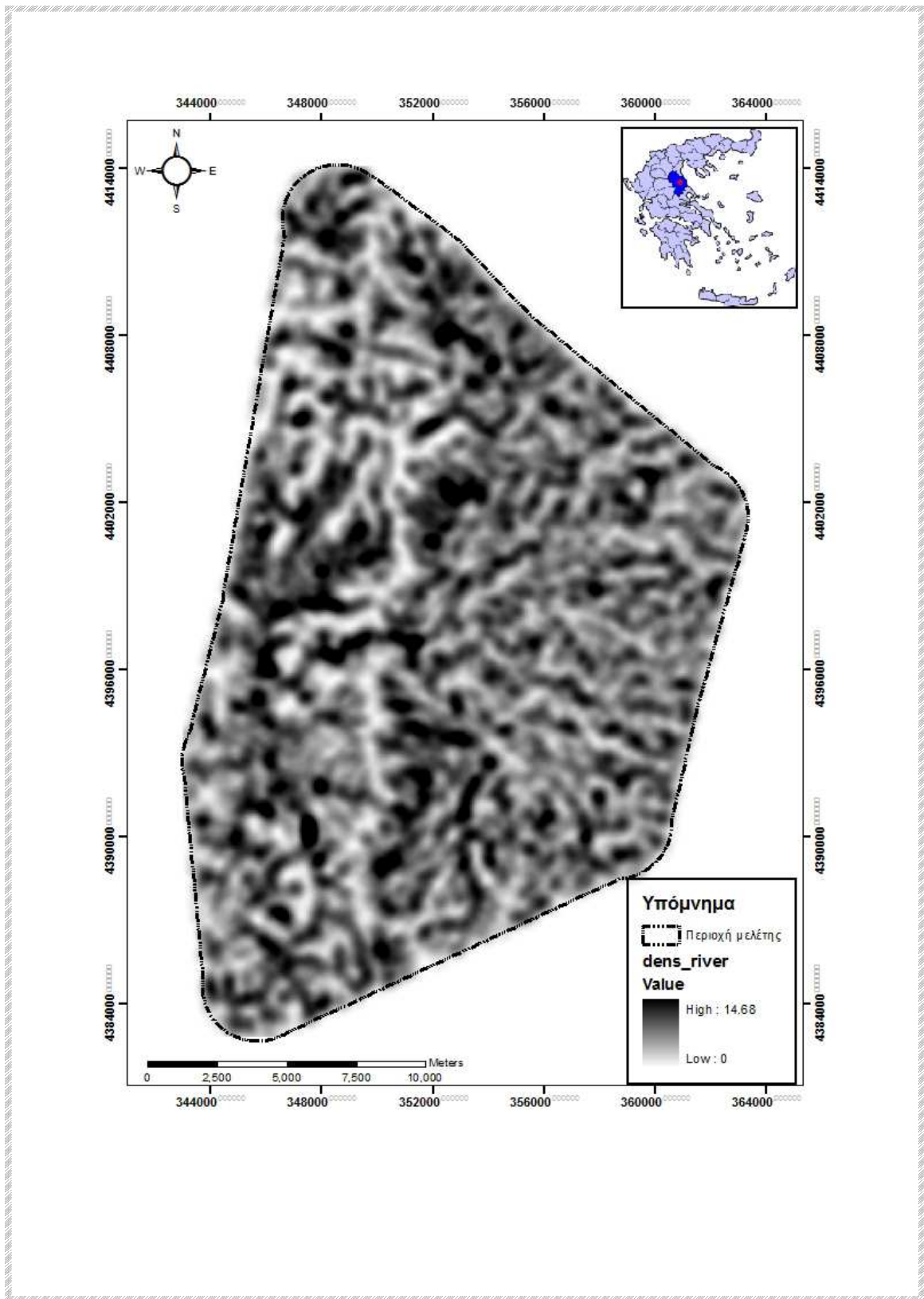
Σύμφωνα με τους Tucker και Bras (1998), η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου που ορίζεται ως το μοναδιαίο μήκος ενός κλάδου ανά μονάδα επιφάνειας, μπορεί να διαφέρει μεταξύ περιοχών λόγω των κλιματολογικών συστημάτων, των φυσικών χαρακτηριστικών των τοπίων και των επιπτώσεων χρήσεων γης. Σύμφωνα με την κοινή γεωμορφολογική έννοια, όσο πιο πυκνό είναι το υδρογραφικό δίκτυο, τόσο μικρότερος είναι ο ρυθμός της επαναφόρτισης και αντίστροφα. Ωστόσο, μία από τις σημαντικότερες προσεγγίσεις που εκφράζουν την υδρογραφική πυκνότητα περιλαμβάνει τον αριθμό των κλάδων του υδρογραφικού ανά μονάδα επιφάνειας, που επίσης καλείται «συχνότητα υδρογραφικού δικτύου» (Elewa & Qaddah 2011).

Στην περιοχή μελέτης, διαπιστώθηκε δενδριτική μορφή υδρογραφικού δικτύου, η οποία προκύπτει από τη δράση ποτάμιων διεργασιών σε περιοχές ομογενών εδαφών χωρίς έντονη γεωλογική δομή. Η εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου έγινε από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) και στη συνέχεια έγινε ο υπολογισμός της πυκνότητάς του με το ArcGIS. 9.3 (Σχήμα 6.15). Ο τελικός χάρτης υδρογραφικής πυκνότητας που προκύπτει χωρίζεται επίσης σε πέντε κλάσεις που ακολουθούν την ίδια προσέγγιση που ακολουθήθηκε και στην πυκνότητα των φωτογραμμώσεων (Σχήμα 6.16). Όπως και στους προηγούμενους παράγοντες, ο χωρισμός τους έγινε βάσει της εντολής Equal Intervals του ArcMap. Ως εκ τούτου, οι περιοχές πράσινου χρώματος αντιπροσωπεύουν μεγάλη πυκνότητα του υδρογραφικού σε αντίθεση με τις περιοχές κόκκινου χρώματος που υποδεικνύουν μικρή πυκνότητα.

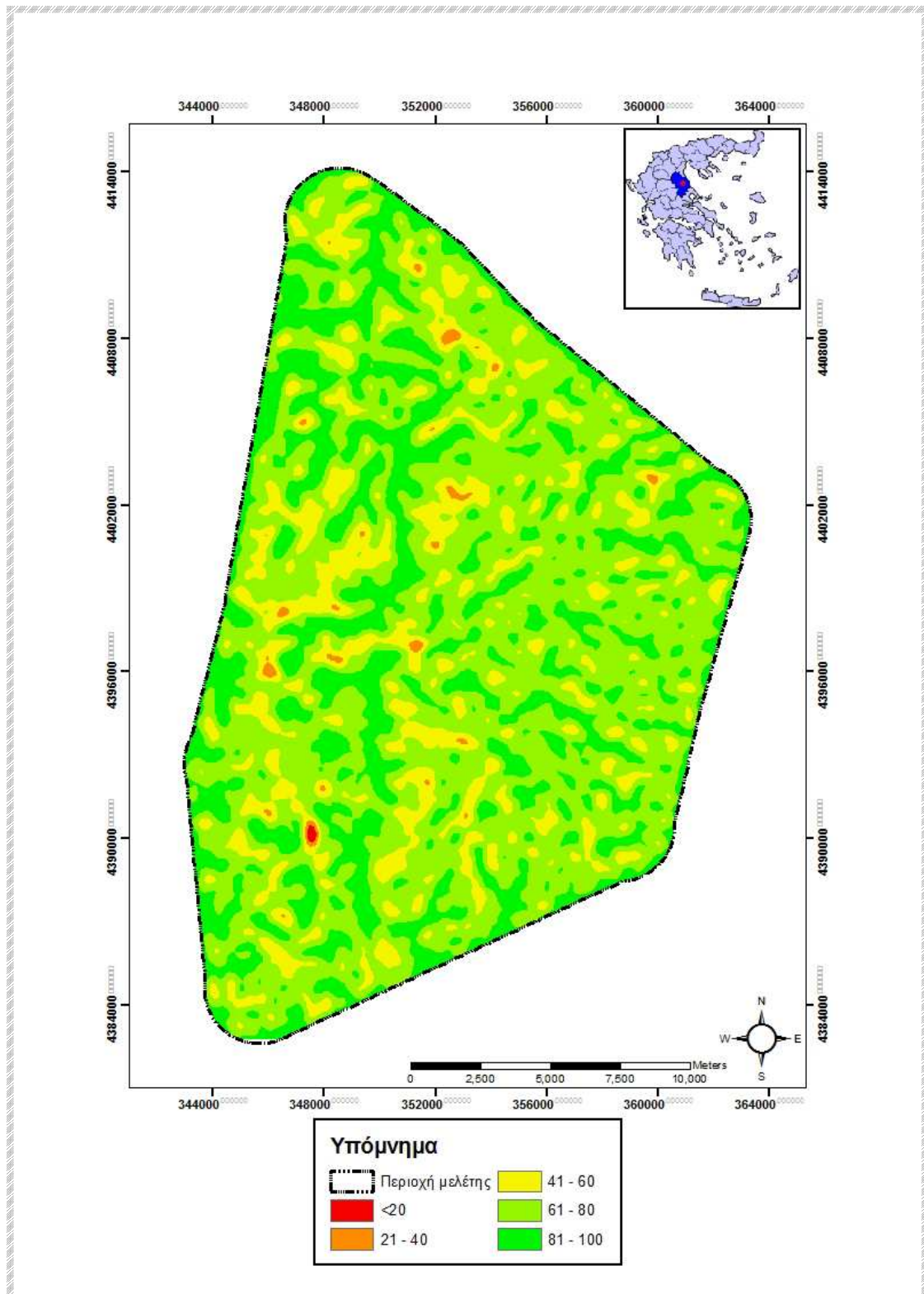
Στην πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου δόθηκε η βαρύτητα 5% σύμφωνα με το μοντέλο χωρικής βαθμονόμησης (Elewa & Qaddah 2010).

Πίνακας 6.7: Τιμές πυκνότητας ρηγμάτων και φωτογραμμώσεων, σε αντιστοιχία με τις κλάσεις.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
<20	0 - 2.936005
21 – 40	2.936006 - 5.87201
41 – 60	5.87202 - 8.808016
61 – 80	8.808017 - 11.744021
81 – 100	11.744022 - 14.680026



Σχήμα 6.15: Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου.



Σχήμα 6.16: Κατανομή της πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού με βάση την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, χωρισμένη σε κλάσεις.

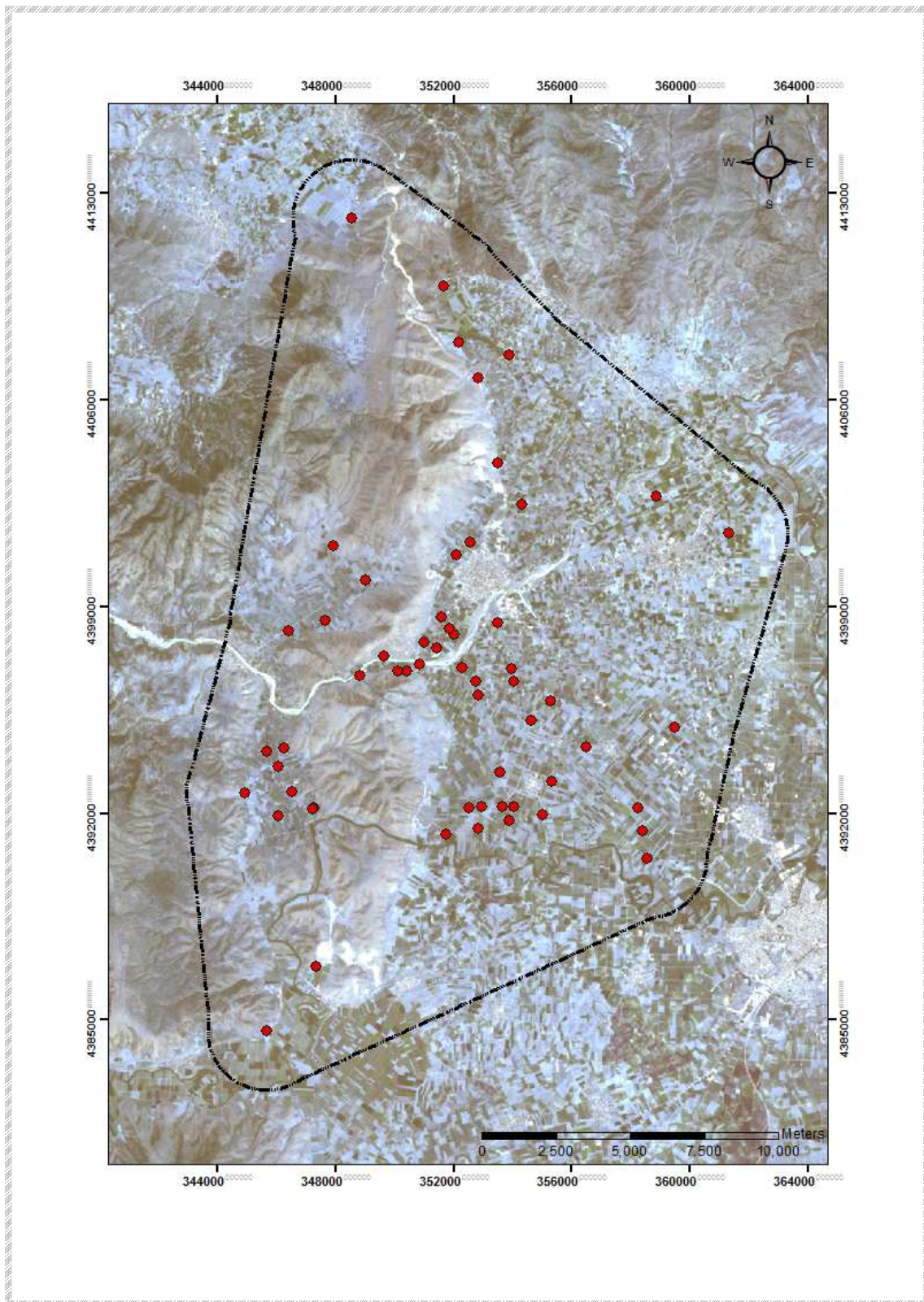
6.11. Βάθος υπόγειου νερού

Η περιοχή Λάρισας – Τυρνάβου χαρακτηρίζεται από έντονη καλλιεργητική δραστηριότητα, καθώς αποτελεί μία από τις πιο εύφορες και παραγωγικές περιοχές της Ελλάδας. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, οι αυξημένες ανάγκες νερού για την άρδευση των καλλιεργειών έχουν οδηγήσει στην υπερεκμετάλλευση των υπόγειων αποθεμάτων νερού. Κατά τους θερινούς μήνες, Ιούνιο – Ιούλιο – Αύγουστο, όπου οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες και κάποιες φορές μηδενικές και οι καλλιέργειες έχουν αυξημένες ανάγκες σε νερό, υπάρχει υπεράντληση που έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης σε μεγάλο βάθος, ώστε την επόμενη περίοδο να μη μπορεί να επανέλθει στο αρχικό της επίπεδο (Καραμουχτάρη 2006).

Γενικότερα, η πιεζομετρική στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων δε βρίσκεται σε στατική ισορροπία αλλά σε δυναμική και μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο. Η μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού, είτε πρόκειται για ελεύθερους είτε για αρτεσιανούς υδροφόρους, αντικατοπτρίζει τις αλλαγές της διαίτας τους (Καλλέργης 1986).

Στην Ελλάδα, η υγρή περίοδος αρχίζει περίπου τον Οκτώβριο, όπου τα κατακρημνίσματα υπερέχουν της εξατμισιοδιαπνοής. Επομένως, από το τέλος του Οκτωβρίου ή από τον Νοέμβριο αρχίζει η άνοδος της στάθμης των υδροφόρων, η οποία εντείνεται κυρίως κατά τους μήνες Ιανουάριο – Μάρτιο και φτάνει το ετήσιο μέγιστό της κατά τον Μάιο, οπότε αρχίζει πλέον η ξηρή περίοδος, με την εξατμισιοδιαπνοή να υπερέχει των κατακρημνισμάτων. Κατά την ξηρή περίοδο, λοιπόν, η στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων υποχωρεί βαθμιαία μέχρι να φτάσει στο ετήσιο ελάχιστο, στο τέλος περίπου του Οκτωβρίου, όταν αρχίζει η επόμενη υγρή περίοδος (Σούλιος 2004).

Για τη μελέτη των πιεζομετρικών συνθηκών στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από 58 γεωτρήσεις την περίοδο του Μαΐου του 2011, όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 6.17. Τα δεδομένα παρουσιάζονται στους πίνακες 6.7 – 6.8.



Σχήμα 6.17: Θέσεις γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 6.7: Μετρήσεις στάθμης καρστικού υδροφορέα στην περιοχή μελέτης.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΣΤΑΘΜΗ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΣΤΑΘΜΗ
SR 106Π	26.26	539	20.5
SR 106	25.76	SR 84 A	51.65
PZ 39	24.64	SR 85 B	57
LB 301	52	LB 281	14.9
PZ 52	57.02	LB 280	18.5
ΠΥ 1α	42.66	LB 110	29.41
Γ 1	206.71	LB 228	30.57
SR 113	42.9	Γ 1	31.22
SR 110	25.4	X1	70.4
SR 111	15	Γ 6	18.33
SR 119	53.12	LB 298A	95.67
SR 112	87	Π 14Λ	30.87

Πίνακας 6.8: Μετρήσεις στάθμης προσχωματικού υδροφορέα στην περιοχή μελέτης.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΣΤΑΘΜΗ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΣΤΑΘΜΗ
PZ T2	8.83	LB 275	16.8
LB 76	9.68	LB 78	22.1
Λ 75 A	20.6	LB 89	20.16
PZT 3A	25.4	LB 90	17
AD 3	0.49	LB 95	17.74
SR 118	6.51	LB 101	15.6
AD 2	2.02	LB 104	13.8
LB 273	6.45	LB 105	11.3
D-2	9.33	Λ 32	17.15
LB 278	15.5	Λ 40	23
LB 274	19.9	Λ 41	6.6
LB 80	22.2	Λ 42	8.53
LB 81	17.43	Λ 43	18.3

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ
ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ - ΤΥΡΝΑΒΟΥ

LB 79	18.97	ΕΛ 20	24.1
LB 291	17.4	Λ 40^A	23.1
Λ 77	20.43	X2	18.49
SR 39	10.9	X3	14.76

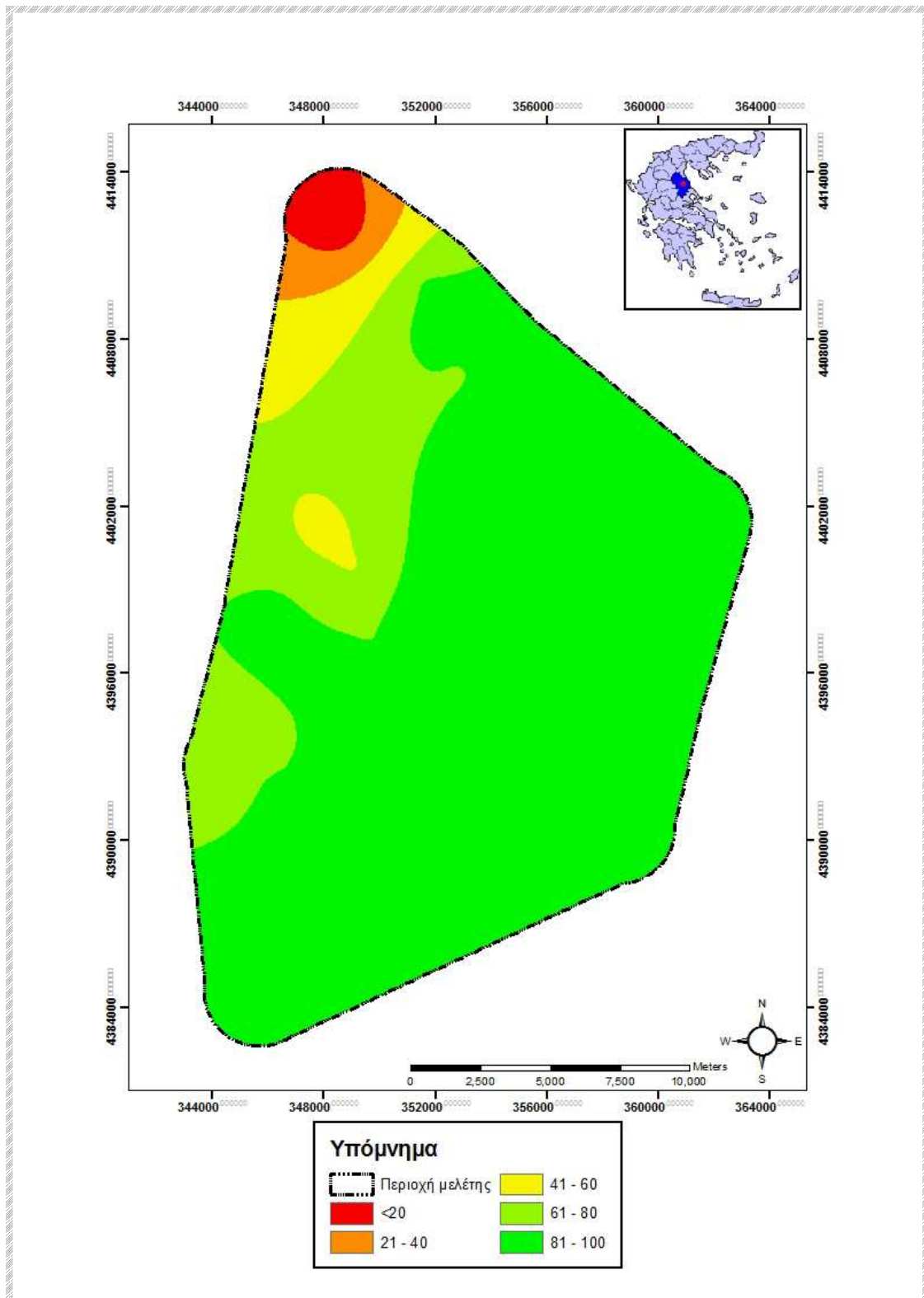
Αρχικά, έγινε η εισαγωγή των γεωτρήσεων, ως σημεία στο ArcGIS και στη συνέχεια υπολογίστηκε η πιεζομετρία της περιοχής στον καρστικό και στον προσχωματικό υδροφορέα. Στον καρστικό υδροφορέα η μικρότερη στάθμη έφτασε τα 15 m (SR 111), ενώ η βαθύτερη τα 206.71 m (Γ1), ενώ στον προσχωματικό υδροφορέα η μικρότερη έφτασε τα 0.49 m (AD3) και η βαθύτερη τα 25.6 m (PZT 3A). Η μεγάλη διαφορά στα υδροφόρα συστήματα της περιοχής οφείλεται στην υψομετρική διαφορά των συστημάτων.

Το σχήμα 6.18 παρουσιάζει το βάθος το υπόγειου νερού χωρισμένο σε κλάσεις βάσει της εντολής Equal Intervals. Θεωρώντας το 100%, ως μέγιστη πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού διαμορφώνονται οι παρακάτω τάξεις: <20, 21 – 40, 41 – 60, 61 – 80 και 81 – 100%. Παρατηρείται ότι στις περιοχές πράσινου χρώματος η στάθμη είναι μικρότερη, επομένως υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να υπάρχει νερό σε μικρότερο βάθος. Στις περιοχές κόκκινου χρώματος, η στάθμη φτάνει σε μεγάλα βάθη με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη δυσκολία στην εξαγωγή του υπόγειου νερού.

Βάσει του μοντέλου χωρικής βαθμονόμησης, στο βάθος υπόγειου νερού δόθηκε η βαρύτητα 5% (Elewa & Qaddah 2010).

Πίνακας 6.9: Τιμές βάθους υπόγειου νερού, σε αντιστοιχία με τις κλάσεις.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΒΑΘΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ
<20	0.49 - 41.734001
21 – 40	41.734002 - 82.978003
41 – 60	82.978004 - 124.222004
61 – 80	124.222005 - 165.466005
81 – 100	165.466006 - 206.710007



Σχήμα 6.18: Κατανομή της πιθανότητας ύπαρξης υπογείου νερού με βάση την πιεζομετρία της περιοχής, χωρισμένη σε κλάσεις.

6.12. Ποιότητα νερού

Το υπόγειο νερό περιέχει πάντοτε σε διάλυση διάφορα ιόντα και σε αιώρηση διάφορα υλικά και σωματίδια. Το είδος και η περιεκτικότητα σε αυτά του προσδίδουν ορισμένες φυσικές και φυσικοχημικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την ποιότητά του. Περιεκτικότητες σε ορισμένα από αυτά πάνω από ορισμένη οριακή τιμή είναι δυνατό να το καθιστούν ακατάλληλο για συγκεκριμένες χρήσεις (Σούλιος 2006).

Για τον λόγο αυτό απαιτούνται χημικές αναλύσεις για την ποιοτική εξέταση του νερού, από τις οποίες εξάγονται συμπεράσματα που έχουν σχέση με τις διεργασίες που έχει υποστεί το υπόγειο νερό από ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες. Από το χημισμό του υπόγειου νερού, μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την καταλληλότητά του σε διάφορες χρήσεις, πιθανώς για την υπόγεια διαδρομή, καθώς και για τη διέλευσή του από ορισμένους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Χαρακτηριστικό της περιοχής μελέτης είναι η ρύπανση από νιτρικά ιόντα λόγω της αυξημένης γεωργικής δραστηριότητας. Η χρήση νιτρικών λιπασμάτων δημιουργεί προβλήματα και κινδύνους. Τα νιτρικά ιόντα στο υπόγειο νερό είναι ένας επίμονος και ανθεκτικός ρυπαντής, αποτελώντας επιβλαβή παράγοντα για την υγεία του ανθρώπου. Περιεκτικότητα του νερού σε νιτρικά πάνω από 50 mg/l το καθιστά ακατάλληλο για πόση (Σούλιος 2006).

Η νιτρορύπανση οφείλεται στις ανθρωπογενείς δράσεις, αφού δεν είναι δυνατή η αφομοίωση των μεγάλων ποσοτήτων νιτρικών από τα φυτά και η πλήρης απονιτροποίησή τους. Το πρόβλημα εντείνεται από το γεγονός ότι τα νιτρικά σαν ρύποι είναι πολύ ευκίνητα και το αρνητικό φορτίο τους δεν ευνοεί τη δέσμευσή τους από τα μόρια αργίλου. Σε αβαθείς υδροφορείς εντοπίζονται υψηλές συγκεντρώσεις, ενώ σε βαθύτερους υδροφορείς που υπόκεινται αργιλικών στρωμάτων της ακόρεστης ζώνης συναντώνται μικρές συγκεντρώσεις (Καζάκης 2013).

Στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης χρησιμοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις από 23 γεωτρήσεις που αφορούν τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) κατά την περίοδο του Μαΐου 2011 (Πίνακας 6.10). Παρατηρείται ότι οι τιμές των νιτρικών κυμαίνονται από 9 έως 85 mg/l (Σχήμα 6.19). Πιο συγκεκριμένα, στο καρστικό κομμάτι της περιοχής οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 16 – 18 mg/l, ενώ στο προσχωματικό μεταξύ 11 – 85 mg/l.

Πίνακας 6.10: Συγκέντρωση NO_3^- σε γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης.

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	NO_3^-
LB 296A	16
LB 315	16
SR 105	17
LB 280	19
Γ1	22
SR 112	16
SR 110	42
LB 305	17
LB 302	18
SR 111	9
SR 84A	25
LB 285	21
SR 39	30
SR 114	23
LB 284	23
LB 90	35
LB 78	85
LB 105	58
L 80	11
LB 274	25
EL 20	22
LB 95	16
LB 101	18

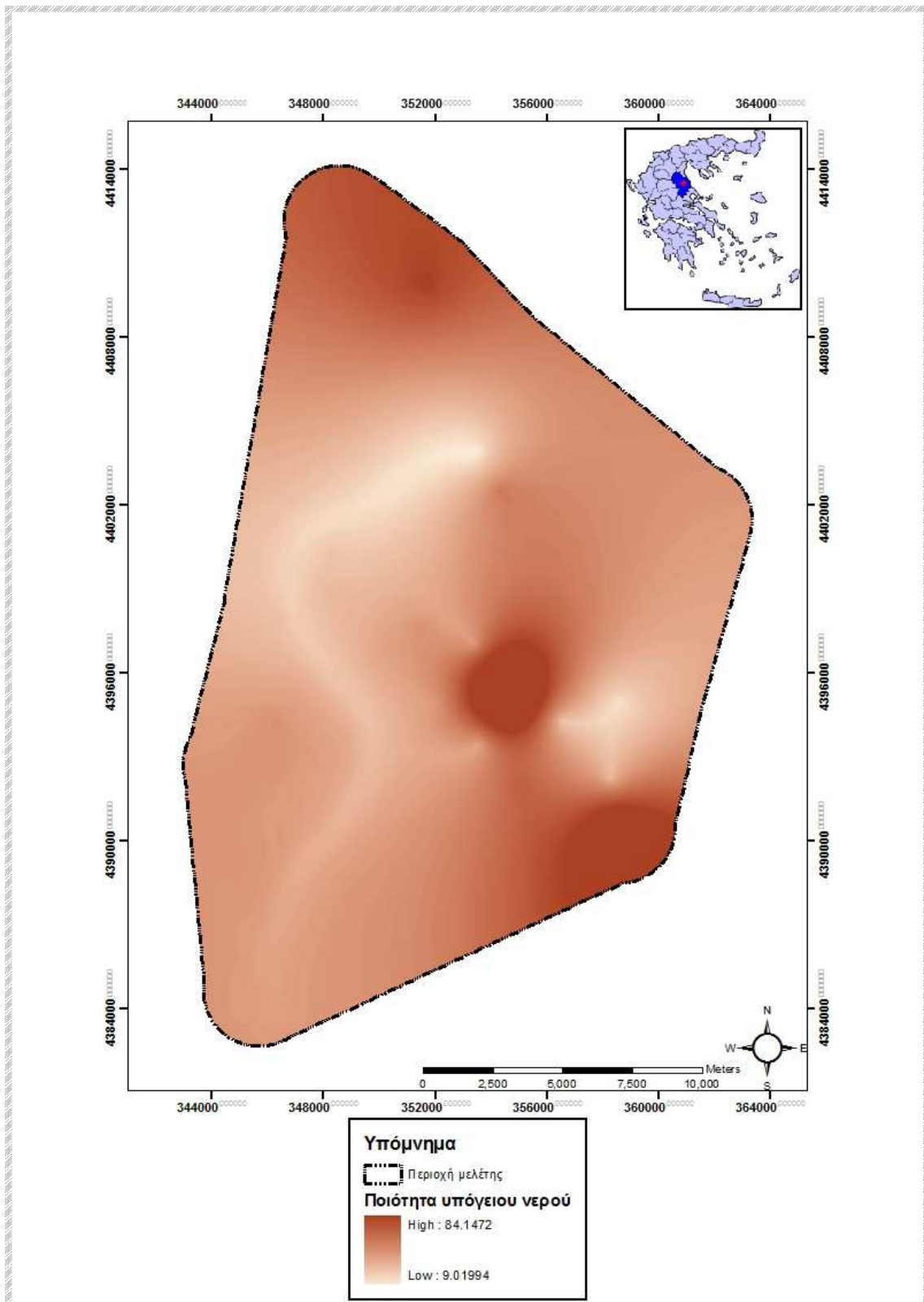
Στη συνέχεια ακολουθεί ο χάρτης της σχέσης των νιτρικών με την ποιότητα του νερού (Σχήμα 6.20). Οι κλάσεις χωρίστηκαν βάσει της εντολής Equal Intervals του ArcMap (Πίνακας 6.11). Παρατηρείται ότι στις περιοχές κόκκινου χρώματος η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων είναι μεγαλύτερη, επηρεάζοντας την ποιότητα του νερού. Επομένως, στις περιοχές πράσινου χρώματος η συγκέντρωση των νιτρικών βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα με αποτέλεσμα η ποιότητα του νερού να είναι καλύτερη.

Ως εκ τούτου, η καλύτερη ποιότητα νερού υπάρχει κυρίως στο καρστικό κομμάτι της περιοχής.

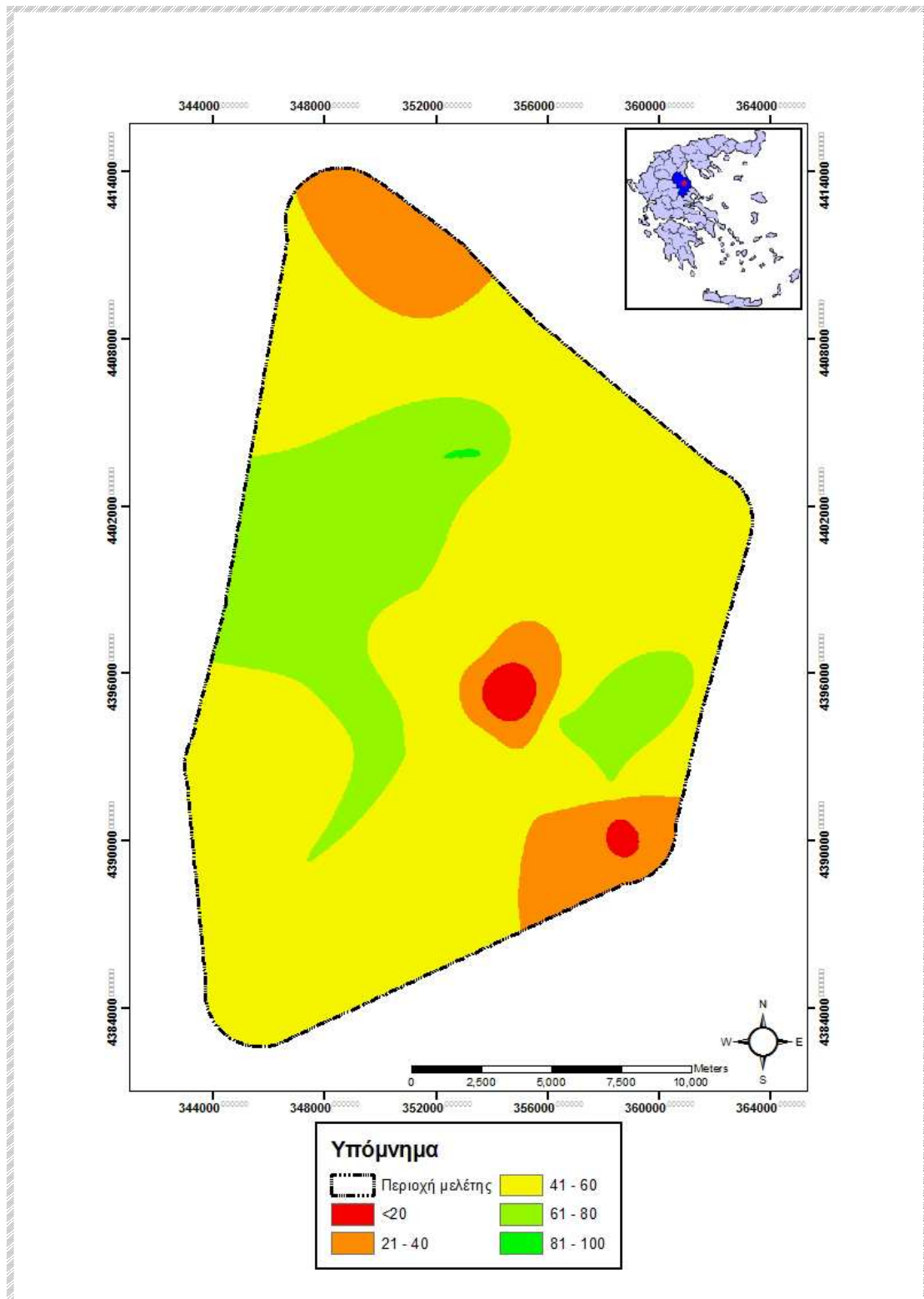
Στην παρούσα εργασία, ο παράγοντας αυτός αντιστοιχίστηκε με βαρύτητα 5% σύμφωνα με το μοντέλο χωρικής βαθμονόμησης πιθανότητας (Elewa & Qaddah 2010).

Πίνακας 6.11: Τιμές συγκέντρωσης NO_3^- , σε αντιστοιχία με τις κλάσεις.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ NO_3^-
<20	9 - 24
21 – 40	25 - 39
41 – 60	40 - 54
61 – 80	55 - 69
81 – 100	70 - 84



Σχήμα 6.19: Κατανομή συγκέντρωση NO_3^- στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 6.20: Κατανομή της πιθανότητας ύπαρξης καλύτερης ποιότητας υπόγειου νερού με βάση τη συγκέντρωση NO_3^- , χωρισμένη σε κλάσεις.

6.13. Εφαρμογή του μοντέλου χωρικής βαθμονόμησης πιθανότητας

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η χρήση του μοντέλου αυτού έχει ως στόχο τη δημιουργία χαρτών που θα αξιολογούν την ύπαρξη του υπόγειου νερού βάσει των στοιχείων που έχουμε. Ο χωρισμός των χαρτών έγινε σε πέντε κλάσεις πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού, σε εκατοστιαία κλίμακα, χωρισμένες ως εξής: <20, 21 – 40, 41 – 60, 61 – 80, 81 – 100. Ο κάθε παράγοντας βαθμολογήθηκε βάσει της συμμετοχής του στον εγκλωβισμό του νερού, ως έχων πολύ υψηλή έως πολύ χαμηλή συμμετοχή. Οι ίδιες κλάσεις χρησιμοποιήθηκαν και για την εξαγωγή του τελικού χάρτη. Ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων έχει να κάνει με τη δημιουργία θεματικών χαρτών και την ενσωμάτωσή τους στο μοντέλο χωρικής βαθμονόμησης πιθανότητας.

Ωστόσο, όλοι οι παράγοντες που αναφέρθηκαν δε συμβάλλουν το ίδιο στην πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού, με αποτέλεσμα κάθε παράγοντας να έχει ένα συγκεκριμένο ποσοστό επίδρασης. Πιο συγκεκριμένα, η βροχόπτωση και η κατείσδυση έχουν μεγαλύτερη επίδραση σε σχέση με την πυκνότητα των φωτογραμμώσεων ή την πιεζομετρία. Επίσης, στη κλίση κλιτύων και στο υδρογραφικό δίκτυο -παρόλο που επηρεάζουν διαφορετικά την επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων- δόθηκε το ελάχιστο ποσοστό στην πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού.

Επομένως, βάσει της εμπειρίας και της γνώσης των επιστημόνων διαμορφώθηκαν τα βάρη και τα ποσοστά που καθορίζουν κάθε παράγοντα (Πίνακας 6.12). Υπολογίστηκαν με βάση το μέγεθος των σχέσεων μεταξύ των χαρτών που διαμορφώνονται από το μοντέλο χωρικής βαθμονόμησης πιθανότητας. Ως εκ τούτου, δόθηκαν τα ακόλουθα ποσοστά για τη βαρύτητα του κάθε παράγοντα:

- Βροχόπτωση – 30%
- Κατείδυση – 20%
- Λιθολογία – 20%
- Πυκνότητα φωτογραμμώσεων – 10%
- Κλίση κλιτύων – 5%
- Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου – 5%
- Βάθος υπόγειου νερού – 5%
- Ποιότητα υπόγειου νερού – 5%

Εκτός από τον κάθε συντελεστή βαρύτητας, οι παράγοντες κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε κατηγορίες που κυμαίνονται από I (πολύ υψηλή πιθανότητα) έως V (πολύ χαμηλή πιθανότητα), σε σχέση με την επίδρασή τους στα υπόγεια νερά. Θεωρώντας ως μέγιστη τιμή το 100%, διαμορφώνονται οι τάξεις: <20, 21 – 40, 41 – 60, 61 – 80, 81 – 100%. Επομένως, τα ποσοστά για κάθε παράγοντα θα είναι: 20, 40, 60, 80 και 100 αντίστοιχα για την πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού I έως V.

Πίνακας 6.12: Βάρη και ποσοστά παραγόντων στην πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΒΑΡΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ
				ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
		(R _f)	(W _f)	(E)
Βροχόπτωση	I (πολύ υψηλή)	100	30%	30
	II (υψηλή)	80	(0.3)	24
	III (μέτρια)	60		18
	IV (χαμηλή)	40		12
	V (πολύ χαμηλή)	20		6
Κατείδυση	I (πολύ υψηλή)	100	20%	20
	II (υψηλή)	80	(0.2)	16
	III (μέτρια)	60		12
	IV (χαμηλή)	40		8
	V (πολύ χαμηλή)	20		4
Λιθολογία	I (πολύ υψηλή)	100	20%	20
	II (υψηλή)	80	(0.2)	16
	III (μέτρια)	60		12

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ
ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ - ΤΥΡΝΑΒΟΥ

Πυκνότητα φωτογραμμώσεων	IV (χαμηλή)	40		8
	V (πολύ χαμηλή)	20		4
	I (πολύ υψηλή)	100	10%	10
	II (υψηλή)	80	(0.1)	8
	III (μέτρια)	60		6
Βάθος υπόγειου νερού	IV (χαμηλή)	40		4
	V (πολύ χαμηλή)	20		2
	I (πολύ υψηλή)	100	5%	5
	II (υψηλή)	80	(0.05)	4
	III (μέτρια)	60		3
Ποιότητα υπόγειου νερού	IV (χαμηλή)	40		2
	V (πολύ χαμηλή)	20		1
	I (πολύ υψηλή)	100	5%	5
	II (υψηλή)	80	(0.05)	4
	III (μέτρια)	60		3
Πυκνότητα υδρογραφικού	IV (χαμηλή)	40		2
	V (πολύ χαμηλή)	20		1
	I (πολύ υψηλή)	100	5%	5
	II (υψηλή)	80	(0.05)	4
	III (μέτρια)	60		3
Κλίση κλιτύων	IV (χαμηλή)	40		2
	V (πολύ χαμηλή)	20		1
	I (πολύ υψηλή)	100	5%	5
	II (υψηλή)	80	(0.05)	4
	III (μέτρια)	60		3
	IV (χαμηλή)	40		2
	V (πολύ χαμηλή)	20		1

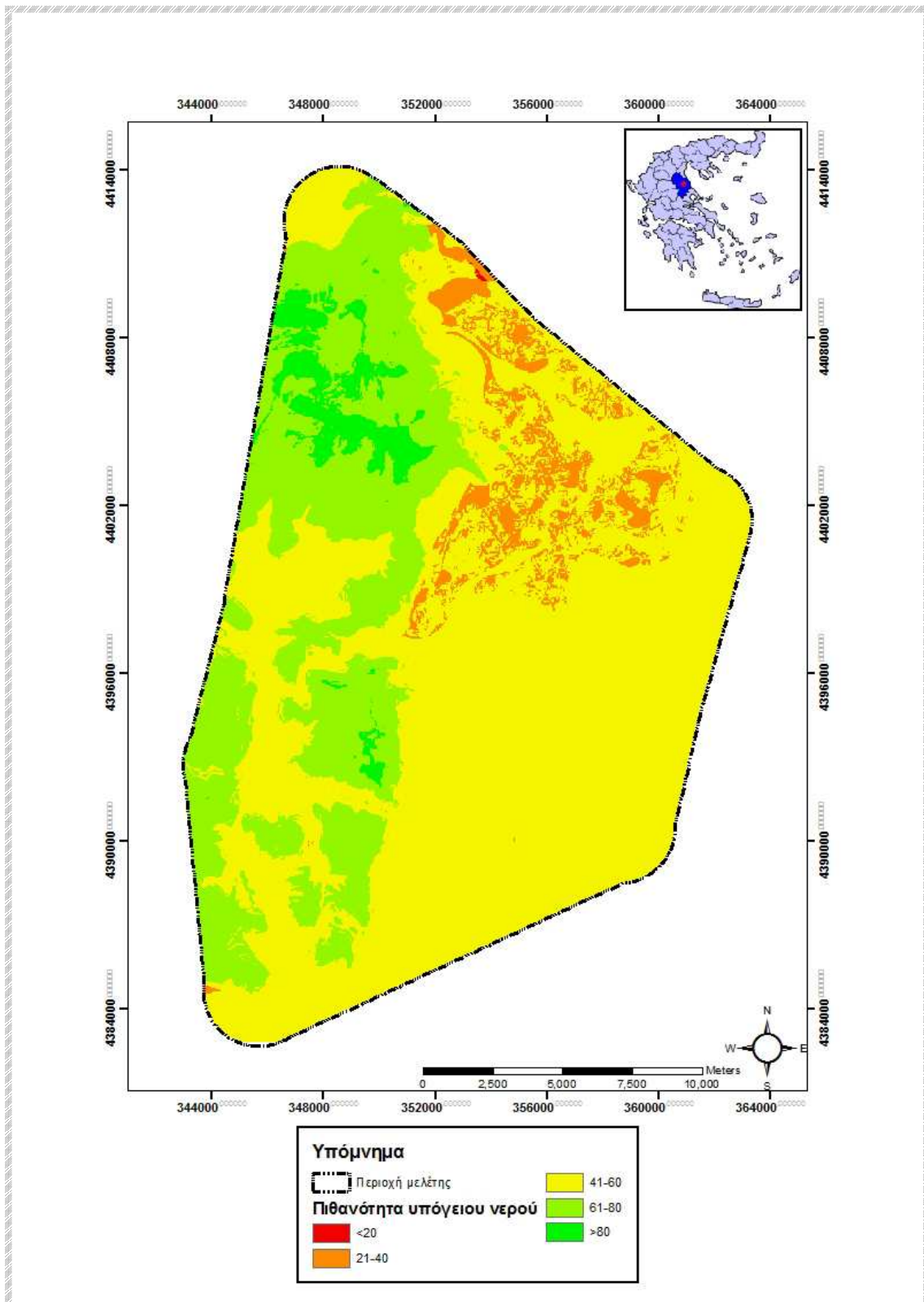
6.14. Τελικός χάρτης

Κατόπιν επεξεργασίας όλων των παραγόντων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, προέκυψε ο τελικός χάρτης πιθανότητας αξιολόγησης υπόγειου νερού στην περιοχή Λάρισας – Τυρνάβου. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε βασίζεται στον πολλαπλασιασμό του ποσοστού της πιθανότητας (R_f) επί τη βαρύτητα (W_f) που έχει δοθεί σε κάθε παράγοντα, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση (Elewa & Qaddah 2010):

$$E = W * R_f \quad (1)$$

Διαμορφώθηκαν, λοιπόν, οι βαθμοί αποτελεσματικότητας (E) του πίνακα 6.6 που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του κάθε παράγοντα, παρέχοντας επιπλέον συγκριτική ανάλυση μεταξύ των διαφορετικών δεδομένων που εισάγονται στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Επομένως, διαπιστώνεται ότι η βροχόπτωση αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα στην πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού, σε αντίθεση με την κλίση κλιτύων, την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, το βάθος του υπόγειου νερού και την ποιότητά του που είναι παράγοντες που επηρεάζουν στο ελάχιστο την ύπαρξή του.

Για την εξαγωγή του τελικού χάρτη (Σχήμα 6.21) έγινε η εισαγωγή των στοιχείων στο ArcGIS 9.3. Αρχικά διαμορφώθηκαν τα αρχεία raster κάθε παράγοντα και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η σχέση (1). Μετά τον υπολογισμό του βαθμού αποτελεσματικότητας κάθε παράγοντα, έγινε ο συνδυασμός όλων των βαθμονομημένων χαρτών και προέκυψε ο τελικός χάρτης, ο οποίος χωρίστηκε σε πέντε κλάσεις –σύμφωνα με τις οποίες χωρίστηκαν και οι χάρτες των παραγόντων– με πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού από πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή. Έτσι, η πιθανότητα αυτή αποδίδεται ως: <20% (πολύ χαμηλή), 21 – 40% (χαμηλή), 41 – 60% (μέτρια), 61 – 80% (υψηλή), 81 – 100% (πολύ υψηλή).



Σχήμα 6.21: Χάρτης πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού περιοχής Λάρισας – Τυρνάβου.

Πίνακας 6.13: Πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού στην έκταση της περιοχής (km²).

Πιθανότητα	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή
Περιοχή (km ²)	0.069	23.673	268.404	110.627	15.51

Σύμφωνα με τον τελικό χάρτη, έγινε ο υπολογισμός της έκτασης των επιμέρους περιοχών βάσει της πιθανότητας ύπαρξης υπόγειου νερού, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 6.7. Επομένως, προκύπτει ότι οι περιοχές με πολύ υψηλή πιθανότητα καταλαμβάνουν την έκταση των 15.51 km², ενώ πολύ χαμηλή πιθανότητα παρατηρείται σε μια έκταση των 0.069 km². Μέτρια πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού παρατηρείται σε έκταση 268.404 km².

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελικά συμπεράσματα θα μπορούσαν να συνοψιστούν ως εξής:

- Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και της Τηλεπισκόπησης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς ο συνδυασμός τους προσφέρει μεγάλη χωρική κάλυψη των περιοχών ενδιαφέροντος και μειώνει τον χρόνο συλλογής των πληροφοριών.
- Τα προϊόντα χαρτών μπορούν να επικεντρωθούν σε οποιαδήποτε τοποθεσία, σε οποιαδήποτε κλίμακα και να παρουσιάζουν επιλεγμένες πληροφορίες.
- Πολλαπλά σενάρια λήψης αποφάσεων μπορούν να αξιολογηθούν αποδοτικά και αποτελεσματικά, λόγω της δυνατότητας γρήγορης παραγωγής χαρτών.
- Η χρήση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας στην περιοχή Λάρισας – Τυρνάβου, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός τελικού χάρτη που δείχνει τη διαφορά δυναμικότητας των υπόγειων υδάτων εντός της περιοχής μελέτης, όπως και τον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού.
- Λαμβάνοντας υπόψη τα βάρη που δόθηκαν σε κάθε παράγοντα που μελετήθηκε, προκύπτει ότι στις περιοχές μεγαλύτερου υψομέτρου, που βρίσκονται στη δυτική πλευρά της περιοχής μελέτης και αποτελούνται από μάρμαρα, η πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις περιοχές χαμηλότερου υψομέτρου, που αποτελούνται από αλλουβιακές αποθέσεις και βρίσκονται στην ανατολική πλευρά, όπου η πιθανότητα αυτή μειώνεται.
- Η εξαγωγή των χαρτών που προέκυψαν με βάση το μοντέλο αυτό, μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά ή τροποποιητικά, σε πολύ λιγότερο χρόνο από τις συμβατικές μεθόδους, στους χάρτες που ήδη υπάρχουν.

- Επομένως, ο προσδιορισμός των περιοχών που αναπτύσσονται υδροφόρα στρώματα μπορεί να συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη των υδατικών πόρων, καθώς η περιοχή Λάρισας – Τυρνάβου αντιμετωπίζει το πρόβλημα της συνεχούς πτώσης στάθμης και της υποβάθμισης της ποιότητας του νερού λόγω της υπερεκμετάλλευσης.
- Μελλοντικά, οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλες περιοχές με σκοπό την ανανέωση ή και τη δημιουργία νέων υδρογεωλογικών χαρτών.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

8.1. Ελληνική

Αστάρας, Θ., 2006. Τηλεπισκόπηση – Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες. Διδακτικές Πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ 10.

Βουβαλίδης, Κ., 2006. Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας. Διδακτικές Πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ). Τοπογραφικά φύλλα Γόννοι, Ελασσόνα, Λάρισα, Φαρκαδώνα.

Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2011. Στοιχεία απογραφής πληθυσμού. Αθήνα.

Ευαγγελόπουλος, Α., 1974. «Υδρογεωλογική κατάσταση λεκανών Ν. Λάρισας». Λάρισα, Απρίλιος.

Ευαγγελόπουλος, Α., 2005. Διαχειριστική μελέτη του υολογείου υδάτινου δυναμικού περιοχών δικαιοδοσίας των τοπικών οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων (Τ.Ο.Ε.Β) νομού Λάρισας (Κατάσταση εκμετάλλευσης υπόγειων υδροφορέων – Βιωσιμότητα Τ.Ο.Ε.Β). Λάρισα, Μάιος.

Καζάκης, Ν., 2013. «Εκτίμηση της διακινδύνευσης της εξωτερικής ρύπανσης των υπόγειων νερών: Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούντα». Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Καραμουχτάρη, Α. Α., 2006. «Η διακύμανση της στάθμης και η ποιότητα των νερών των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής Τυρνάβου (Ν. Λάρισας)». Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Καλλέργης, Γ., 1986. Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Τόμος Α. Τ.Ε.Ε. Αθήνα.

Καραπιλάφης, Δ., 2008. «Προσομοίωση της υπόγειας ροής με τον κώδικα Modflow. Εφαρμογή σε υδροφορείς του Ελληνικού χώρου. (Προσχωματική λεκάνη Ελασσόνας – Τσαριτσάνης Νομού Λάρισας)». Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μπαλαφούτης, Χ., Μαχαίρας, Π., 1985. Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας με στοιχεία Βιοκλιματολογίας. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.

Μπέλεσης, Α., 2012. «Αναθεώρηση και τροποποίηση του γενικού πολεοδομικού σχεδίου Δήμου Τυρνάβου». Λάρισα.

Μουντράκης, Δ. Μ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Παύλου, Α., 2006. «Υδρογεωλογικές συνθήκες και εξέλιξη της πιεζομετρίας στην περιοχή νοτιοανατολικά της Λάρισας». Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Σούλιος, Γ., 1986. Γενική Υδρογεωλογία. Πρώτος Τόμος. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Σούλιος, Γ., 2004. Αποθέματα και Διαχείριση του υπόγειου νερού. Τρίτος Τόμος. University Studio Press.

Σούλιος, Γ., 2006. Ποιότητα υπόγειου νερού – Ρύπανση-Μόλυνση υπόγειου νερού. Τέταρτος Τόμος. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων, 2013. Κλιματολογικά στοιχεία σταθμών Ελασσόνας, Λάρισας, Λιβαδίου, Μαγούλας. Λάρισα.

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Έργο: «Έργα Εκτροπής Αχελώου και Ε/Β έργα Θεσσαλικής πεδιάδας». Διαχειριστική Μελέτη Υδατικών Πόρων Λεκάνης Απορροής π. Πηνειού. Α. Φυσικό Σύστημα.

Φουρνιάδης, Ι., 2002. «Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική εξέλιξη της κοιλάδας του Ανθεμούντα, με τη χρήση μεθόδων GIS και Τηλεπισκόπησης». Διατριβή Ειδίκευσης. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

8.2. Ξενόγλωσση

Cruise, J. F., Miller, R. L., 2007. “Hydrologic Modeling using Remotely Sensed Databases”, in Lyon, J. G. (eds), *GIS for Water Resources and Watershed Management*. Tailor & Francis Group. London and New York.

Das, D., 1990. Satellite remote sensing in subsurface water targeting. Proceeding ACSM-ASPRS annual convention, 99 – 103.

Demek, J., 1972. *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*. Academia. Prague. 344 p.

- Dikau, R., 1989.** “The application of a digital relief model to landform analysis”, in Raper, J. F. (ed.) 1989: *Three – dimensional applications in Geographical Information Systems*. Taylor & Francis. London, pp. 51 – 77.
- Doutsos, T., 1980.** Postalpine Geodynamik Thessaliens (Griechenland). Z. Dt. Geol. Ges., 131, 5, 685 – 698.
- Elewa, H. H., Qaddah, A. A., 2010.** “Groundwater potentiality mapping in the Sinai Peninsula, Egypt, using remote sensing and GIS-watershed-based modeling”. *Hydrogeology Journal*. 19:613 – 628.
- Howari, F. M., Sherif, M. M., Singh V. P., Al Asam, M. S., 2007.** “Application of GIS and Remote Sensing Techniques in Identification, Assessment and Development of Groundwater Resources”, in Thangarajan, M. (eds), *Groundwater. Resource, Augmentation, Contamination Restoration, Modeling and Management*. Springer. India.
- Kennedy, M., 1996.** *The Global Positioning System and GIS*. Ann Arbor Press. Chelsea. MI.
- Koppen, W., Geiger, R., 1936.** *Handbuch der Klimatologie*. Berlin.
- Legg, C. A., 1989.** “An example of the integrated application of Remote Sensing to hydrogeology”. National Remote Sensing Centre. Royal Aerospace Establishment. Farnborough, Hampshire, pp 1 – 3.
- Lyon, J. G., 2003.** *GIS for Water Resources and Watershed Management*. Tailor & Francis Group. London and New York.
- O’Leary, D. W., Friedman, J. D., Poh, H. A., 1976.** “Lineaments, linear, lineations: some standards for old terms”. *Geol Soc Am Bull*. 87:1463 – 1469.
- Panagopoulos, A., 1995.** A methodology for groundwater resources management of typical alluvial aquifer system in Greece. University of Birmingham, December.
- Pradhan B., Singh R. P, Buchroithner M. F., 2006.** Estimation of stress and its use in evaluation of landslide prone regions using remote sensing data. *Advances in Space Research* 37:698–709.
- Pradhan B., Youssef A. M., 2010.** Manifestation of remote sensing data and GIS for landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Arab J Geosci* 3(3):319–326.
- Van Sickle, J., 2001.** *GPS for Land Surveyors*. Ann Arbor Press. Chelsea. MI.

Strahler, A. N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geol. Soc. Amer. Bull., 63, 1117-42.

Tucker, G. E., Bras, R. L., 1998. “Hill slope processes, drainage density, and landscape morphology”. Water Resour Res 34:2751 – 2764.

Yeh, H. F., Lee, C. H., Hsu, K. C., Chang, P. H., 2009. “GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone”. Environ Geol. 58:185 – 195.

Zevenbergen, L. W., Thorne, C. R., 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *The Journal of British Geomorphological Research Group*. Volume 12 No. 1, 47 – 56.

8.3. Διαδίκτυο

url1: <http://users.sch.gr>

url2: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp>

url3: <http://www.geo.auth.gr/322>

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- Για την εξαγωγή των κλάσεων των χαρτών χρησιμοποιήθηκε η επέκταση **Spatial Analyst Tools** (ArcMap 9.3) και η εντολή **Reclassify**, όπου **Input raster** τα αντίστοιχα raster αρχεία π.χ. precipitation, recharge, lithology, den_fault, slope, dens_river, depth, growaquality και στη συνέχεια **classify** → **Method: Equal Interval, Classes: 5**.
- Για την εξαγωγή των χαρτών χρησιμοποιήθηκε η επέκταση **Spatial Analyst Tools** (ArcMap 9.3) και η εντολή **Interpolation** → **Natural Neighbors**, όπου **Input point features** τα αντίστοιχα ψηφιοποιημένα σημεία και **Output cell size: 28.37262252** (DEM cell size).
- Για την εξαγωγή του τελικού χάρτη και της βροχοβαθμίδας χρησιμοποιήθηκε επίσης η επέκταση **Spatial Analyst** και η εντολή **Raster Calculator**.

Πιο συγκεκριμένα για τον τελικό χάρτη δόθηκε η παρακάτω εντολή:

$\text{precipitation} * 0.3 + \text{recharge} * 0.2 + \text{lithology} * 0.2 + \text{den_fault} * 0.1 + \text{slope} * 0.05 + \text{dens_river} * 0.05 + \text{depth} * 0.05 + \text{growaquality} * 0.05$ → **evaluate**.