ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

ΘΕΜΑ: Εκτίμηση του φυσικού εμπλουτισμού των συστημάτων των τριαδικών ανθρακικών λατυποπαγών Δυτικής Ελλάδος με τη μέθοδο APLIS.



ΒΑΧΛΙΩΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΓΕΩΛΟΓΟΣ

Πάτρα , Δεκέμβριος 2021

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

κα. Ελένη Ζαγγανά Επίκ. Καθηγήτρια Τμήματος Γεωλογίας

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής:

κος. Νικόλαος Λαμπράκης Ομότιμος Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας

κος. Νικόλαος Δεπούντης Επίκ. Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας

Αφιερωμένο στους γονείς μου

για την απεριόριστη συμπαράσταση τους

στη διάρκεια των σπουδών μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ……....σελ.6

ΠΕΡΙΛΗΨΗ……σελ.7

ABTRACT……σελ.8

1.ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ……σελ.10

1.1 Γενικά στοιχεία για τον νομό Αιτωλοακαρνανίας

1.2 Γεωγραφία του νομού Αιτωλοακαρνανίας

1.3 Γενικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

1.4 Γεωγραφική ανασκόπηση της περιοχής μελέτης

1.5 Δημογραφικά και Πληθυσμιακά στοιχεία

1.6 Χλωρίδα

1.7 Πανίδα

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ……..σελ.14

2.1 Γεωλογική ανασκόπηση του νομού Αιτωλοακαρνανίας

2.2 Ιόνια Ζώνη-Εξωτερικές Ελληνίδες

2.3 Παλαιογεωγραφία της Ιόνιας Ζώνης

2.4 Λιθοστρωματογραφία της Ιόνιας Ζώνης

2.5 Φαινόμενα διαπειρισμού των εβαποριτών και ο ρόλος τους στη διαμόρφωση Τριαδικών λατυποπαγών

2.6 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ……..σελ.26

3.1 Τεκτονική επισκόπηση του νομού Αιτωλοακαρνανίας

3.2 Τεκτονική επισκόπηση της Ιόνιας Ζώνης

3.3 Διαπειρισμός

3.4 Τεκτονικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης

4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ……..σελ.30

4.1 Γενικά στοιχεία-ΓΣΠ

4.2 Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης

4.3 Η έννοια του Καρστ

4.4 Το φαινόμενο της καρστικοποίησης

4.5 Διεργασίες και εξέλιξη της καρστικοποίησης

4.6 Ανάπτυξη του καρστ στα Τριαδικά λατυποπαγή

4.7 Κυκλοφορία του υπόγειου νερού

4.8 Καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες

4.9 Η έννοια του Επικαρστ

5. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ-ΚΛΙΜΑ……σελ.44

5.1 Υδρολογικό Ισοζύγιο

5.2 Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα (P)

5.3 Εκτίμηση Ελλειπουσών Παρατηρήσεων

5.4 Επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων

5.5 Έλεγχος ομοιογένειας βροχομετρικών δεδομένων

5.6 Προσδιορισμός εξίσωσης βροχοβαθμίδας

5.7 Εξατμισοδιαπνοή (E)

5.8 Κατείσδυση (I)

5.9 Επιφανειακή Απορροή (R)

5.10 Εφαρμογή της μεθόδου APLIS

6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ……...σελ.62

6.1 Υδρογεωλογική συμπεριφορά γεωλογικών σχηματισμών

6.2 Υδρολιθολογική Ταξινόμηση

6.3 Ενδοκαρστ

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ……σελ.67

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ…….σελ.69

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών « Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον » στην κατεύθυνση της Εφαρμοσμένης και Περιβαλλοντικής Γεωλογίας. Η παρούσα έρευνα δεν θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς τη συνεχή ενασχόληση, το γνήσιο και ειλικρινές ενδιαφέρον της Επίκουρης Καθηγήτριας του τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών κ. Ελένης Ζαγγανάς επιβλέπουσας Καθηγήτριας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Την ευχαριστώ θερμά όχι μόνο για την ανάθεση του θέματος, αλλά για την αδιάκοπη επιστημονική της παρουσία, την πολύτιμη και καίρια καθοδήγηση και τη συμπαράσταση της. Επίσης, καθοριστική υπήρξε η καθοδήγηση της υποψήφιας διδάκτορας Ελένης – Άννας Νάνου, για την πολύτιμη βοήθεια της στη σύνταξη των χαρτών με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Τελειώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη κατανόηση, την συμπαράσταση και την αγάπη τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γνώση της επαναφόρτισης των υπογείων νερών είναι πολύ σημαντική διότι μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε τις εισροές του νερού που εισέρχεται στον υδροφορέα. Αυτό το γεγονός είναι απαραίτητο ώστε να αναπτυχθεί μια κατάλληλη ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων καθώς και για τον υδρολογικό σχεδιασμό. Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης γίνεται υδρογεωλογική έρευνα σε ένα καρστικό σύστημα των ανθρακικών Τριαδικών λατυποπαγών στη νοτιοδυτική Αιτωλοακαρνανία. Σκοπός της έρευνας είναι η εκτίμηση της μέσης ετήσιας αυτογενούς επαναφόρτισης του υδροφόρου ως ποσοστό υετού καθώς και η χωρική κατανομή της βροχής στην περιοχή μελέτης. Η παραπάνω διαδικασία έγινε με την εφαρμογή της μεθόδου APLIS. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε μελέτες για καρστικούς υδροφόρους στην Ανδαλουσία της Ισπανίας. Χρησιμοποιεί 5 μεταβλητές που επηρεάζουν άμεσα τον φυσικό εμπλουτισμό του υδροφορέα και οι οποίοι προσδιορίστηκαν και επεξεργάστηκαν σε περιβάλλον GIS όπως θα δούμε στα παρακάτω κεφάλαια. Για την εκπόνηση της παραπάνω έρευνας έγινε συλλογή γεωλογικών και τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50000 οι οποίοι επεξεργάστηκαν σε περιβάλλον GIS. Στη συνέχεια, συλλέχτηκαν βιβλιογραφικές μελέτες και εργασίες, καθώς και επιστημονικά άρθρα σχετικά με την περιοχή μελέτης. Έπειτα, έγινε καταγραφή όλων των βροχομετρικών δεδομένων για την περιοχή μελέτης από τους αρμόδιους φορείς (ΕΜΥ, ΔΕΗ, ΥΠΕΧΩΔΕ) ώστε να προσδιοριστεί το υδρολογικό ισοζύγιο. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή της μεθόδου APLIS για τον υπολογισμό του ρυθμού επαναφόρτισης και την κατασκευή χάρτη χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης της περιοχής μελέτης.

ABSTRACT

Knowledge of groundwater recharge is very important because it allows us to determine the inflows of water entering the aquifer. This fact is necessary in order to develop a proper rational management of water resources as well as for hydrological planning. In the present Postgraduate Specialization Thesis, hydrological research is carried out on a karstic system of the carbonate Triadic Breccias in the southwestern Etoloakarnania. The purpose of the research is to estimate the average annual autogenous recharge of the aquifer as a percentage of precipitation as well as the spatial distribution of rainfall in the study area. The above procedure was done by applying the APLIS method. This was first used in studies of karstic aquifers in Andalusia, Spain. This method uses 5 variables that directly affect the natural enrichment of the aquifer and which were identified and processed in a GIS environment as we will discuss in the following chapters. For the elaboration of the above research, a collection of geological and topographic maps at a scale of 1:50000 were processed which were processed in a GIS environment. Then, bibliographic studies and works were collected, as well as scientific articles about the study area. All the rainfall data for the study area were recorded by the competent bodies (EMY, PPC, Ministry of Environment, Physical Planning and Public Works) in order to determine the hydrological balance. Finally, the APLIS method was applied to calculate the recharge rate and construct a spatial distribution map of rainfall in the study area.

1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1 Γενικά στοιχεία για τον νομό Αιτωλοακαρνανίας

Ο νομός Αιτωλοακαρνανίας είναι ένας από τους πενήντα ένα νομούς της Ελλάδας και αποτελείται από την ένωση της Αιτωλίας με την Ακαρνανία. Αν και μεγαλύτερη πόλη του νομού είναι το Αγρίνιο, εν τέλει πρωτεύουσα της είναι το Μεσολόγγι για ιστορικούς κυρίως λόγους. Είναι ο μεγαλύτερος σε έκταση νομός στην Ελλάδα και αποτελείται από σημαντικές πόλεις όπως τη Ναύπακτο, τη Βόνιτσα, τον Αστακό, το Αιτωλικό, την Αμφιλοχία και το Θέρμο. Οι περιφερειακές ενότητες που την περιβάλλουν είναι της Λευκάδας στα δυτικά, της Πρέβεζας και Άρτας στα βόρεια, της Ευρυτανίας στα βορειοανατολικά, της Φωκίδας στα ανατολικά και τέλος της Αχαΐας στα νότια, όπου συνδέεται με την Πελοπόννησο μέσω της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου (έτος κατασκευής 2004)

1.2 Γεωγραφία του νομού Αιτωλοακαρνανίας

Ο νομός Αιτωλοακαρνανίας χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη σημαντικών λιμνοθαλασσών όπως του Αιτωλικού και του Μεσολογγίου.. Ο κύριος ποταμός είναι ο Αχελώος που είναι το φυσικό όριο μεταξύ Αιτωλίας και Ακαρνανίας. Εντός του νομού βρίσκεται η μεγαλύτερη λίμνη της Ελλάδας, η Τριχωνίδα (96 τ.χλμ.). Σημαντικές λίμνες του νομού αποτελούν η Αμβρακία και ο Οζερός.

Τα βουνά της Αιτωλοακαρνανίας περιλαμβάνουν το Παναιτωλικό στα βοειοανατολικά, που είναι και το ψηλότερο βουνό του νομού (υψόμετρο 1.924 μέτρα), τα Ακαρνικά Όρη στα δυτικά, τα όρη Βάλτου στα βορειοδυτικά, το όριο Αράκυνθος στα νότια και τα όρη Ναυπακτίας στα νοτιοανατολικά. Τέλος, υπάρχει σημείο του νομού με το χαμηλότερο υψόμετρο στην Ελλάδα με μόλις 10 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας.

1.3 Γενικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04) και οριοθετείται συγκεκριμένα στο νοτιοδυτικό τμήμα της νότιας Αιτωλοακαρνανίας στην λεκάνη του Αχελώου ποταμού (GRIS) με την ονομασία Ξηρόμερο. Η έκταση που καταλαμβάνει είναι 170,3 τετραγωνικά χιλιόμετρα και περιλαμβάνει τμήματα των δήμων Φυτειών και Αστακού. Βορειοανατολικά της πόλης του Αστακού και δυτικά της πόλης του Αγρινίου, εκτείνονται τα Τριαδικά Λατυποπαγή. Η περιοχή ορίζεται από ανατολικά προς τα δυτικά 25000-26200 και

από βορά προς νότο 4288000-4264000 με βάση το σύστημα προβολής Ε.Γ.Σ.Α. ΄87. Ορίζεται γεωμορφολογικά από την επώθηση Μαχαλά ανατολικά όπου βρίσκεται και το ανατολικό τμήμα του ποταμού Αχελώου. Στα ΤΑΛ αναπτύσσεται ο υπό μελέτη καρστικός υδροφόρος ο οποίος οριοθετείται προς βορά από την αναθόλωση των εβαποριτών στην περιοχή των Φυτειών, προς νότο από το μέτωπο εκφόρτισης του καρστικού συστήματος Μέτωπο πηγών Λάμπρας ή αγίου Δημητρίου και προς δυτικά από την επώθηση των ΤΑΛ στους Ιουρασικούς ασβεστόλιθους Παντοκράτορα νότια των Ακαρνανικών Ορέων (EL0400020) με μέση ετήσια τροφοδοσία 186*10^6 κυβικά μέτρα. Τέλος, βόρεια της περιοχής βρίσκεται η λίμνη του Οζερού.

Η υπό μελέτη περιοχή αποτελεί το υδροσύστημα Κατούνας-Λεσινίου (EL0400050) με μέση ετήσια τροφοδοσία 354*10^6 κυβικά μέτρα και ανήκει στην λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου (GR15), σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Επιπλέον, μέση ετήσια ανάληψη 9*10^6 κυβικά μέτρα και άδρευση 7.95*10^6 κυβικά μέτρα.



Εικόνα 1.1: Προσδιορισμός περιοχής μελέτης με κόκκινο πλαίσιο

Η περιοχή Ξηρόμερο πήρε το όνομα του από τα βυζαντινά χρόνια εξαιτίας του αφιλόξενου ορεινού και άνυδρου χαρακτήρα των Ακαρνανικών Ορέων καθώς και των ανθρακικών λατυποπαγών. Με την ονομασία αυτή ορίζεται η ευρύτερη περιοχή των Ακαρνανικών Ορέων και λατυποπαγών από τον όρμο του Αστακού ως την Αμφιλοχία και τη Βόνιτσα. Ο Αστακός στα βυζαντινά χρόνια ονομαζόταν Δραγαμέτσο, ενώ η πρώτη φορά που αναφέρθηκε η ονομασία της περιοχής ήταν από τον Κωνσταντίνο Ακροπολίτη.

1.4 Γεωγραφική ανασκόπηση της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται δυτικά της Ελλάδας και χαρακτηρίζεται ως ορεινή. Η συνολική έκταση της υπό μελέτης περιοχής είναι περίπου 170,3 τετραγωνικά χιλιόμετρα και ο υδροκρίτης της περιοχής καθορίζεται από τέσσερα γεωγραφικά μέρη: τα Ακαρνανικά Όρη στα δυτικά, τη λίμνη Αμβρακίας καθώς και τη λεκάνη Βάλτου στα ανατολικά, τον υδροκρίτη και τις λεκάνες ποταμών που έχουν ροή προς το Ακαρνανικό τμήμα και τον Αμβρακικό κόλπο στα βόρεια. Τέλος, η περιοχή έρευνας εντάσσεται στους τοπογραφικούς χάρτες της Ελλάδας και συγκεκριμένα: φύλλο Αστακός, φύλλο Αμφιλοχία (τμήμα), φύλλο Μεσολόγγι (τμήμα) και φύλλο Εχινάδες (τμήμα). Οι παραπάνω χάρτες είναι της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και κλίμακας 1:50.000.

1.5 Δημογραφικά και πληθυσμιακά στοιχεία

Τα χωριά που απαντώνται στην περιοχή είναι οι Φυτείες, Μπαμπίνη, Πρόδρομος, Σκουρτού, Ρίγανη, Στρογγυλοβούνι, Αγράμπελα, Μαχαίρας και Παλαιομάνινα. Παρακάτω καταγράφονται σε πίνακα τα δημογραφικά και πληθυσμιακά στοιχεία της περιοχής.

Οικισμός	1981	1991	2001
Μαχαίρα	600	573	420
Αστακός	2.724	2.542	2.563
Αγράμπελα	216	320	87
Πρόδρομος	376	346	361

Μπαμπίνη	528	467	413
Παλαιομάνινα	1.136	983	888
Σκουρτού	359	460	337
Χρυσοβιτσάνα	441	481	353
Στρογγυλοβούνι	328	348	302

Πίνακας 1.1: πληθυσμιακά στοιχεία από Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, παρατηρείται μια μείωση πληθυσμού αναλογικά σε όλα τα δημοτικά διαμερίσματα τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Αυτό το γεγονός αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου φαινομένου απομάκρυνσης από την ελληνική ύπαιθρο.

1.6 Χλωρίδα

Η χλωρίδα στην ευρύτερη περιοχή είναι πολύ σημαντική. Τα πιο χαρακτηριστικά είδη χλωρίδας είναι τα φρύγανα και η μακία. Τα φρύγανα όπως η ρίγανη, το θυμάρι κτλ αποτελούν βλάστηση ασβεστολιθικών εδαφών, ενώ η μακία είναι βλάστηση που αποτελείται από μικρά δέντρα ή θάμνους και δημιουργούν ένα πυκνό σύμπλεγμα. Αυτό το είδος χλωρίδας είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενούς ή φυσικής υποβάθμισης της δασικής βλάστησης.

Επιπλέον, με τον ερχομό της άνοιξης και μέχρι τον Οκτώβρη, στην περιοχή φυτρώνουν σπάνιες ορχιδέες όπως Ophrys oestrifera. Σε περιοχές σκιερές και κάτω από μεγάλα δέντρα φυτρώνουν κυκλάμινα, σε λιβάδια αγριονεραγκούλες, ενώ μέσα στη μακία φυτρώνουν και αγριοτριανταφυλλιές. Επίσης, η περιοχή μελέτης αποτελείται από περιορισμένες δασικές εκτάσεις στις οποίες εμπεριέχονται οι βελανιδιές και οι οξιές.

Αξιοσημείωτο είναι το βελανιδόδασος του Ξηρομέρου με έκταση περίπου 60 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Αντιστοιχεί σε δημόσιας ιδιοκτησίας δάσος στο οποίο όμως υπάρχουν και ιδιωτικές εκτάσεις όπως καλλιέργειες και βοσκότοποι. Το κλίμα και η μορφολογία ευνοούν τη βιοποικιλότητα της περιοχής, ωστόσο σήμερα είναι αφημένο στη τύχη του λόγω της συνεχούς εκμετάλλευσης των προηγούμενων ετών με αποτέλεσμα να υπάρχει αλλοίωση, τόσο ως προς τη μορφή του, όσο και ως προς την έκταση του. Επομένως, η λήψη σημαντικών μέτρων αποτελεί επιτακτική ανάγκη.



Εικόνα 1.2: Βελανιδόδασος Ξηρομέρου (πηγή:www.velanidodasos.gr)

1.7 Πανίδα

Στην περιοχή μελέτης ζούν πολλά θηλαστικά και πτηνά. Τα σπουδαιότερα άγρια ζώα, του οικοσυστήματος της περιοχής είναι: ζαρκάδια, αγριογούρουνα, λαγοί, λύκοι, αλεπούδες, ελάφια, κουνάβια, σκίουροι, σκαντζόχοιροι κλπ.

Στη δυτική πλευρά της λίμνης παρατηρούνται μια σειρά από πτηνά όπως: ο πετρίτης, ο φιδαετός, ο χρυσαετός, ο γυπαετός, τα κοτσίφια, οι πέρδικες, οι τσαλαπετεινοί, οι κουκουβάγιες καθώς και οι δρυοκολάπτες. Από την πλευρά των ψαριών ο Εύηνος ποταμός συντηρεί κάποια είδη όπως: χέλια, άγρια πέστροφα, τσερούκλες, στροσίδια, γλανίδια, χαμοσούρτηδες και βίδρες.

Η πλούσια άγρια πανίδα της περιοχής δυστυχώς προκαλεί την προσέλευση διάφορων κυνηγών οι οποίοι πολλές φορές λειτουργούν με εκτός κανόνων θήρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται σημαντικοί κίνδυνοι μείωσης βασικών ζώων και πτηνών όπου δεν είναι λίγες οι φορές που φθάνουν ακόμα και στα όρια της εξαφάνισης κάποιων από αυτών.



Εικόνα 1.3: Γυπαετός στη δυτική όχθη της λίμνης Οζερού (πηγή: www.greenapple.gr)

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1 Γεωλογική επισκόπηση του νομού Αιτωλοακαρνανίας

Στον νομό Αιτωλοακαρνανίας απαντώνται οι αλπικές ενότητες και οι μεταλπικοί σχηματισμοί. Στις αλπικές γεωτεκτονικές Ζώνες των Ελληνίδων διακρίνονται: η Ζώνη Πίνδου, η Ζώνη Γαβρόβου καθώς και η Ιόνιος Ζώνη.



Εικόνα 2.1: Χάρτης κύριων Γεωτεκτονικών Ζωνών Ελλάδος (από Μουντράκης 1985,με πολλές τροποποιήσεις)

Ζώνη Πίνδου: Τα πετρώματα στα οποία διακρίνεται αυτή η Ζώνη είναι έντονα πτυχωμένα και λεπιωμένα και διακρίνονται σε: ανθρακικά (λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι), πυριτικά (ραδιολαρίτες), και κλαστικά (ψαμμίτες, πηλίτες). Η ζώνη αυτή αναπτύσσεται ανατολικά της Αιτωλοακαρνανίας.

Ζώνη Γαβρόβου: Αποτελείται κυρίως από φλύσχη με παρεμβολές νηριτικών ασβεστόλιθων από βορά προς νότο. Σχηματίζεται δυτικά της ζώνης Πίνδου.

Ιόνιος Ζώνη: Περιλαμβάνει το δυτικό τμήμα του νομού. Τα πετρώματα που καταλαμβάνει αυτή η Ζώνη είναι τα ανθρακικά (νηριτικοί ασβεστόλιθοι, πελαγικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες), ο φλύσχης και οι εβαπορίτες.

Μεταλπικοί σχηματισμοί: Αποτέθηκαν ασύμφωνα στο παλαιοανάγλυφο των πετρωμάτων αλπικής ηλικίας. Χαρακτηρίζονται από θαλάσσιες, λιμναίες και χερσαίες φάσεις. Στην λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού βρίσκονται λιγνίτες, μάργες και ασβεστόλιθοι. Στρώματα αιγιαλού, κροκάλες και προσχώσεις Πλειστοκαίνου βρίσκονται στα χαμηλότερα τμήματα του νομού.

2.2 Ιόνιος Ζώνη – Εξωτερικές Ελληνίδες

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται κεντρικά της Ιόνιας ζώνης και ανήκει στις Εξωτερικές Ελληνίδες Ζώνες (Μουντράκης 1995). Συχνά η ζώνη αυτή αναφέρεται και ως Αδριατικοϊόνιος ζώνη. Εξαπλώνεται δυτικά της Ηπειρωτικής Ελλάδας με προσανατολισμό βορά – νότο και είναι το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου, την Ακαρνανία και τη δυτική Πελοπόννησο. Οι Εξωτερικές Ελληνίδες Ζώνες αποτελούνται από: την Προαπούλια, την Ιόνια, τη Γαβρόβου και τη ζώνη της Πίνδου (Aubouin, 1959). Η Προαπούλια ζώνη αποτελείται από ανθρακική ιζηματογένεση, ενώ απουσιάζει ο φλύσχης. Ηλικιακά τα ιζήματα των Εξωτερικών Ελληνίδων που είναι πιο παλιά είναι οι Τριαδικοί Εβαπορίτες. Αν και το προαλπικό υπόβαθρο της ζώνης δεν έχει βρεθεί, επικρατεί η άποψη ότι τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Πελοποννήσου – Κρήτης αποτελούν κοινό παλαιοζωικό υπόβαθρο για τις ζώνες Γαβρόβου και Ιόνιας (Μουντράκης, 1985). Αρχικά, η Ιόνιος ζώνη κατά την παλαιογεωγραφική της εξέλιξη θεωρήθηκε ως το ελληνικό μειογεωσύγκλινο. Δημιουργήθηκε εξαιτίας της φόρτισης των επωθημένων στρωμάτων κατά την νοτιοδυτική μετανάστευση των Ελληνίδων.

Η Ιόνιος ζώνη επεκτείνεται ανατολικά των νησιών Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλλονιά και Ζάκυνθο (Aubouin & Decourt, 1970), αλλά και στα νησιά Ρόδο και Κάρπαθο στα δωδεκάννησα. Εξαπλώνεται κυρίως στην Ήπειρο, την Αιτωλοακαρνανία και τη βορειοδυτική Πελοπόννησο.

Η ανθρακική ιζηματογένεση της ζώνης τερματίζεται στο Ανώτερο Ηώκαινο στην οποία παρατηρείται η μετάβαση από την ανθρακική στην κλαστική ιζηματογένεση, ενώ αρχίζουν οι Αλπικές Ορογενετικες κινήσεις. Η μετάβαση αυτή γίνεται με την απόθεση των υποθαλάσσιων ριπιδίων στους Ηωκαινικούς ασβεστόλιθους. Με αυτή την απόθεση σχηματίστηκε ο φλύσχης και τα μολασσικά ιζήματα.

Η Ιόνια ζώνη έχει διαιρεθεί σε 3 ενότητες (Aubouin, 1959): την Εσωτερική, την Κεντρική και την Εξωτερική, με ορισμένες διαφοροποιήσεις στην ιζηματογένεση. Η περιοχή μελέτης ανήκει στην Εσωτερική Ιόνια Ζώνη.

2.3 Παλαιογεωγραφία της Ιόνιας Ζώνης

Το βασικό χαρακτηριστικό της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης της Ιόνιας Ζώνης είναι η αλλαγή των παλαιογεωγραφικών συνθηκών της κατά τη διάρκεια εξέλιξής της από το Τριαδικό μέχρι το Ανώτατο Ολιγόκαινο – Μειόκαινο.

Από το Τριαδικό μέχρι το Τριτογενές, κατά την αλπική ορογένεση, Η Ιόνια ζώνη είχε συνεχή ιζηματογένεση κατά την αλπική ορογένεση. Η ρηχή Τηθύς θάλασσα, στα νότια περιθώρια της, εκείνη την εποχή κάλυπτε μια ηπειρωτική πλατφόρμα που εκτεινόταν σε όλη σχεδόν τη δυτική Ελλάδα. Το τμήμα της Ιόνιας ζώνης την περίοδο του Μέσου Λιάσου αποτελούσε μέρος της νηριτικής πλατφόρμας. Για την ερμηνεία και εξέλιξη του σχηματισμού των εβαποριτών έχουμε δύο παρόμοιες παλαιογεωγραφικές συνθήκες: Η πρώτη, θεωρεί την ύπαρξη πολλών συνεχόμενων ρηχών λιμνών κοντά στη θάλασσα όπου θα μπορούσε να τις εμπλουτίσει με άλατα (Aubouin, 1959) σε περίπτωση φαινομένου παλίρροιας. Η δεύτερη επιδιώκει κλειστές και ρηχές λεκάνες να εμπλουτίζονται από νερά ποταμών.

Ίδια περίπου κατάσταση επικράτησε για το υπόλοιπο Τριαδικό έως το Κατώτερο Ιουρασικό, εξαιτίας της απόθεσης των νηρητικών ιζημάτων. Η πελαγική ιζηματογένεση και επομένως η διαμόρφωση της Ιονίας ζώνης σε μειογεωσύγκλινο αρχίζει από το Μέσο Ιουρασικό. Μέχρι το Ανώτερο Ηώκαινο και τις ορογενετικές κινήσεις έμεινε σε αυτή τη μορφή όπου ξεκίνησε η ιζηματογένεση του φλύσχη. Η πτύχωση της ζώνης έγινε στο Κατώτερο Μειόκαινο προκαλώντας έντονη λεπίωση στα στρώματά της (Aubouin, 1960).

Σύμφωνα με τον (Robertson et al, 2000) τα ιζήματα της Ιόνιας ζώνης διακρίνονται σε δύο ιζηματογενείς ακολουθίες:

Α) σε συν-ρηξιγενη (Τριαδικό-Ιουρασικό)

Β) σε μετα-ρηξιγενη (Κατώτερο Ιουρασικό- τέλος της αλπικής ορογένεσης).

2.4 Λιθοστρωματογραφία της Ιόνιας Ζώνης

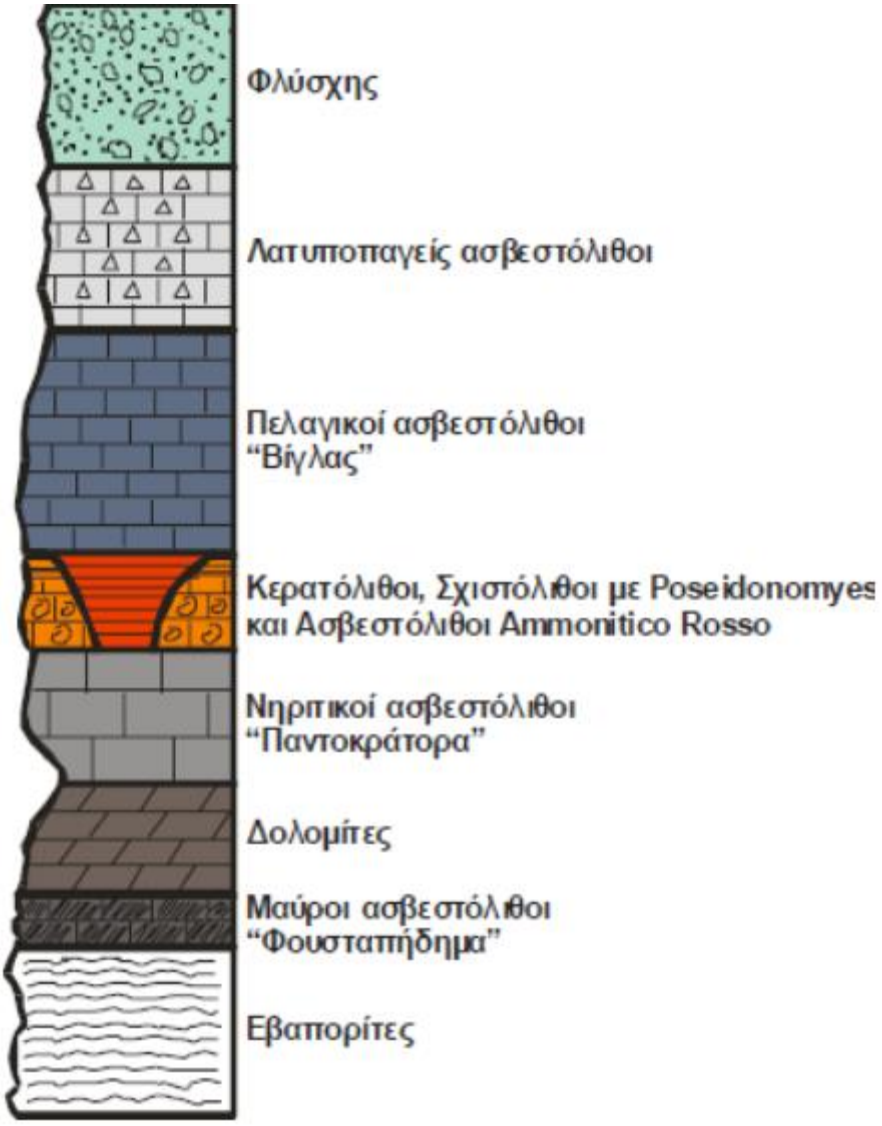
Οι εβαπορίτες, Περμοτριαδικής ηλικίας κατ'άλλους, Κατώτερου-Μέσου Τριαδικού (Renz, 1995) θεωρούνται τα πρώτα ιζήματα της ζώνης με πάχος που κυμαίνεται από 1000 έως και 3000 μέτρα (BP, 1971). Αντίστοιχης ηλικίας είναι τα τριαδικά λατυποπαγή που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης. Τέλος, έχουμε νηρητικούς ασβεστόλιθους πάχους 600 μέτρων γνωστοί ως ασβεστόλιθοι 'Παντοκράτωρα'.

Στο Άνω Λιάσο ξεκινάει η διαφοροποίηση της ζώνης στην ιζηματογένεση (Μουντράκης 1985) και έχουμε αποθέσεις με εναλλαγές κερατολίθων με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους καθώς και αργιλικούς σχιστόλιθους με posidonia. Τόσο στην

εξωτερική, όσο και στην εσωτερική πλευρά της ζώνης και για την ίδια περίοδο αποτίθενται κόκκινοι ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες (ammonitico rosso).

Η ιζηματογένεση (περίοδο Μάλμιο ως το Κατώτερο Σενώνιο) είναι κοινή και πελαγική, με λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους που λέγονται ασβεστόλιθοι ¨Βίγλας¨. Παρουσιάζουν πάχος περίπου 400 μέτρα.

Η πελαγική ιζηματογένεση συνεχίζεται (Ανώτερο Σενώνιο – Ανώτερο Ηώκαινο) με την απόθεση του φλύσχη συνολικού πάχους έως και 2000 μέτρα.

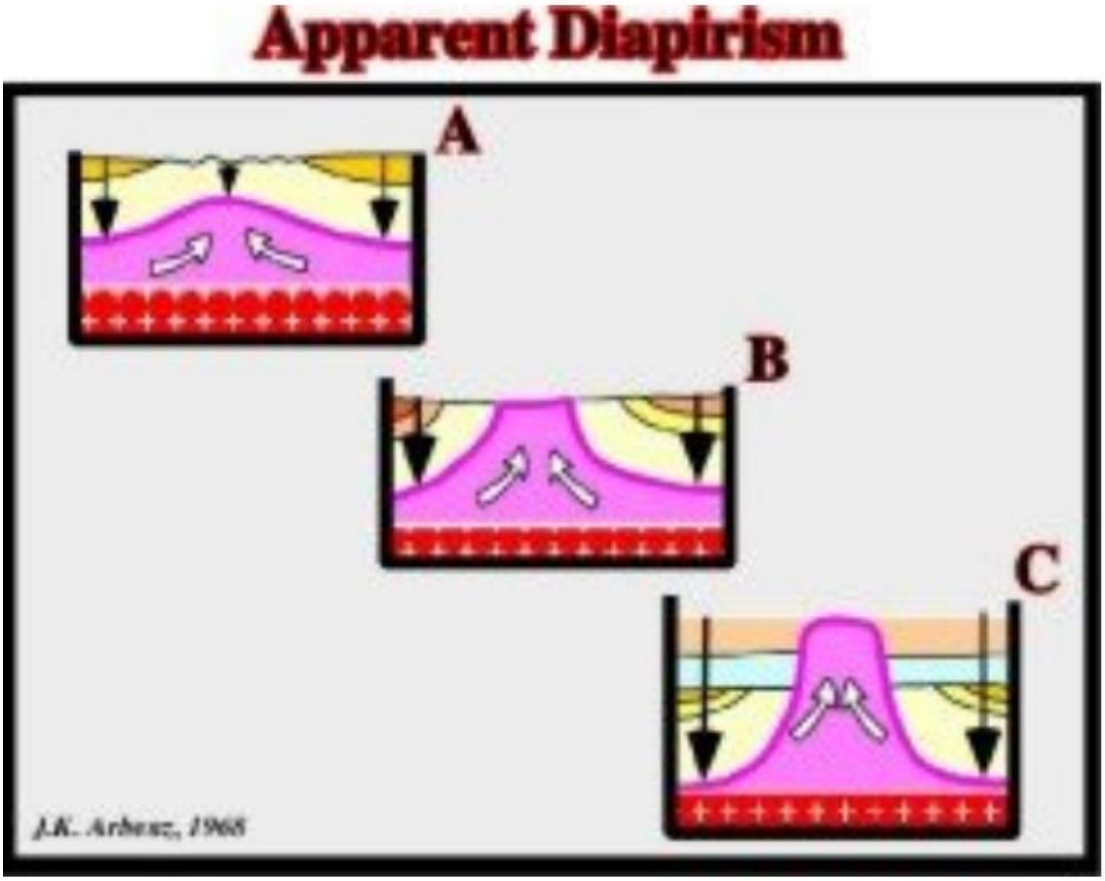


Εικόνα 2.2: Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη της Ιόνιας Ζώνης (Πηγή:ΙΓΜΕ)

2.5 Φαινόμενα διαπειρισμού των εβαποριτών και ο ρόλος τους στη διαμόρφωση των τριαδικών λατυποπαγών

Σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη σύσταση τους εμφανίζονται στους Τριαδικούς σχηματισμούς τόσο στην επιφάνεια όσο και σε μεγαλύτερα βάθη (Νικολάου 1986). Οι εβαπορίτες στην Ιόνια ζώνη εμφανίζονται επιφανειακά με δύο τρόπους: Συνύπαρξη ασβεστόλιθων με λατυποπαγή και διαπειρικές διυσδείσεις σε νεογενή ιζήματα στην οποία παρατηρείται μείωση των ενώσεων NaCl και KCl σε σχέση με τη σύστασή τους από δείγματα γεωτρήσεων. Στο βάθος εμφανίζεται ο αλίτης, ο ανυδρίτης και τα καλιούχα άλατα, ωστόσο στην επιφάνεια εμφανίζεται σχεδόν εξ'ολοκλήρου η γύψος. Επίσης, τα Τριαδικά λατυποπαγή εμφανίζονται σε επιφανειακά στρώματα που περιορίζονται σε βάθος.

Αυτό το φαινόμενο εξηγείται ως εξής: Ο διαπειρισμός σε συνδυασμό με ορογενετικές κινήσεις είχε ως αποτέλεσμα τη διάβρωση των εβαποριτών. Η δράση του βρόχινου νερού οδήγησε πρώτα τη διάλυση και απομάκρυνση των ευδιάλυτων αλάτων NaCl (χλωριούχο νάτριο) και KCl (χλωριούχο κάλιο) και δεύτερον στην ενυδάτωση του ανυδρίτη και τη μετατροπή του σε γύψο ($CaSO_4.2H_2O$). Τέλος, από το διαπειρισμό των εβαποριτών δημιουργήθηκαν οι κοιλότητες όπου σε συνδιασμό με τεκτονικές κινήσεις της ευρύτερης περιοχής είχε ως αποτέλεσμα τον κατακερματισμό και την λατυποποίηση των ανθρακικών στρωμάτων που υπέρκεινται των εβαποριτών.



Εικόνα 2.3: Διαπειρισμός (Arbenz, 1968)

Τα στάδια της λατυποποίησης είναι τα εξής:

1) Τα άλατα από τους αναδυόμενους εβαπορίτες και του καλύμματος (cap rock) απομακρύνονται από το μετεωρικό νερό.

2) Τα ανθρακικά πετρώματα δέχονται κατακρήμνιση και δημιουργούν λατύπες που καταρρέουν (Πομώνη, 1980).

3) Η αποδολομιτίωση των δολομιτικών λατύπων δημιουργεί νέες κοιλότητες και οφείλεται στην επίδραση των θειϊκών αλάτων.

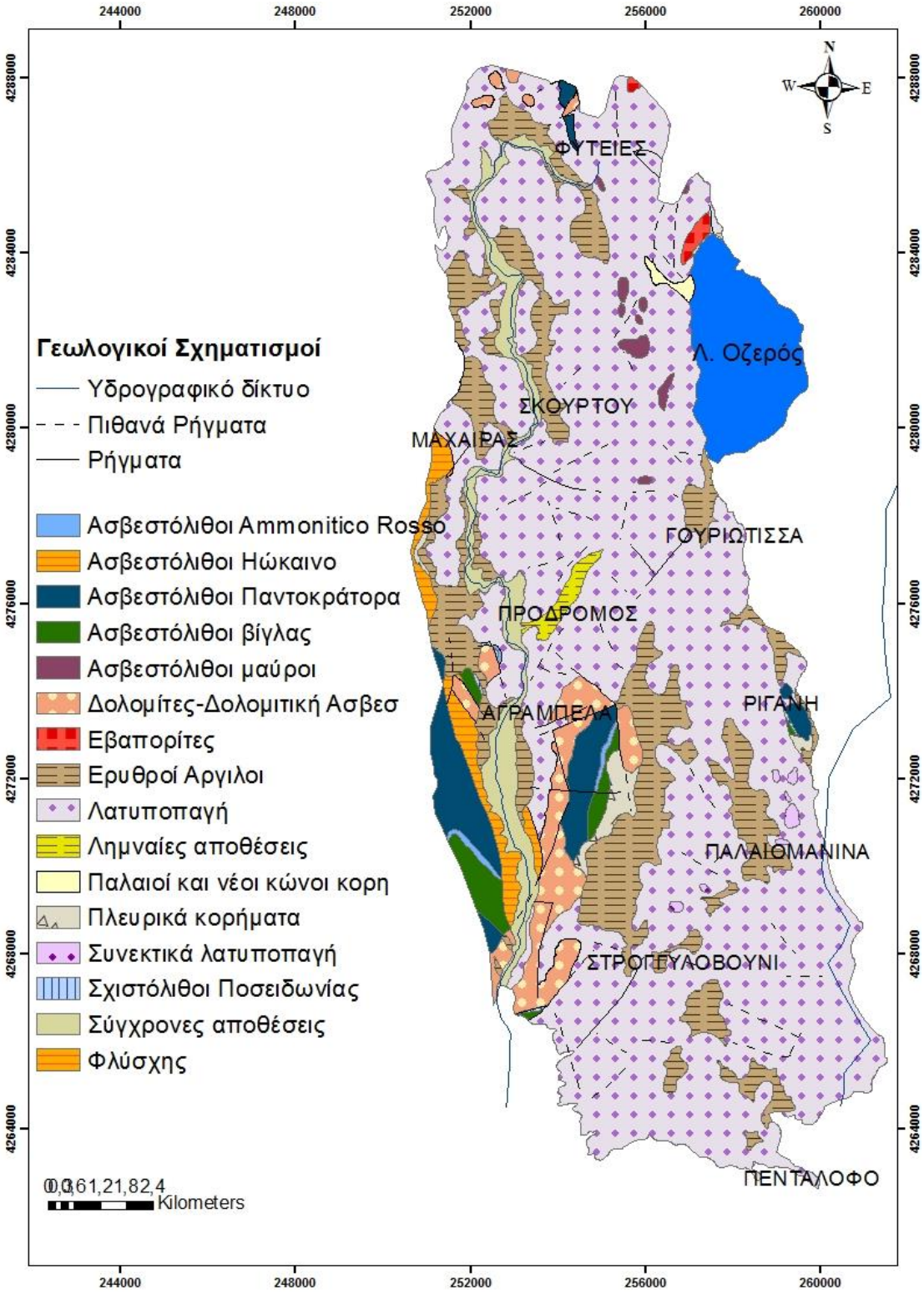
4) Η παρουσία της γύψου από την ενυδάτωση ανυδρίτη, έχει ως αποτέλεσμα τη διαστολή του και τον κατακερματισμό των περιβάλλοντων ανθρακικών σχηματισμών.

5) Φαινόμενα διαπειρισμού και νέες τεκτονικές κινήσεις μετακινούν τα άλατα προκαλώντας κατακερματισμό και λατυποποίηση, οδηγώντας τα λατυποπαγή στη σημερινή τελική τους μορφή.

6) Το συνδετικό υλικό είναι ανθρακικής ή εβαποριτικής σύστασης. Με την εμφάνιση των συγκεκριμένων αλάτων ευνοείται η μετέπειτα καρστικοποίηση των λατυποπαγών.

2.6 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Στην περιοχή μελέτης που πραγματοποιήθηκε η υδρογεωλογική έρευνα εμφανίζονται τα τριαδικά ανθρακικά λατυποπαγή, με διεύθυνση βορειοδυτικά και νοτιοανατολικά της Αιτωλοακαρνανίας. Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (εικόνα 2.4) κατασκευάστηκε μετά από ψηφιοποίηση των γεωλογικών φύλλων ΙΓΜΕ Αστακός, Αμφιλοχία (τμήμα), Μεσολόγγι (τμήμα) και Εχινάδες (τμήμα), κλίμακας 1:50.000.



Εικόνα 2.4: Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης

Μεταλπικοί σχηματισμοί

Τεταρτογενές

- *Πλευρικά κορήματα, παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων* που αποτελούνται από ανθρακικές λατύπες
- *Αλλουβιακές αποθέσεις* που αποτελούνται κυρίως από άμμο, χαλίκια και κροκάλες.
- *Αποθέσεις Τεταρτογενούς* που καλύπτουν ένα μεγάλο τμήμα της περιοχής μελέτης. Τέτοιοι σχηματισμοί είναι κυρίως ερυθροί άργιλοι και αμμούχο υλικό.

Τριτογενές

- *Λιμναίες αποθέσεις*. Κιτρινόλευκες άστρωτες μάργες με φακοειδής παρεμβολές λιγνίτη.

Αλπικοί σχηματισμοί

- *Φλύσχης*. Η ιζηματογένεση του έγινε στην Ιόνια ζώνη με διαφορετικά πάχη αποθέσεων: από 4,5 χιλιόμετρα ιζήματα στην εσωτερική Ιόνιο μέχρι 700 μέτρα στην εξωτερική. Η σύσταση του φλύσχη έχει τα εξής χαρακτηριστικά από πάνω προς τα κάτω: Επικρατούν οι ψαμμίτες με σποραδικές εμφανίσεις αργιλικών στρωμάτων που υπέρκεινται ρυθμικής εναλλαγής αργιλομαργαϊκών στρωμάτων και λεπτών ψαμμιτικών στρώσεων.

Σχηματισμοί Ιουρασικού έως Ηώκαινου

- *Ασβεστόλιθοι Λιάσου ή με "ammonitico rosso"*. Χαρακτηρίζονται από απολιθώματα αμμωνιτών και είναι καστανού χρώματος.
- *Σχιστόλιθοι "Posidonia"*. Σχηματισμός εναλλαγής μαργών με αργιλικούς σχιστόλιθους.
- *Ασβεστόλιθοι 'Βίγλας'*. Λεπτοστρωματώδεις Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι
- *Κερατόλιθοι και πυριτικοί σχιστόλιθοι* Κρητιδικής ηλικίας.
- *Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι* μεσοστρωματώδεις με παρεμβολές πυριτολίθων.
- *Ασβεστόλιθοι 'Παντοκράτορα'*. Είναι ηλικίας Κατώτερου Ιουρασικού – Λιάσου. Είναι καστανωπού έως λευκοκίτρινου χρώματος, νηρητικοί, από παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτοι. Εμφανίζουν καρστική μορφολογία και μικροκαρστικές δομές που πληρούνται με ασβεστίτη.

Σχηματισμοί Τριαδικού

- *Τριαδικοί ασβεστόλιθοι,* είναι συνήθως γκρίζου χρώματος και χαρακτηρίζονται από έντονο κατακερματισμό λόγω καρστικοποίησης. Πολλές φορές σε ρωγμές τους έχουν γεμίσει με γύψο.
- *Τριαδικοί δολομίτες*, γκρίζου ή μαύρου χρώματος, έντονα καρστικοποιημένοι και πάχους 200 μέτρων.
- *Εβαπορίτες και επιφανειακές εμφανίσεις γύψου*. Η γύψος είναι μικροκρυσταλλική, γκρίζου έως υπόλευκου χρώματος και παρουσιάζει στρώση. Λόγω της ιζηματογένεσης η στρώση μπορεί να είναι πρωτογενής ή να είναι δευτερογενής εξαιτίας των γραμμών ροής που προκαλούνται από φαινόμενα διαπειρισμού.
- *Τριαδικά ανθρακικά λατυποπαγή* ,τα οποία έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά ως και δύο μέτρα. Στο σημείο η σύσταση είναι εβαποριτική, η συνεκτικότητα των σχηματισμών μειώνεται με αποτέλεσμα την ύπαρξη φαινομένων διάβρωσης και καρστικών δομών.

3. Τεκτονική

3.1 Τεκτονική επισκόπηση νομού Αιτωλοακαρνανίας

Οι κύριοι τύποι ιζηματογενών λεκανών που αναπτύσσονται στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας:

- Πλειοκαινικές λεκάνες που έχουν παραμορφωθεί λόγω συμπίεσης. Τεκτονικά ελέγχονται από επωθήσεις Β-ΒΔ διεύθυνσης π.χ. Μύτικας, Κάλαμος, Πάλαιρος, Λευκάδα. (Doutsos et al.1987, Clews 1989).

- Πλειοκαινικές λεκάνες που έχουν υποστεί διαστολή π.χ. Κορινθιακός κόλπος, Αμβρακικός κόλπος, Πατραϊκός κόλπος και λίμνη Τριχωνίδα.

- Πλειοκαινικές – Τεταρτογενείς λεκάνες π.χ. Λίμνη Οζερού, Αιτωλικό ΒΒΔ – ΝΝΑ διεύθυνσης κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης Αμφιλοχίας – Κατούνας που αποτελεί και την κύρια τεκτονική δομή που συνδέει τις δύο κύριες ΔΒΔ-ικής διεύθυνσης λεκάνες διαστολής του Αμβρακικού και Πατραϊκού.

  Η ασυνεχής ρηξιγενή ζώνη της Αμφιλοχίας – Κατούνας παρουσιάζει κατάτμηση και καταλήγει νότια στην περιοχή Αγία Τριάδα του Αιτωλικού.

  Επιπλέον, σε αυτήν την περιοχή τα ΒΔ-ικής διεύθυνσης ρήγματα που οριοθετούν το υπόβαθρο από τις δελταϊκές αποθέσεις προσδιορίζουν ιζήματα Ολοκαινικής περιόδου με διαφυγές αερίων. Το φαινόμενο αυτό δηλώνει την

ύπαρξη βαθύτερων ταμιευτήρων υδρογονανθράκων κατά μήκος των ρηγμάτων της διεύθυνσης αυτής.

3.2 Τεκτονική επισκόπηση της Ιόνιας Ζώνης

Στην στρωματογραφία της Ιώνιας ζώνης, η παρουσία πλαστικών σχηματισμών ευνοεί μια τεκτονική πιο 'εύκαμπτη' με επωθήσεις, ανάστροφα ρήγματα, λεπιώσεις και φαινόμενα διαπειρισμού. Η κύρια διεύθυνση των αξόνων είναι ΒΒΔ-ΝΝΑ αλλά δευτερευόντως, στην περιοχή μελέτης έχουμε διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ. Υπάρχουν μετακινήσεις από ανατολικά προς δυτικά αλλά και το σύνολο των εφιππεύσεων είναι από ανατολή προς δύση λόγω των δυνάμεων που ασκούνται από τις ανατολικές ζώνες (Πίνδος). Όταν οι κινήσεις Α-Δ συναντήσουν κάποιο εμπόδιο, τότε προκαλούνται αντίστροφες διευθύνσεις λόγω της απελευθέρωσης των δυνάμεων (Νικολάου, 1985). Η Αλπική Ορογένεση έχει κύρια διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ.

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (1985), στο Μειόκαινο έγινε με τη μορφή 'Στυριακής' φάσης η πτύχωση της Ιόνιας ζώνης. Αυτή είναι έντονα παραμορφωμένη εξαιτίας των επωθήσεων αλλά και των εφιππεύσεων. Για την τεκτονική λεπίωση των στρωμάτων ευνόησαν οι κινήσεις διαπειρισμού των εβαποριτών.

Η συγκρότηση μεγασυγκλίνων και αντικλίνων στην Ιόνια ζώνη αποτελεί χαρακτηριστικό φαινόμενο της τεκτονικής δράσης στη ζώνη αυτή. Συγκεκριμένο παράδειγμα είναι το αντίκλινο Ξεροβουνίου, καθώς και το μεγάλο σύγκλινο Ηπείρου-Ακαρνανίας.

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η τεκτονική ιστορία της Ιόνιας Ζώνης άρχισε ως εξής:

- Η Ιόνια ζώνη χαρακτηρίζεται ως αύλακα των υψωμάτων Προαπούλια-Γαβρόβου η οποία συντρίβεται εξαιτίας των συμπιεστικών δυνάμεων που δέχεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι κινήσεις αυτές σε συνδυασμό με τον άκαμπτο χαρακτήρα των ζωνών περιβάλλοντος έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της ζώνης καθώς και τις ανοδικές κινήσεις των εβαποριτών και την έναρξη φαινομένων διαπειρισμού.

- Λόγω της επίδρασης των συμπιεστικών δυνάμεων, οι ανοδικές κινήσεις έχουν εφιππευτικό χαρακτήρα προς τα δυτικά δημιουργώντας επιμήκη διαπειρισμό αντί για διάπειρο κυκλικού σχήματος.

- Ο διαπειρισμός συνεχίζεται και μετά τη δημιουργία των Τριαδικών λατυποπαγών μέχρι και την απόθεση των ανθρακικών σχηματισμών της Βίγλας.

- Η διαφοροποίηση των περιβαλλόντων ιζηματογένεσης, ευνοείται από την αλπική ορογένεση. Παρατηρείται άνιση ανάπτυξη του φλύσχη κατά μήκος των λεκανών.

- Στη 'Στυριακή' φάση οι εβαπορίτες λειτουργούν ως λιπαντικό μέσο που ευνοεί τη λεπίωση και την αποκόλληση κάτι που διευκολύνει τις μετακινήσεις.

- Οι αναδυόμενες περιοχές δέχονται διάβρωση, με αποτέλεσμα στην επιφάνεια να έρχονται οι εβαπορίτες και οι τριαδικοί σχηματισμοί.

- Τέλος, οι αποθέσεις του νεογενούς αλλά και οι σύγχρονες τεκτονικές τάσεις ενεργοποιούν εκ νέου φαινόμενα διαπειρισμού που ευνοούν τη διαφοροποίηση των λεκανών ιζηματογένεσης.

3.3 Διαπειρισμός

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία του O'Brien (1968), περιγράφονται συνοπτικά οι αρχές λειτουργίας του διαπειρισμού. Συγκεκριμένα ως φαινόμενα διαπειρισμού χαρακτηρίζονται οι ανοδικές κινήσεις υλικών με μεγάλη πλαστικότητα προς υπερκείμενα στρώματα. Τέτοια υλικά είναι τα ιζηματογενή και συγκεκριμένα άλατα. Κύριος παράγοντας για την ανάπτυξη του φαινομένου φαίνεται να είναι η άνιση υπερφόρτωση των υπερκείμενων στρωμάτων σε πλαστικό στρώμα ή ο συνδυασμός υπερφόρτωσης και συμπιεστικών τάσεων. Επιπλέον, η επιμήκυνση του διάπειρου προκαλείται από το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων και από την πιθανή καθίζηση της λεκάνης. Τέλος, η πλαστικότητα και το ιξώδες των διάπειρων εξαρτάται από τη σύσταση και μεταβάλλεται στο χρόνο.

3.4 Τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Στην περιοχή μελέτης παρατηρείται έντονη ρηγμάτωση των γεωλογικών σχηματισμών. Επιπλέον, διαπιστώνεται ότι τα μικρότερα ρήγματα έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ ενώ τα μεγαλύτερα ρήγματα όπως αυτό της Αμφιλοχίας που μετακινείται ανατολικά της λίμνης Οζερού και παράλληλα της περιοχής μελέτης έχουν διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Τη διεύθυνση των μεγαλύτερων ρηγμάτων έχουν και η επώθηση του Μαχαλά αλλά και η επώθηση των Τριαδικών στους ασβεστόλιθους 'Παντοκράτορα' που προς ανατολάς αποτελεί το τεκτονικό όριο της περιοχής μελέτης.

Η πλειοψηφία των διαρρήξεων για την περιοχή μελέτης βρίσκεται στην περιοχή των Ακαρνανικών Ορέων και στη μετα-Τριαδική ανθρακική ακολουθία «ασβεστόλιθοι 'Παντοκράτορα'- ασβεστόλιθοι 'Βίγλας'- ασβεστόλιθοι Ηώκαινο».

4. Γεωμορφολογία

4.1 Γενικά στοιχεία – ΓΣΠ

Στην περιοχή έρευνας για τη γεωμορφολογική μελέτη έγιναν παρατηρήσεις και εργασίες υπαίθρου. Συγκεκριμένα, έγινε επεξεργασία σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών- GIS αλλά και εκτέλεση μιας σειράς μετρήσεων.

Αρχικά, έγινε σάρωση, γεωαναφορά και στη συνέχεια ψηφιοποίηση των γεωλογικών φύλλων Αστακός, Μεσολόγγι (τμήμα), Εχινάδες (τμήμα) και Αμφιλοχία (τμήμα) ΙΓΜΕ. Οι παραπάνω χάρτες είναι κλίμακας 1:50.000 και υψομετρικής ισοδιάστασης 20 μέτρων. Η γεωαναφορά των χαρτών έγινε με το προβολικό σύστημα Ε.Γ.Σ.Α΄87. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε η κατασκευή υψομετρικού χάρτη ισοϋψών καμπυλών, ώστε να γίνει επεξεργασία του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου εδάφους (DEM).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού έγινε χρήση αεροφωτογραφιών με σκοπό τη σάρωση και τη γεωαναφορά τους. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε και η Google Earth για τον προσδιορισμό μη προσβάσιμων περιοχών.

Το υδρογραφικό δίκτυο προσδιορίστηκε με χρήση χαρτών από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού αλλά και μαθηματικών υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον GIS. Συγκεκριμένα, έγινε ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών για την περιοχή μελέτης και του υδρογραφικού δικτύου.

Η εκτέλεση και η επεξεργασία των παραπάνω διεργασιών έγινε με τη χρήση του προγράμματος ArcGIS 10.8 και με κατάλληλη σάρωση για τη βέλτιστη ανάλυση κατά τη διάρκεια της ψηφιοποίησης των αρχείων.

4.2 Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη Δυτική Ελλάδα (επαρχία Αιτωλοακαρνανίας) και αποτελεί το νοτιότερο άκρο της επιφανειακής εξάπλωσης των τριαδικών λατυποπαγών στην κεντρική Ιόνια Ζώνη και τη νοτιοδυτική Αιτωλοακαρνανία. Επιπλέον, η περιοχή έχει περίμετρο περίπου 77,7 χιλιόμετρα και επιφάνεια 170,3 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Πρόκειται για ένα καρστικοποιημένο σύστημα που παρουσιάζει έλλειψη από μόνιμα ρέματα, ύπαρξη ρηχών οπών, μικρές σπηλιές και μεγάλα ελατήρια στο νότιο τμήμα της περιοχής. Τα ελατήρια (Λάμπρα – Άγιος Δημήτριος) αποστραγγίζει το καρστικό σύστημα και παρουσιάζει περίπου τους ρυθμούς εκφόρτισης 8 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Οι πηγές καλύπτουν τις ανάγκες πόσιμου νερού πολλών χωριών στην ευρεία περιοχή.

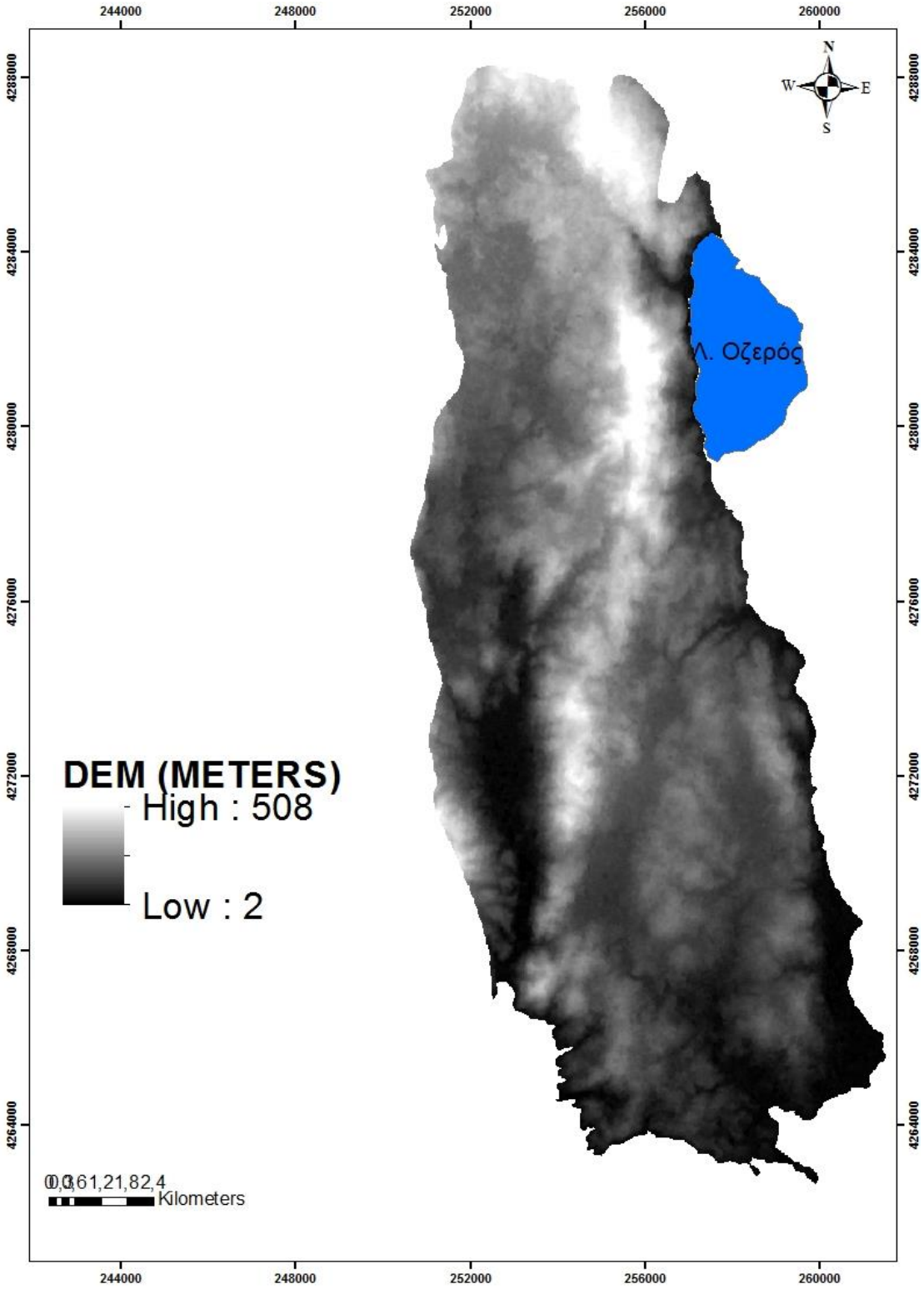
Το ανάγλυφο της περιοχής είναι ήπιο με μέγιστο υψόμετρο τα 508 μέτρα και χαμηλότερο ύψος τα 2 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι υψηλότερες κλίσεις της περιοχής μελέτης φτάνουν τις 43 μοίρες. Από ήπιες κλίσεις χαρακτηρίζεται το βορειοδυτικό και νοτιοανατολικό άκρο της περιοχής που δεν ξεπερνούν τις 20 μοίρες. Στα ήπια τμήματα της περιοχής μελέτης που χαρακτηρίζονται από μικρότερες κλίσεις στα βορειοδυτικά απαντώνται σύγχρονες και Τεταρτογενείς αποθέσεις, εξαιτίας του Γερωπόρου ποταμού, αλλά και Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι και Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι 'Παντοκράτορα'. Στα νοτιοανατολικά απαντώνται Τριαδικά ανθρακικά λατυποπαγή, καθώς και Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Οι μεγαλύτερες κλίσεις εντοπίζονται στη λοφώδη επιμήκη ανύψωση η οποία έχει έκταση 16 χιλιόμετρα και αποτελείται κυρίως από Τριαδικά ανθρακικά λατυποπαγή και δευτερευόντως από Τεταρτογενείς αποθέσεις αλλά και μικρές εμφανίσεις Τριαδικών ασβεστόλιθων στο βόρειο τμήμα της. Επίσης, στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής παρατηρούνται μεγάλες κλίσεις στους Τριαδικούς δολομίτες.

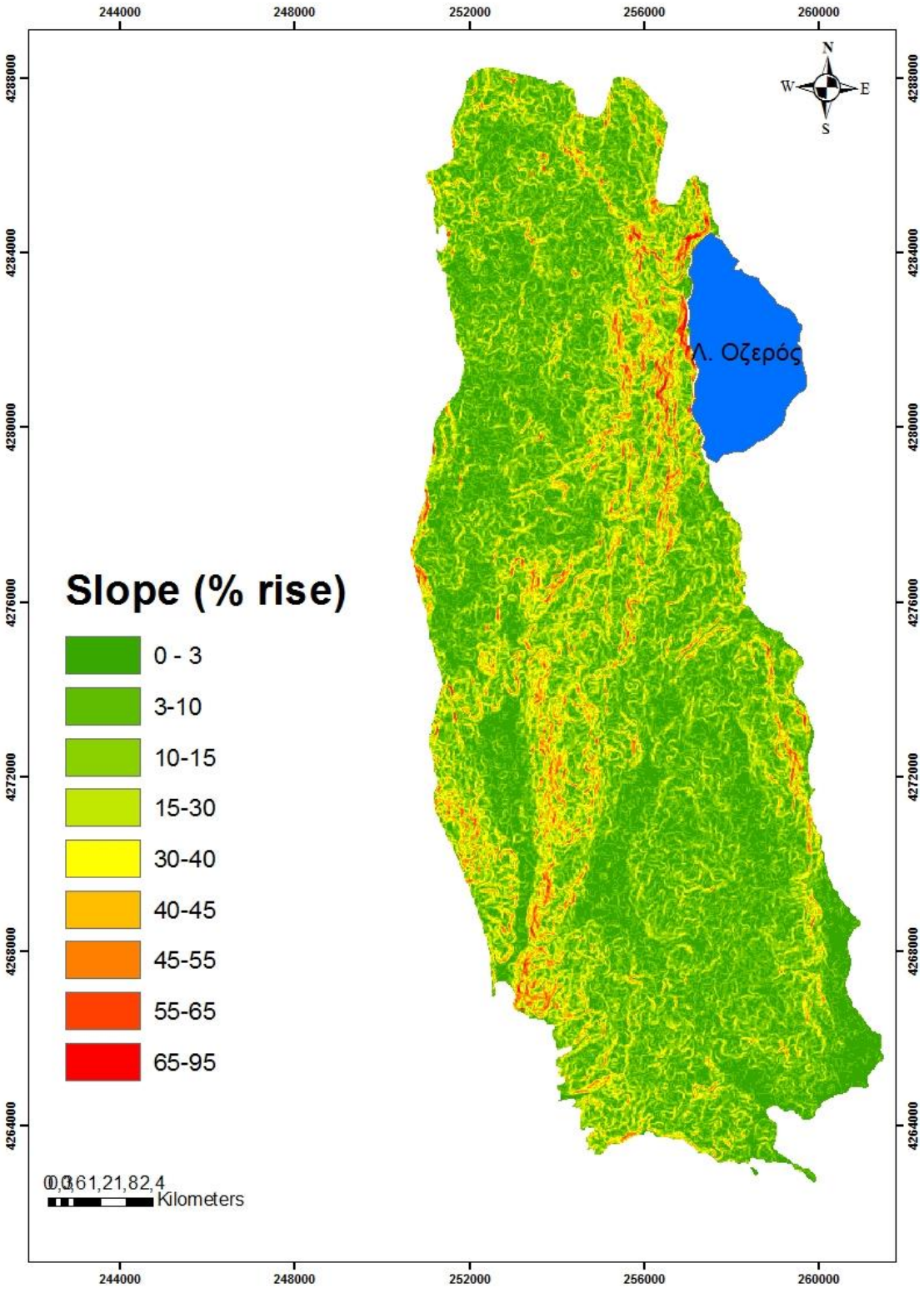
Προτείνεται, ότι ο συγκεκριμένος γεωμορφολογικός χαρακτήρας της περιοχής μελέτης συνδέεται άμεσα από καθορισμένες γεωλογικές διεργασίες οι οποίες ιεραρχικά είναι οι εξής:

- Φαινόμενα διαπειρισμού και αναθόλωση υπερκείμενων (έντονα διαρρηγμένα Τριαδικά ανθρακικά στα δυτικά του Οζερού)

- Δράση ρηγμάτων και τεκτονικές διεργασίες. Επιφανειακή διάβρωση και αποσάθρωση από τη δράση του Γεροπόρου ποταμού που ρέει ανάμεσα στη λοφώδη ανάπτυξη αλλά και τα Ακαρνανικά όρη.



Εικόνα 4.1: Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Αναγλύφου περιοχής



Εικόνα 4.2: Κλίσεις της περιοχής μελέτης

4.3 Η έννοια του Καρστ

Ο όρος Καρστ προέρχεται από την Ινδο-ευρωπαϊκή λέξη karra/gara που σημαίνει << *το πετρώδες έδαφος* >> (Gams 1973, 1991, 2003, Kranjc, 2001). Υπάρχει μια γεωγραφική περιοχή με ασβεστόλιθους στα σύνορα της Σλοβενίας με την Ιταλία που ονομάζεται ΚΡΑΣ, ενώ στην Ιταλία την ονομάζουν carso και στη Γερμανία karst. Το όνομα της προκύπτει από τη γλωσσική εξέλιξη από kar(r) a-karst-kars (Ford, Williams, 2007). Ιστορικά στην περιοχή αυτή το έδαφος ήταν πετρώδες και άγονο εξαιτίας της καταστροφής των δασών. Στην διεθνή βιβλιογραφία επικράτησε ο γερμανικός όρος ΚΑΡΣΤ (KARST).

Το καρστικό ανάγλυφο αναπτύσσεται στους ανθρακικούς σχηματισμούς και στους εβαπορίτες. Αποτελείται από ένα σύμπλεγμα επιφανειακών και υπόγειων καρστικών μορφών. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά αυτών των πετρωμάτων είναι η μεγάλη διαλυτική ικανότητα αλλά και η εμφάνιση δευτερογενούς πορώδους.

Η εξέλιξη του Καρστ είναι αργή, συνεχόμενη και αναπτύσσεται σε μεγάλες εκτάσεις. Σύμφωνα με τον Huntoon (1995):

΄΄ Το σύστημα το καρστ, είναι ένα ενσωματωμένο σύστημα της μάζας των διαλυτών πετρωμάτων, που με την επίδραση του νερού που κυκλοφορεί στα ίδια τα ορυκτά και με τη διαλυτότητα και περατότητα τους, διαμορφώνονται καρστικές μορφές των κατακλάσεων, ρηγματώσεων, αγωγών που διευκολύνουν την κυκλοφορία του νερού.΄΄ Ο ορισμός αυτός είναι ευρύς σύμφωνα με τους (Klimchouk, Ford, 2000) και δεν απαιτεί συγκεκριμένη λιθολογία πετρωμάτων. Επιπλέον, δεν περιορίζει σαν κυρίαρχα στοιχεία του Καρστ τον όρο του κυκλοφορούμενου υγρού αποκλειστικά στο νερό.



Εικόνα 4.3: Χάρτης Σλοβενίας – περιοχή Καρστ – Kars (Δεληγιάννη, 2011)

4.4 Το φαινόμενο της καρστικοποίησης

Η καρστικοποίηση αφορά τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. Με την επίδραση κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας και τον σχηματισμό ανθρακικού οξέως σε συνδυασμό με το νερό, ο ασβεστόλιθος αποσαρθρώνεται χημικά διεδρύοντας τις ασυνέχειες και σχηματίζοντας κενά, δολίνες. Γνωστοί καρστικοί σχηματισμοί αποτελούν τα σπήλαια με σταλακτίτες και σταλαγμίτες. Τα καρστικά πετρώματα είναι έντονα υδροπερατά και τα καρστικά τοπία είναι αδρά. Η διαδικασία της καρστικοποίησης γίνεται στους ανθρακικούς σχηματισμούς (ασβεστόλιθοι, δολομίτες) και στους εβαπορίτες (γύψους, ανυδρίτες).

Ο βασικότερος παράγοντας καρστικοποίησης και χημικής προσβολής του ασβεστόλιθου είναι η δράση του νερού. Το νερό σε μικρά ποσοστά διαλύει τη μάζα του πετρώματος, ενώ παράλληλα συμμετέχει διαλυμένο ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα από τον αέρα και το περιβάλλον και με αυτόν τον τρόπο παράγεται το ανθρακικό οξύ. Στη συνέχεια, αυτό αντιδρά με τον ασβεστίτη που είναι κύριο συστατικό των ασβεστολίθων και παράγεται διάλυμα δισ-όξινου ανθρακικού ασβεστίου το οποίο μεταφέρεται διαλυμένο.

Ο ρυθμός της χημικής διάλυσης του ασβεστόλιθου εξαρτάται από τη χημική σύσταση του συστήματος «διοξείδιο του άνθρακα – νερό – ασβεστίτη», αλλά και από το τύπο της ροής στις πλευρές των καρστικών αγωγών.

4.5 Διεργασίες και εξέλιξη της καρστικοποίησης

Τα ανθρακικά πετρώματα στον Ελλαδικό χώρο καλύπτουν ποσοστό 35%, κάτι το οποίο σημαίνει ότι η εκμετάλλευση των καρστικών περιοχών είναι σημαντική.

Η καρστική εξέλιξη, είναι μια αργή συνεχόμενη διαδικασία, η οποία διαρκεί χιλιάδες χρόνια. Αναπτύσσεται κατά μήκος μεγάλων επιφανειακών και υπόγειων εκτάσεων πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων. Στη διαμόρφωση του καρστικού αναγλύφου εκτός από τη χημική διάλυση σημαντικό ρόλο παίζει και η λιθολογία, η γεωλογική δομή, οι τεκτονικές μετακινήσεις, η υδρογεωλογία, το κλίμα και η βλάστηση.

Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η καρστική εξέλιξη είναι το είδος του καρστικού πετρώματος, η έκταση του Καρστ στην επιφάνεια της γης, το βάθος ενταφιασμού του Καρστ και τέλος, η αποσάθρωση του Καρστ εξαιτίας της καρστικοποίησης.

Τα καρστικά πετρώματα δεν είναι πάντα ομοιογενή, αντιθέτως υπάρχουν πολλά ρήγματα και ρωγμές. Μέσω αυτών γίνεται με αργό ρυθμό η μεταφορά της χημικής διάλυσης των καρστικών πετρωμάτων προς τα υπόγεια στρώματα.

Μέχρι τις συμπιέσεις των ρωγμών του πετρώματος, η χημική διάλυση των καρστικών πετρωμάτων προηγείται της αποσάθρωσης. Όσο μεγενθύνονται αυτές οι ρωγμές, τόσο πιο έντονα επιδρά η μηχανική αποσάθρωση και μεγαλύτερο ποσοστό νερού κατεισδύει στα βαθύτερα στρώματα. Η καρστικοποίηση προχωράει όλο και πιο βαθιά και μπορεί να φτάσει σε βάθος χιλιομέτρων όπου αναπτύσσονται οι υπόγειες καρστικές μορφές οι οποίες επιτρέπουν την ανάπτυξη υδροφόρων συστημάτων.

Η χημική αντίδραση που περιγράφει τη διαδικασία της καρστικοποίησης είναι η εξής:

$$H_2O + CaCO_3 + CO_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, γίνεται μετατροπή του ανθρακικού ασβεστίου σε όξινο ανθρακικό ασβέστιο. Καθώς η πίεση ελαττώνεται το διοξείδιο του άνθρακα διαφεύγει, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα αριστερά και γίνεται απόθεση του ασβεστίτη.

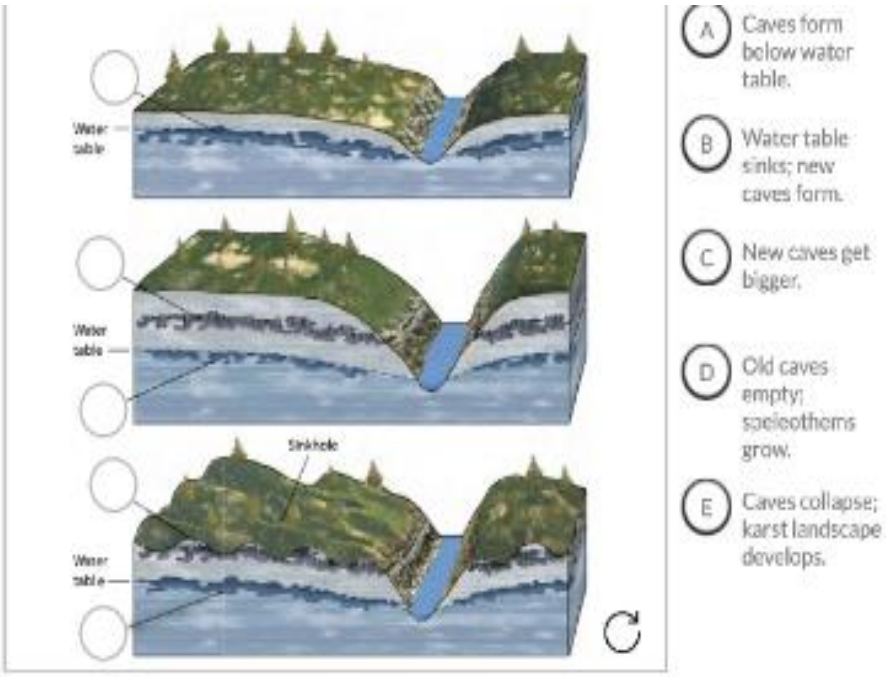
<u>Στάδια καρστικοποίησης</u>

- <u>Στάδιο νεότητας</u>: Η ροή είναι επιφανειακή και εμφανίζονται γλυφές, δολίνες και πόλγες εξαιτίας του τεκτονισμού.

- Στάδιο προχωρημένης νεότητας: Η ροή είναι υπόγεια και ο αριθμός των δολινών αυξάνεται, συνενώνονται και σχηματίζονται ουβάλες.

- Στάδιο ωριμότητας: Η ροή είναι επιφανειακή. Η καρστική περιοχή χαρακτηρίζεται από ουβάλες. Εμφάνιση αδιαπέρατου υπόβαθρου σε περιοχές όπου οι ασβεστόλιθοι έχουν διαβρωθεί.

- Στάδιο γήρατος: Το τελευταίο στάδιο του καρστικού κύκλου στον οποίο γίνεται ταπείνωση του καρστικού αναγλύφου στο βασικό επίπεδο που δεν είναι τίποτα άλλο από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα



Εικόνα 4.4: Στάδια ανάπτυξης του Καρστ (https://www.chegg.com)

Οι σημαντικότερες κατηγορίες των καρστικών σχηματισμών είναι οι εξωκαρστικές και ενδοκαρστικές μορφές.

- Εξωκαρστικές μορφές: Χαρακτηριστικές καρστικές μορφές που αναπτύχθηκαν στην επιφάνεια και περιλαμβάνει όλες τις μορφές που μπορούν να βρεθούν σε ένα καρστικό ανάγλυφο, που το μέγεθος τους κυμαίνεται από μικροσκοπικές γλυφές μέχρι και εκτεταμένες πόλγες. Χαρακτηριστικές εξωκαρστικές μορφές είναι οι γλυφές, οι δολίνες, οι ουβάλες, οι πόλγες, οι καρστικές κοιλάδες, οι καρστικές πηγές, τα καρστικά έγκοιλα και οι εσταβέλλες.

- Ενδοκαρστικές μορφές: Το τμήμα ενός καθετοποιημένου καρστικού συστήματος, που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια και όλες τις καρστικές

μορφές που αναπτύσσονται υπόγεια, καθώς και τις διαλυτικές διεργασίες που τις περιβάλλουν. Συχνά διαιρείται σε Υπέρ-Καρστ, όπου η υπόγεια διάλυση γίνεται από ύδατα τα οποία προέρχονται από μεγάλο βάθος. Χαρακτηριστικές ενδοκαρστικές μορφές είναι οι καταβόθρες και τα σπήλαια. Οι καταβόθρες είναι απότομα, κατακόρυφα και υπόγεια καρστικά φρέατα. Τα σπήλαια αποτελούν υπόγειους χώρους που ξεκινούν από την επιφάνεια τη γης και συνεχίζουν στο εσωτερικό της.

4.6 Ανάπτυξη του Καρστ στα Τριαδικά λατυποπαγή

Εκκίνηση της διαδικασίας της διάβρωσης και ανάπτυξης της καρστικοποίησης αποτέλεσε η επιφανειακή εξάπλωση των τριαδικών λατυποπαγών. Το υποκείμενο στρώμα των Τριαδικών εβαποριτών θεωρείται ότι είναι το επίπεδο βάσης της καρστικοποίησης, το οποίο όμως δεν είναι σταθερό, λόγω των φαινομένων του διαπειρισμού και των αναθολώσεων. Στην περιοχή μελέτης, οι εβαπορίτες που βρίσκονται πιο βαθιά από τη στάθμη της θάλασσας, επίπεδο βάσης θεωρείται η τελευταία. Για το βόρειο όριο της περιοχής, τοπικό επίπεδο βάσης θεωρείται η στάθμη της λίμνης Οζερού.

Στα Τριαδικά λατυποπαγή το Καρστ χαρακτηρίζεται ως Γεωσυγκλινές. Πρόκειται για χαρακτηριστικό γνώρισμα στον Ελλαδικό χώρο εξαιτίας του τεκτονισμού και των διαρρήξεων που φέρει. Το διαφοροποιούν όμως δύο ιδιαίτερα στοιχεία:

- Για την περιοχή μελέτης, εκτός από τις διαρρήξεις και τις διεργασίες τεκτονισμού, σπουδαίο ρόλο για τον κατακερματισμό και την ανάπτυξη συστήματος διαρρήξεων που ευνοούν τη διάβρωση παίζει ο διαπειρισμός της γύψου. Ειδικά ο διαπειρισμός των εβαποριτών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην μετέπειτα ανάπτυξη του Καρστ της Ιόνιας Ζώνης στους ανθρακικούς σχηματισμούς.

- Οι εναλλαγές ανθρακικής και εβαποριτικής σύστασης αλλά και η μεταβολή ανά τόπους της συγκολλητικής ύλης των Τριαδικών λατυποπαγών μπορεί να δημιουργούν ψευδοκαρστικές μορφές με εναλλαγές τοπικά του χαρακτήρα του Καρστ.

4.7 Κυκλοφορία του υπόγειου νερού

Το νερό στους καρστικούς υδροφόρους κινείται με δύο τρόπους:

- Με τυρβώδη ροή στα ανώτερα τμήματα των καλά ανεπτυγμένων καρστικών περιοχών. Σε αυτή την περίπτωση η ροή γίνεται δια μέσου ενός σωλήνα και δεν ισχύει ο νόμος του Darcy ο οποίος ισχύει για κοκκώδεις υδροφόρους αλλά ισχύει ο νόμος του Cheizy.

- Με διάχυτη ροή που ρέει σε καρστικούς σχηματισμούς με μικρές ρωγμές και διακλάσεις.

- Με επιφανειακή ροή στους καρστικούς σχηματισμούς η οποία κατεισδύει προς τον υδροφόρο ορίζοντα μέσω μίας καταβόθρας.

4.8 Καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες

Οι καρστικοί υδροφόροι παρουσιάζουν χαρακτηριστικά όπως οι υψηλές ταχύτητες ροής, τα μεγάλα διάκενα, η ετερογένεια, οι μεγάλες παροχές πηγών. Κατά πλειοψηφία οι ανθρακικοί υδροφόροι ορίζοντες έχουν καρστικοποιηθεί με αποτέλεσμα να εμφανίζουν δύο ζώνες.

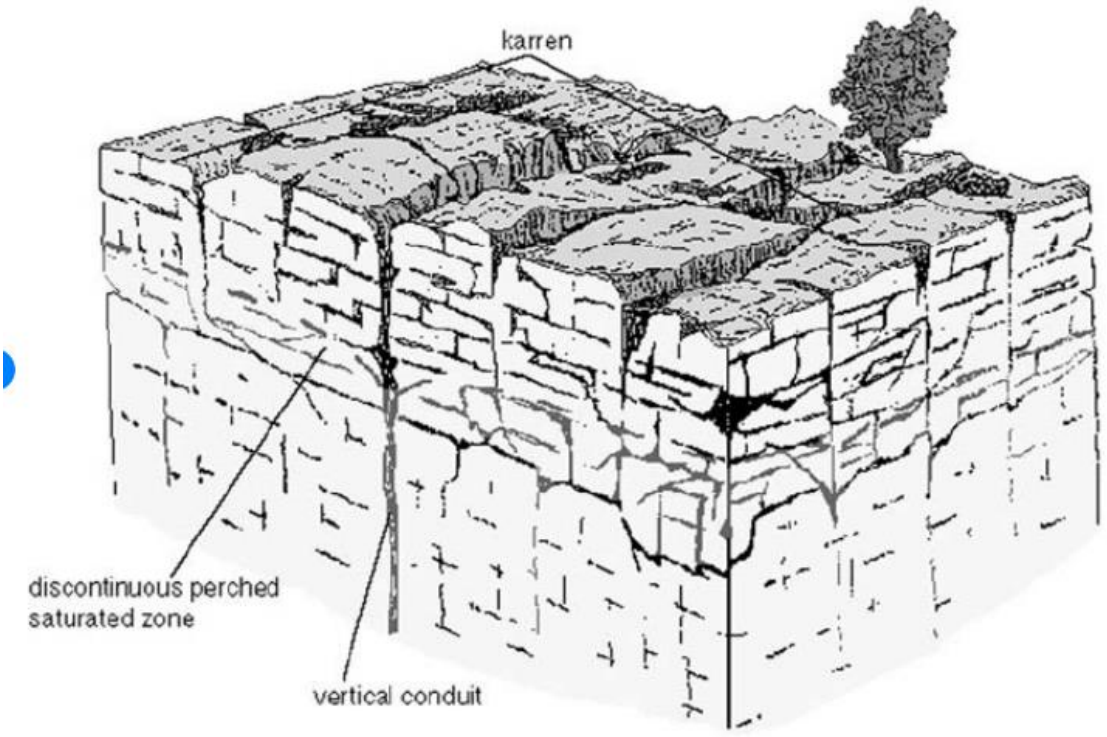
- Η ζώνη αερισμού στην οποία το πάχος διαφέρει και το νερό κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Περιλαμβάνει διαφορετικής περατότητας στρώματα με διαφορετικής ταχύτητας κατείσδυσης. Η ετερογένεια αυτή δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για σχηματισμό επικρεμάμενων υδροφόρων οριζόντων. Καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του συστήματος, ενώ σε αυτή τη ζώνη υπάρχει και το επικάρστ.

- Η ζώνη κορεσμού στην οποία είναι κορεσμένοι με νερό όλοι οι πόροι των στρωμάτων. Υπάρχουν περισσότεροι από ένας υδροφόρος ορίζοντας στη ζώνη αυτή.

4.9 Η έννοια του Επικάρστ

Το επικάρστ είναι το ανώτερο τμήμα των καρστικών σχηματισμών. Παράγοντες όπως η βλάστηση, το κλίμα και οι καρστικές διεργασίες επιδρούν στη μεγέθυνση των ρωγμών και των διαρρήξεων. Στο επικάρστ σχηματίζεται μια ζώνη μεγαλύτερης περατότητας από την υπερκείμενη και υποκείμενη ζώνη ακόμα και από της ζώνης κατείσδυσης στην οποία απαντώνται διακλάσεις. Έτσι έχουμε ένα τμήμα κορεσμένο σε νερό στο οποίο γίνεται αποθήκευση και κατείσδυση προς τα βαθύτερα στρώματα του υποκείμενου καρστικού υδροφόρου. Παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν το επικάρστ είναι: τοπογραφία, τεκτονισμός, ο χρόνος, η σύσταση του μητρικού πετρώματος, το μικροκλίμα, το πάχος εδάφους, η δομή και υφή του μητρικού πετρώματος, το κλίμα που επηρεάζει το είδος της αποσάθρωσης και τέλος η τεκτονική δομή και στρωματογραφία του ανώτερου τμήματος.

Το επικάρστ παίζει σπουδαίο ρόλο στη διαδικασία της καρστικοποίησης διότι καθορίζει τη διάλυση του ανθρακικού πετρώματος τόσο στην επιφάνεια όσο και στο βάθος. Το διοξείδιο του άνθρακα αποθηκεύεται στο επικαρστ και στο υπερκείμενο στρώμα του εδάφους με αποτέλεσμα τη διάλυση των ασβεστολίθων. Το νερό που κατεισδύει έρχεται άμεσα σε επαφή με το διοξείδιο του άνθρακα με αποτέλεσμα την οξείδωση και τη διάβρωση του πετρώματος.



Εικόνα 4.5: Επικάρστ (Mangin 1974a)

5. Υδρολογία – Κλίμα

5.1 Υδρολογικό Ισοζύγιο

Για τον προσδιορισμό του υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης έγινε συλλογή δεδομένων από βροχομετρικούς σταθμούς του νομού Αιτωλοακαρνανίας. Επίσης, συγκεντρώθηκαν οι ημερήσιες τιμές των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και έγινε επεξεργασία τους σε περιβάλλον GIS με σκοπό την εκτίμηση της χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης.

Η μελέτη του υδρολογικού ισοζυγίου ποιοτικά και ποσοτικά με την παρακάτω σχέση:

$$\mathbf{P = I + R + E}$$

P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα
I = η κατείσδυση
R= η επιφανειακή απορροή
E= η εξατμισοδιαπνοή

5.2 Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα (P)

Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι το νερό που φτάνει στο έδαφος από την ατμόσφαιρα σε διάφορες μορφές και συγκεκριμένα σε υγρή (βροχή), σε στερεή (χαλάζι, χιόνι) ή σε αέρια (υδρατμοί) μορφή. Επιπλέον, τα υγρά και στερεά κατακρημνίσματα μπορούν να αναφερθούν και με τον όρο υετός. Τα επιφανειακά νερά εξατμίζονται και μετατρέπονται σε υδρατμούς που φτάνουν στην ατμόσφαιρα. Εκεί, επικοινωνούν με τις ψυχρές αέριες μάζες όπου με την συμπύκνωση δημιουργούνται τα σύννεφα που επιτρέπουν να πέφτει το νερό στην επιφάνεια της γης με τη μορφή βροχής, χιονιού ή χαλαζιού. Σε περιπτώσεις που δεν πραγματοποιείται άρδευση τα κατακρημνίσματα αποτελούν την κύρια πηγή νερού για τα εδάφη.

Επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν 4 μετεωρολογικοί σταθμοί με σκοπό την περιγραφή των βροχομετρικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση των παρακάτω σταθμών: Αγρίνιο, Λεπενού, Λεσίνι και Μοναστηράκι. Προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες κάθε σταθμού, το υψόμετρο καθώς και η περίοδος λειτουργίας τους.

Σταθμοί	**Νομός**	**Φορέας**	**Υψόμετρο (m)**	**X**	**Y**	**Περίοδος-Λειτουργίας**
Αγρίνιο	Αιτ/νίας	ΕΜΥ	24	274599	427903	1950-
Λεπενού	Αιτ/νίας	ΥΠΕΔ	190	264234	428852	1950-
Λεσίνι	Αιτ/νίας	ΥΠΕΧΩΔ	1	259167	426016	1957-
Μοναστηράκι	Αιτ/νίας	ΔΕΗ	300	239332	431175	1960-

Πίνακας 5.1: Μετεωρολογικοί Σταθμοί

5.3 Εκτίμηση Ελλειπουσών Παρατηρήσεων

Είναι γεγονός ότι στους βροχομετρικούς σταθμούς μιας περιοχής υπάρχει η πιθανότητα έλλειψης κάποιων βροχομετρικών παρατηρήσεων. Οι ελλείπουσες

παρατηρήσεις μπορεί να οφείλονται σε κάποια πιθανή βλάβη του οργάνου ή σε οποιαδήποτε άλλη αιτία. Για την συμπλήρωση των κενών στους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης έγινε χρήση της μεθόδου του αριθμητικού μέσου μετά βάρους. Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε καθώς το ετήσιο ύψος βροχής των γειτονικών σταθμών διαφέρει πάνω από το 10% του σταθμού Χ.

Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των ελλειπουσών παρατηρήσεων είναι η παρακάτω:

$$P_X = \frac{1}{n}\left[\frac{N_X P_A}{N_A} + \frac{N_X P_B}{N_B} + \cdots + \frac{N_X P_n}{N_n}\right]$$

όπου:
P_x: η ελλείπουσα τιμή βροχόπτωσης στον σταθμό χ
$P_A, P_B, \ldots P_n$: η βροχόπτωση στους σταθμούς αναφοράς για την ίδια περίοδο
N_x :το κανονικό ετήσιο ύψος βροχής στο σταθμό χ
$N_A, N_B, \ldots N_n$:το κανονικό ετήσιο ύψος βροχής στους σταθμούς αναφοράς
n : ο αριθμός των γειτονικών σταθμών

5.4 Επεξεργασία Βροχομετρικών Δεδομένων

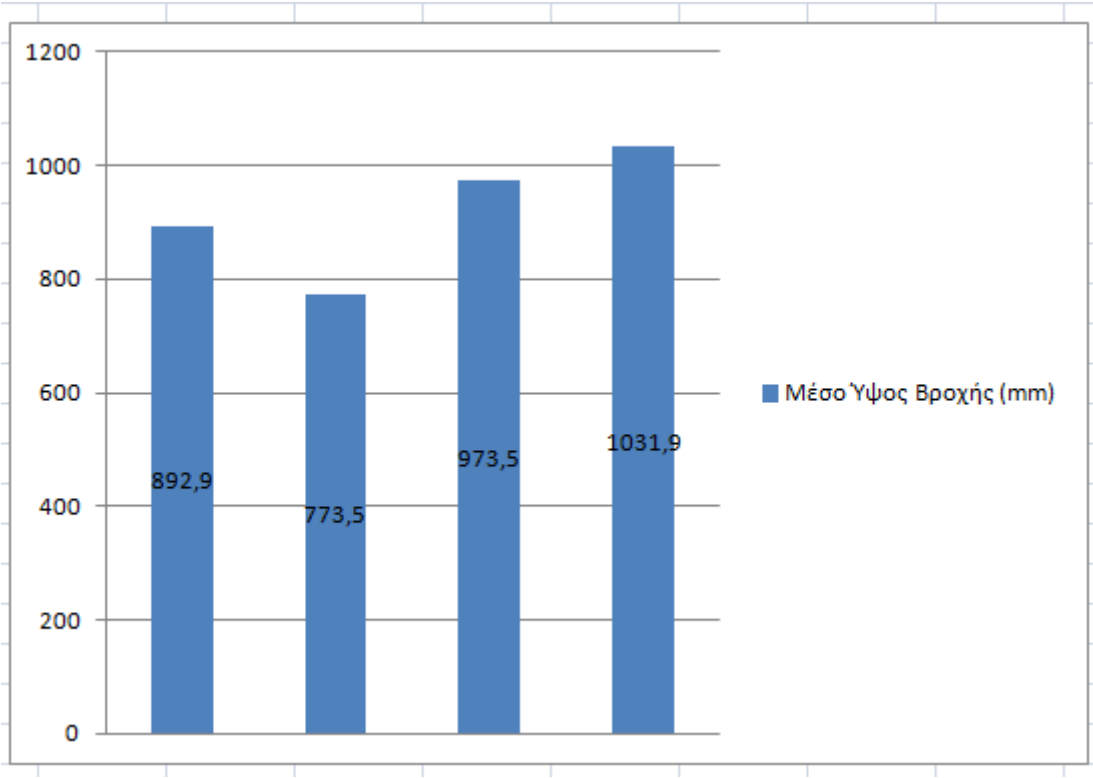
Για την περιοχή μελέτης συλλέχθηκαν από τις αρμόδιες υπηρεσίες τα βροχομετρικά δεδομένα για το σύνολο τεσσάρων σταθμών. Αφορούν τα έτη με χρονοσειρές από το 1980 – 2014. Για τα έτη με χρονοσειρές 2014-2021 δεν έγινε συγκέντρωση δεδομένων καθώς υπήρξε αντικειμενική δυσκολία για την συλλογή τους.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης για τον κάθε σταθμό καθώς και η μέση τιμή αυτών.

ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ	ΑΓΡΙΝΙΟ	ΛΕΣΙΝΙ	ΛΕΠΕΝΟΥ	ΜΟΝΑΣΤΗΡΑΚΙ
1980-1981	986,6	816,4	1381,7	1198,2
1981-1982	1258,2	1095,1	1282,8	974,5
1982-1983	1088,9	785,3	864,9	1002,6
1983-1984	1088	985,3	1221,5	1176,6
1984-1985	702,8	611,2	885,2	678,1
1985-1986	1173	953,3	1242,1	1287
1986-1987	998,6	789,2	854,5	928,2
1987-1988	880,7	647,9	964,8	945,4
1988-1989	707,8	527,9	844,8	701,7
1989-1990	504,4	343,8	597,2	409,1
1990-1991	982,8	889	1078,1	1289,3
1991-1992	614,5	546,8	639,5	553,6
1992-1993	699,2	490,5	756	783,2

1993-1994	817,1	779,5	1019,1	987,4
1994-1995	1146,7	1188,7	1195,5	1383,6
1995-1996	804,2	876,5	947,6	924,3
1996-1997	887	717,4	1270,5	907
1997-1998	727,5	686,5	1112,2	1044,7
1998-1999	1110	953,7	1565,9	1330
1999-2000	701,8	629,2	733,6	776,3
2000-2001	824,3	669,3	1063,8	314,8
2001-2002	850,8	722,2	940,3	726
2002-2003	970	1009,8	1028,3	1022,4
2003-2004	713,3	625,9	872,6	893,1
2004-2005	819	962,3	885	927,7
2005-2006	1152	902,1	1460,3	1262
2006-2007	703,7	480	815,2	771,8
2007-2008	658,2	544,6	757,4	770,3
2008-2009	967	1041,4	1240,1	1145,6
2009-2010	1107,4	947,8	1015,6	1203,1
2010-2011	764,4	935,9	965,4	980
2011-2012	826,6	840	980,3	1012
2012-2013	1024,8	900,7	1282,5	1067,6
2013-2014	1100,6	1084	1321,5	1622,2
Μέση τιμή (mm)	892,9	773,5	973,5	1031,9

Πίνακας 5.2: Βροχομετρικά Δεδομένα Σταθμών



Διάγραμμα 5.1: Μέσο ετήσιο ύψος βροχής για κάθε σταθμό

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα, συμπεραίνουμε ότι το μικρότερο ετήσιο ύψος βροχής εμφανίζεται στον σταθμό Λεσίνι με 773,5 mm ύψους βροχής, ενώ το μεγαλύτερο εμφανίζεται στον σταθμό Μοναστηράκι με 1031,9 mm ύψους βροχής.

5.5 Έλεγχος Ομοιογένειας Βροχομετρικών Δεδομένων

Για την αξιοποίηση και επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο έλεγχος της ομοιογένειας τους. Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ομοιογένεια είναι για παράδειγμα η αλλαγή θέσης του οργάνου, η αντικατάστασή του, η αλλαγή του παρατηρητή ή της μεθόδου που χρησιμοποιεί, η μετακίνηση του σταθμού σε γειτονική περιοχή, οι εσφαλμένες μετρήσεις κλπ. Συνεπώς, για να υπάρχει ομοιογένεια θα πρέπει οι παράγοντες αυτοί να παραμένουν αμετάβλητοι.

Ο έλεγχος της ομοιογένειας για την περιοχή μελέτης γίνεται με τη χρήση της διπλής αθροιστικής καμπύλης. Με τη μέθοδο αυτή συγκρίνονται τα αθροιστικά ετήσια ύψη βροχής του σταθμού που εξετάζεται με τις αντίστοιχες αθροιστικές τιμές της μέσης βροχόπτωσης για μια ομάδα γειτονικών σταθμών. Αν προκύψει σημαντική αλλαγή στην κλίση της προκύπτουσας καμπύλης αυτό σημαίνει πως στο σημείο που αλλάζει η κλίση υπάρχει ανομοιογένεια δεδομένων και χρειάζεται διόρθωση.

Για την περιοχή μελέτης παρατηρείται κοινή κλίση και για τις τρεις ευθείες, ενώ οι συντελεστές προσδιορισμού είναι ισχυροί και δεν εμφανίζεται σημείο θλαστικότητας σε κάποια καμπύλη. Μικρές διαφορές θεωρούνται αμελητέες και τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής χαρακτηρίζονται ομογενή χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για παραπάνω διορθώσεις.

5.6 Προσδιορισμός Εξίσωσης Βροχοβαθμίδας

Η εξίσωση της βροχοβαθμίδας εκφράζει τη σχέση υψομέτρου – βροχόπτωσης και είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό των κατακρημνισμάτων και την εκτίμηση του όγκου νερού σε μια περιοχή. Ο σπουδαιότερος παράγοντας που επηρεάζει την ετήσια βροχόπτωση είναι το υψόμετρο που προσδιορίζεται από την εξίσωση της βροχοβαθμίδας και μας δείχνει ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο τόσο αυξάνεται και το ύψος βροχής.

Η εξίσωση της βροχοβαθμίδας προκύπτει από την συνάρτηση: $\mathbf{y = ax + b}$, όπου:

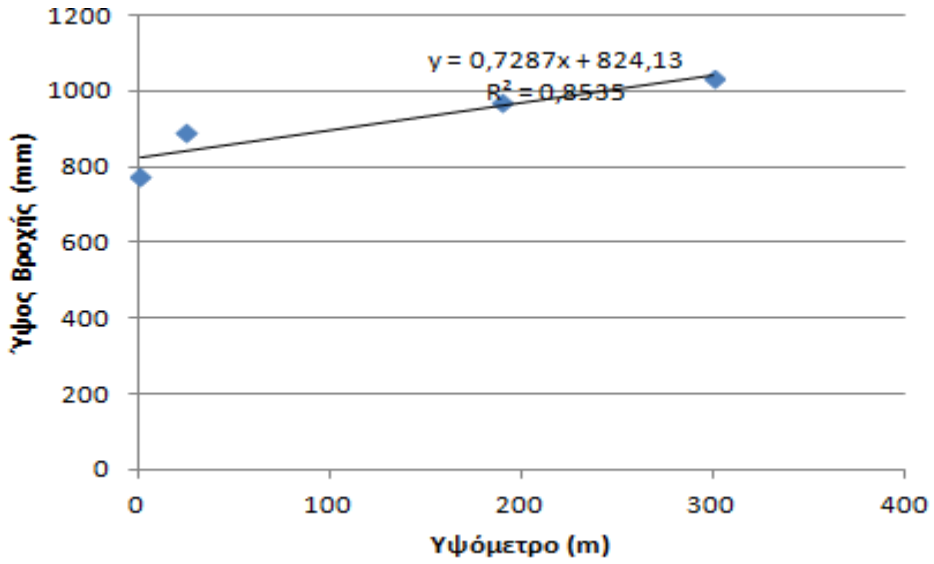
y: το ύψος βροχής

x: το υψόμετρο

b: το ύψος βροχής για υψόμετρο 0

a: ο συντελεστής διεύθυνσης της συνάρτησης και προκύπτει γραφικά

Η εξίσωση ελέγχεται από τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 ο οποίος πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 0,7.



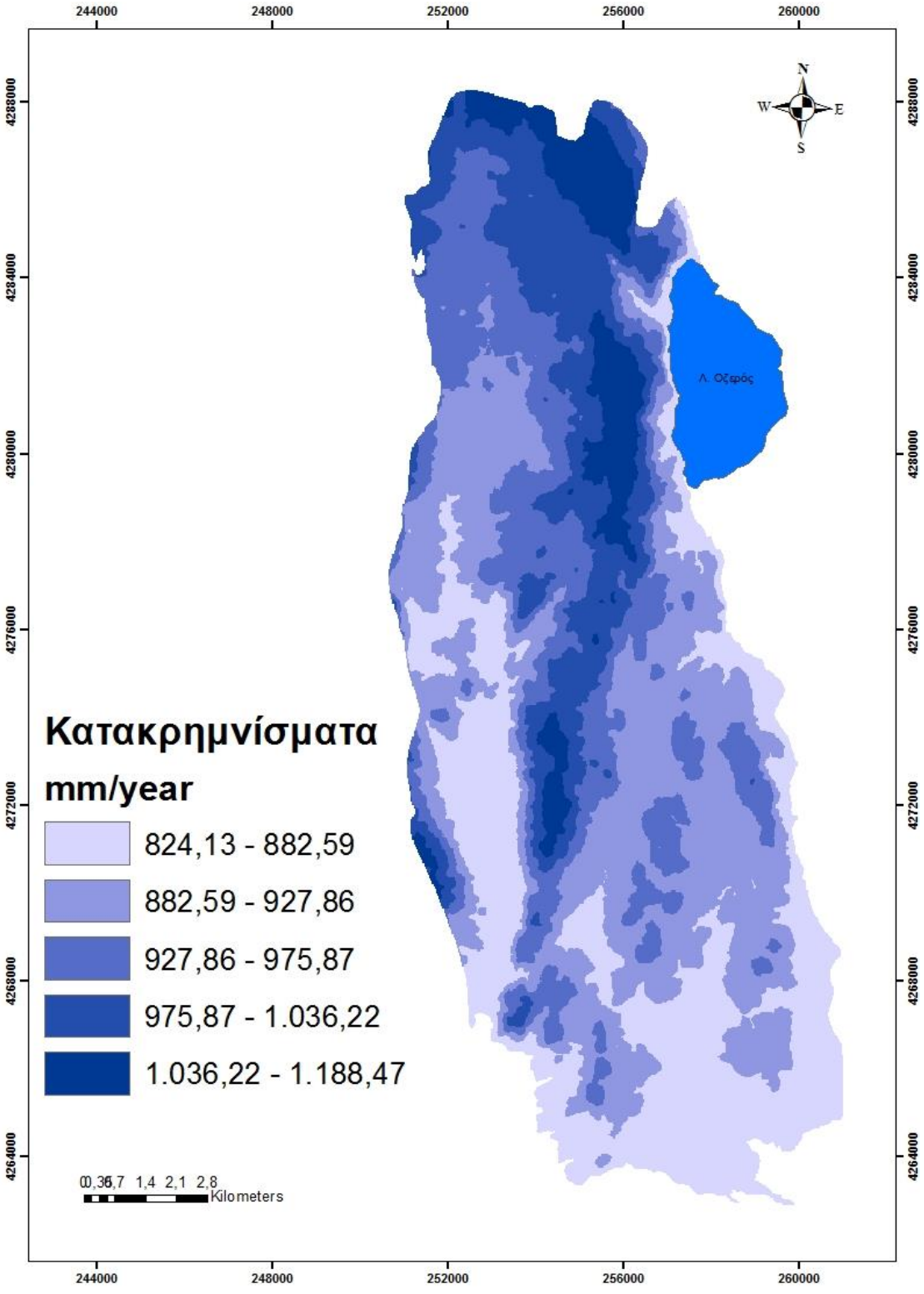
Διάγραμμα 5.2: Συνάρτηση Βροχοβαθμίδας

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η εξίσωση βροχοβαθμίδας της περιοχής είναι **y = 0,7287* x + 824,13** και ο συντελεστής είναι 0,85 που σημαίνει ότι το υψόμετρο επηρεάζει σημαντικά το ετήσιο ύψος βροχής. Επίσης, από την εξίσωση προκύπτει ότι για υψόμετρο 0 που είναι η στάθμη της θάλασσας το ύψος βροχής ισούται με 824,13 mm και ανα 100 m υψομετρικής διαφοράς, το ύψος βροχόπτωσης αυξάνεται 72,87 mm.

Απόλυτο Υψόμετρο (m)	**Ύψος Βροχόπτωσης (mm)**
0	824,13
100	897
200	969,87
300	1042,74
400	1115,61
500	1188,47

Πίνακας 5.3: Αντιστοιχία ισοϋψών - ισοϋέτιων

Επομένως, παρατηρούμε ότι η εξίσωση της βροχοβαθμίδας θα χρησιμοποιηθεί σε περιβάλλον GIS για την κατασκευή του παρακάτω βροχομετρικού χάρτη για την περιοχής μελέτης μετατρέποντας τις ισοϋψείς καμπύλες σε ισουέτειες.



Εικόνα 5.1: Βροχομετρικός χάρτης περιοχής μελέτης

Το μέσο υψόμετρο βροχής για την περιοχή μελέτης είναι 874,19 mm/yr και υπολογίστηκε μέσα από την εμβαδομέτρηση των περιοχών των ισοϋετών καμπυλών. Η συνολική έκταση της περιοχής είναι 170,3 τετραγωνικά χιλιόμετρα και η

περίμετρος της 77,7 χιλιόμετρα. Συνεπώς, προκύπτει ότι η περιοχή δέχεται ετησίως όγκο νερού ίση με 148,7*10^6 κυβικά μέτρα τον χρόνο.

5.7 Εξατμισοδιαπνοή (Ε)

Η εξατμισοδιαπνοή σαν όρος προκύπτει από τις λέξεις εξάτμιση (evaporation) και διαπνοή (transpiration). Εξάτμιση είναι η μετατροπή του νερού σε υδρατμούς. Το νερό εξατμίζεται από όλους τους τρόπους όπως θάλασσες, λίμνες, ποτάμια αλλά και από το έδαφος. Από την ποσότητα νερού που αντλείται από τα φυτά, ένα μόνο μικρό μέρος χρησιμοποιείται για τις ανάγκες της φωτοσύνθεσης, ενώ το περισσότερο διαπνέεται μέσω των στομάτων των φύλλων προς την ατμόσφαιρα.

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας, που φτάνει στην επιφάνεια της γης, είναι μεγαλύτερο από τις 700 θερμίδες ανά τετραγωνικό εκατοστό την ημέρα στις ερημικές θερμές περιοχές και μικρότερο από 100 θερμίδες ανά τετραγωνικό εκατοστό την ημέρα στις πολικές νεφελώδεις περιοχές. Το ποσοστό αυτό της ενέργειας, χρησιμοποιείται για τη φυσική διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Ποικίλλει σε σχέση με την επιφάνεια πρόσπτωσης της ακτινοβολίας. Οι πιο καθοριστικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η εξατμισοδιαπνοή και αποτελούν και ρυθμιστές αυτής είναι η θερμοκρασία και η υγρασία. Με βάση αυτές τις παραμέτρους, έχουν προταθεί διάφοροι τύποι υπολογισμού τόσο της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής όσο και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύει την ποσότητα του νερού που μέσα από τις διαδικασίες της εξατμισοδιαπνοής μεταφέρεται ως υδρατμός προς την επιφάνεια.

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι η ποσότητα του νερού που μέσω της εξατμισοδιαπνοής θα μεταφέρονταν προς την ατμόσφαιρα ως υδρατμός αν η δυνάμενη να ικανοποιήσει τις διαδικασίες αυτές ποσότητα νερού του εδάφους ήταν απεριόριστη.

Οι παραπάνω διαδικασίες συνεχίζονται όλη τη διάρκεια του χρόνου, με διαφορετική ένταση ανάλογα με την εποχή και τον τόπο, με τη διαπνοή να μειώνεται στο ελάχιστο τις νυχτερινές ώρες που τα στόματα των φυτών κλείνουν.

Για την περιοχή μελέτης προτείνονται για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής διάφοροι αποτελεσματικοί τύποι όπως αυτός του Turc (1954). Όμως αυτοί οι εμπειρικοί τύποι δίνουν υπερτιμημένα αποτελέσματα για την περιοχή μελέτης. Βιβλιογραφικά, προτείνεται ότι η συνολική ετήσια ποσότητα νερού που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής είναι περίπου 392 χιλιοστά το χρόνο και 56,8*10^6 κυβικά μέτρα το χρόνο που αντιστοιχεί περίπου στο 47% των κατακρημνισμάτων. Όμως, για τον ακριβέστερο υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, θα ήταν χρήσιμο να γίνει έρευνα σε αναλυτικότερα μοντέλα εκτίμησης και με βάση τις ιδιαιτερότητες της περιοχής.

5.8 Κατείσδυση (I)

Η διαδικασία της εισόδου του νερού στο έδαφος, καθώς και η καθοδική του κίνηση από τα ανώτερα επιφανειακά στρώματα ως προς τα βαθύτερα και με τελικό προορισμό τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες περιγράφεται με τον όρο κατείσδυση. Σε πρώτο στάδιο το νερό συμπληρώνει την εδαφική υγρασία, ενώ το υπόλοιπο συνεχίζει την καθοδική του ροή.

Η καθοδική πορεία του νερού εξαρτάται από σημαντικές παραμέτρους όπως το υψόμετρο της περιοχής, τις κλίσεις, τη λιθολογία, τα εδάφη, την υγρασία του εδάφους, την ένταση και τη διάρκεια της βροχής, την ανάπτυξη των καρστικών δομών (δολίνες, καταβόθρες) και τέλος τις τεκτονικές διεργασίες της περιοχής.

Για τον υπολογισμό της κατείσδυσης χρησιμοποιούνται εμπειρικοί τύποι προσδιορισμένοι εργαστηριακά οι λεγόμενοι συντελεστές κατείσδυσης. Κάθε συντελεστής αντιστοιχεί με διαφορετικό τύπο πετρώματος ανάλογα πάντα και με τις ιδιαιτερότητες της περιοχής. Κατά προσέγγιση, στον Ελλαδικό χώρο οι συντελεστές κατείσδυσης για τα ανθρακικά πετρώματα κυμαίνονται από 40-60%, για τεταρτογενείς αποθέσεις από 20-30% και τέλος για αλλουβιακές αποθέσεις από 3-10%.

5.9 Εφαρμογή Μεθόδου APLIS

Το APLIS είναι μία μέθοδος εκτίμησης του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφόρου ως ποσοστό κατακρημνισμάτων. Αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε καρστικούς υδροφόρους στην Ανδαλουσία της Ισπανίας.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για διάχυτους καρστικούς υδροφόρους όπως είναι και αυτός της περιοχής μελέτης και μας επιτρέπει να εκτιμήσουμε τον μέσο ρυθμό αυτογενούς τροφοδοσίας του υδροφόρου, εκφραζόμενο ως ποσοστό υετού. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή μας δίνει τη δυνατότητα χαρτογράφησης της χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης και συνεπώς την ποσοτική εκτίμηση του νερού που εισέρχεται στον υδροφόρο.

Η μέθοδος APLIS χρησιμοποιεί 5 μεταβλητές που αποτελούν το ακρωνύμιο του ονόματός του και είναι τα εξής:

- **A (Altitude):** Το υψόμετρο που λαμβάνεται από το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους (DEM) το οποίο προκύπτει από την ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών.

- **P (Slope):** Οι κλίσεις σε ποσοστό ανύψωσης (%) μετά από επεξεργασία του ΨΥΜΕ σε περιβάλλον GIS.

- **L (Lithology):** Η λιθολογία της περιοχής μελέτης με χρήση γεωλογικών χαρτών.

- **I (Infiltration):** Περιοχές προνομιακής κατείσδυσης όπως εξωκαρστικές δομές.

- **S (Soil):** Εδαφικοί τύποι περιοχής μελέτης

Οι παραπάνω μεταβλητές εισέρχονται ως ψηφιακά δεδομένα σε περιβάλλον GIS. Επεξεργάζονται μέσα από την βαθμονόμηση (reclassification) με βάση τα δεδομένα του APLIS.

Για κάθε μεταβλητή, καθορίστηκαν κατηγορίες όπου για κάθε μια από αυτές αντιστοιχίστηκαν με αριθμούς της τάξης από 1 έως 10. Η τιμή 1 υποδεικνύει ελάχιστη επίπτωση των τιμών αυτής της μεταβλητής κατά την επαναφόρτιση του υδροφορέα, ενώ η τιμή 10 σημαίνει μέγιστη επιρροή στην επαναφόρτιση. Η βαθμονόμηση των δεδομένων γίνεται με την αντιστοίχιση που φαίνεται στους παρακάτω πίνακες.

Altitude (m) (A)	Rating
≤300	1
(300–600]	2
(600–900]	3
(900–1,200]	4
(1,200–1,500]	5
(1,500–1,800]	6
(1,800–2,100]	7
(2,100–2,400]	8
(2,400–2,700]	9
>2,700	10

Slope (%) (P)	Rating
≤ 3	10
(3 - 5]	9
(5 - 10]	8
(10 - 15]	7
(15 - 20]	6
(20 - 30]	5
(30 - 45]	4
(45 - 65]	3
(65 - 100]	2
> 100	1

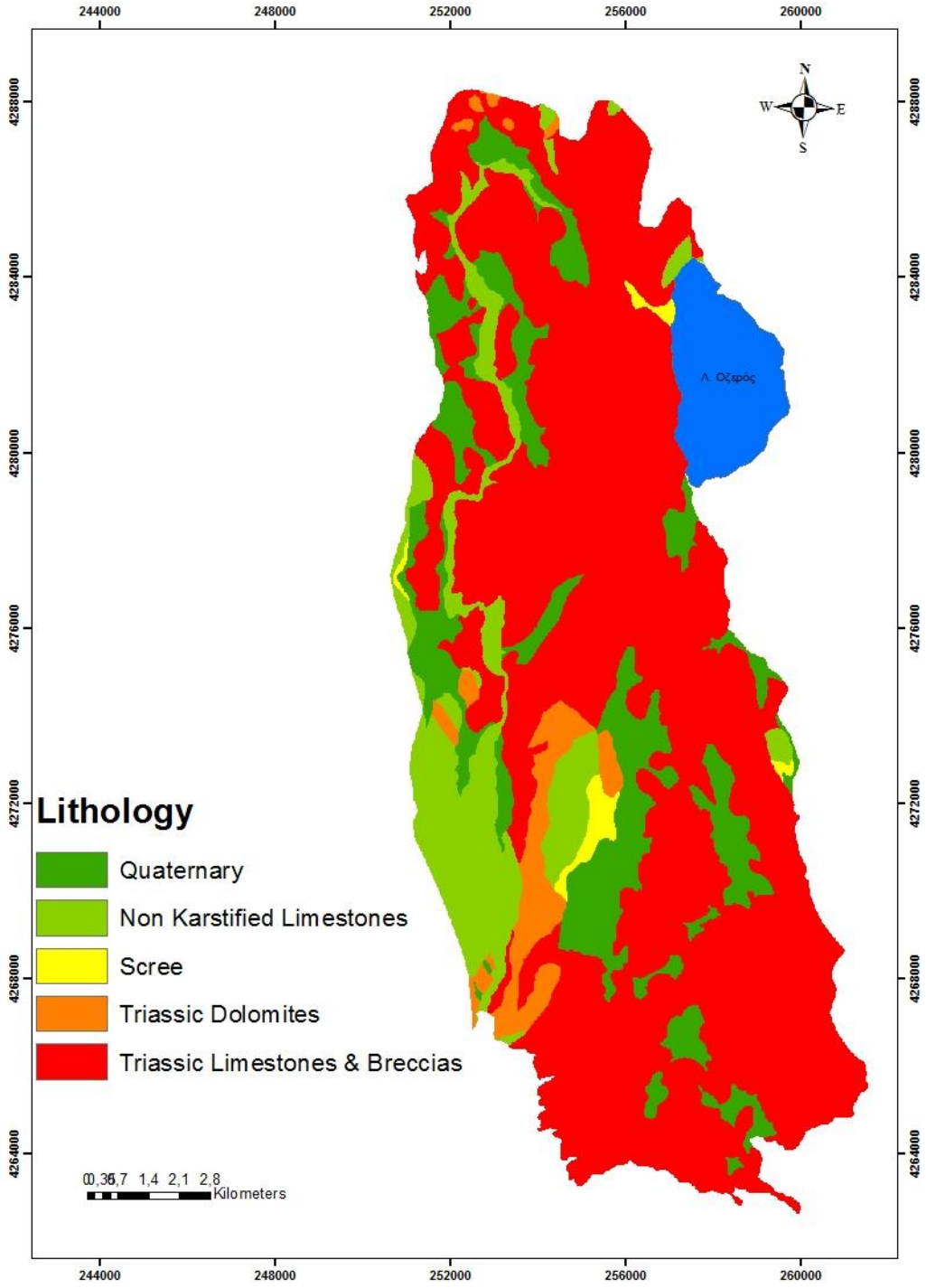
Lithology (L)	Rating
Limestones and dolostones karstified	10 or 9
Limestones and dolostones fracturated, slighted karstified	8 or 7
Limestones and dolostones fissured	6 or 5
Gravels and sands	4
Conglomerates	3
Plutonic and metamorphic rocks	2
Shales, silts, clays	1

Infiltration landforms (I)	Rating
Abundant infiltration landforms	10
Moderate infiltration landforms	5
Scarce infiltration landforms	1

Soil (S)	Rating
Leptosols	10
Arenosols and xerosols	9
Calcareous regosols and fluvisols	6
Euthricregosols and solonchaks	7
Cambisols	6
Euthriccambisols	5
Histosolsandluvisols	4
Chromicluvisols	3
Planosols	2
Vertisols	1

Correction factor (F_h)	Rating
Aquifer	1
Other	0.1

Πίνακας 5.4: Βαθμονόμηση APLIS



Εικόνα 5.2: Λιθολογικός χάρτης περιοχής μελέτης ο οποίος προκύπτει από τη βαθμονόμηση APLIS του πίνακα 5.4(Lithology) και επεξεργασία σε περιβάλλον GIS.

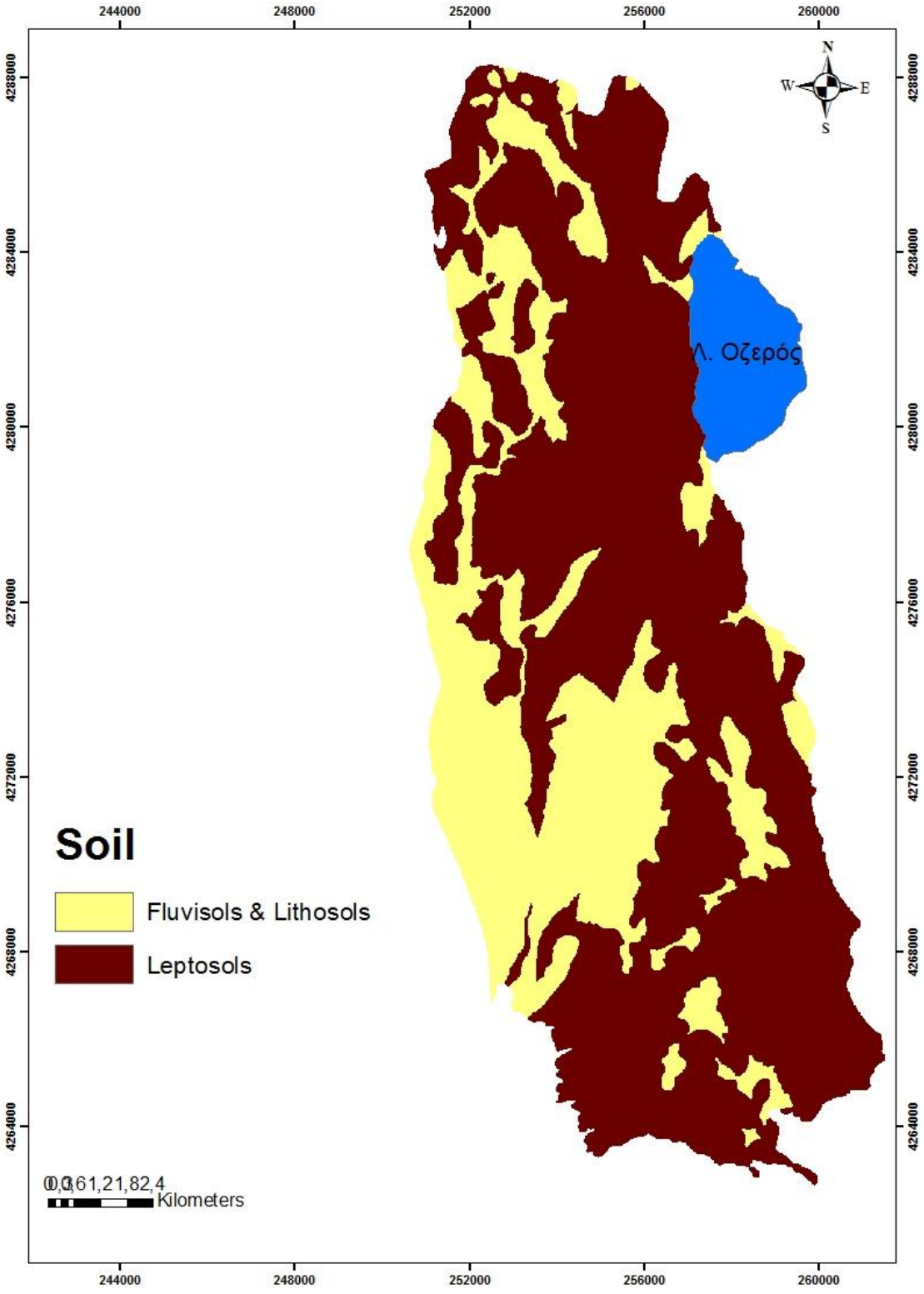
Οι παραπάνω μεταβλητές εισέρχονται ως ψηφιακά δεδομένα σε περιβάλλον GIS. Επεξεργάζονται μέσα από την βαθμονόμηση (reclassification) με βάση τα δεδομένα του APLIS.

Συγκεκριμένα: οι τεταρτογενείς σχηματισμοί για την περιοχή μελέτης (Quaternary) βιβλιογραφικά αντιστοιχούν στην τιμή 1, οι μη καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι (non karstified Limestones) αντιστοιχούν στην τιμή 2, τα πλευρικά κορήματα (scree) παίρνουν τιμή 3, οι τριαδικοί δολομίτες (Triassic dolomites) παίρνουν τιμή 7 και τέλος οι καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι και τα τριαδικά ανθρακικά λατυποπαγή (Triassic limestones and Breccias) παίρνουν τιμή 9.

Η τεκτονική (ώθηση **Makhalas**) της περιοχής μελέτης συνέβαλε στη διαμόρφωση της καρστικής δομής της περιοχής. Οι έντονες καρστικοποιημένες Τριαδικές λατύπες φιλοξενούν σημαντικούς υδροφορείς.

Τύποι εδαφών:

- **Leptosols:** Εδάφη για ανθρακικούς και καρστικοποιημένους σχηματισμούς, γυμνά ή με περιορισμένη θαμνώδη βλάστηση.
- **Fluvisols:** Φλουβιόλες εδάφη, πάνω από τα αλλουβιακά αποθέματα.
- **Lithosols:** Ρηχά εδάφη που αποτελούνται από θραύσματα βράχων.

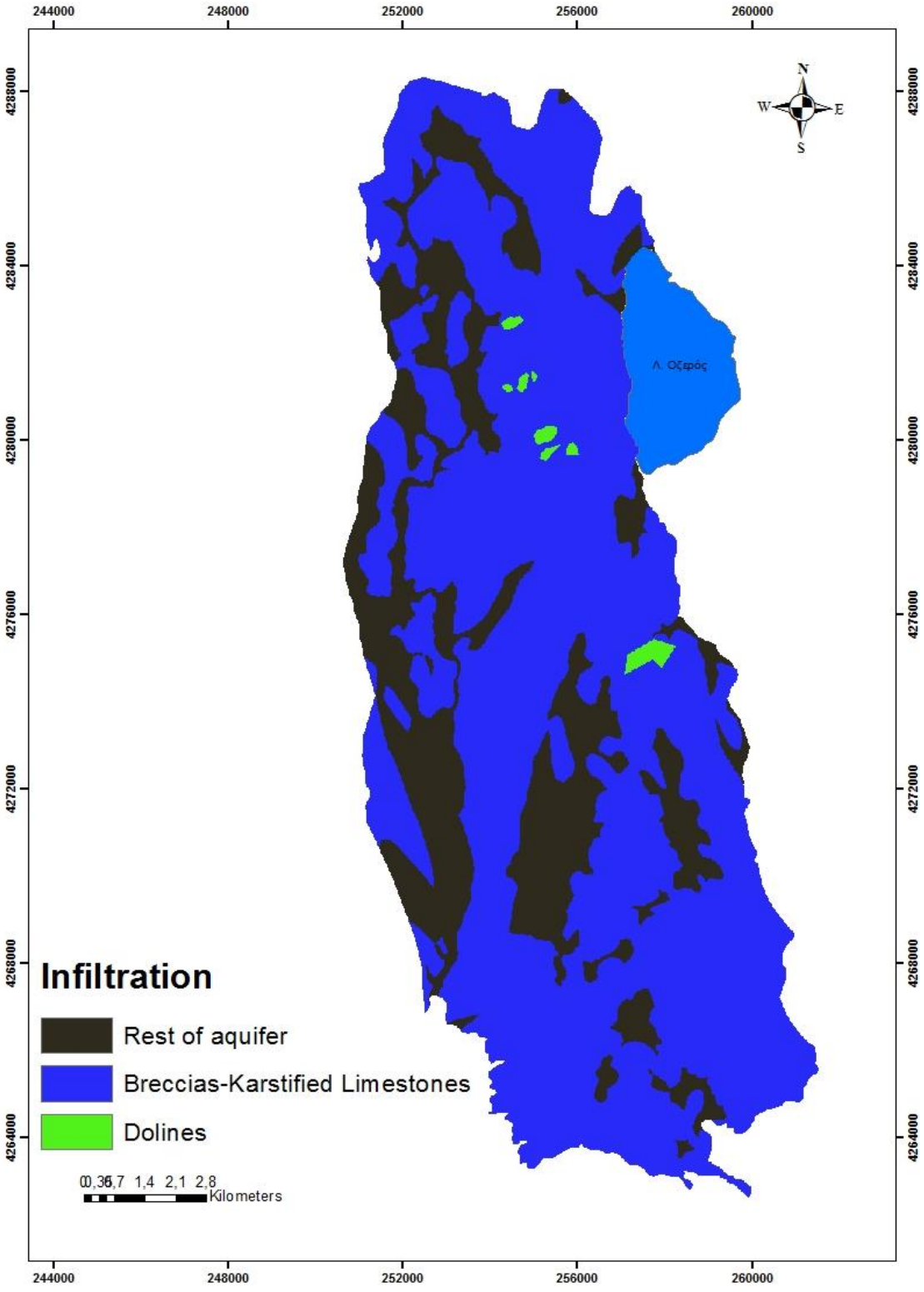


Εικόνα 5.3: Χάρτης εδάφους περιοχής μελέτης ο οποίος προκύπτει από τη βαθμονόμηση APLIS του πίνακα 5.4 (Soil) και επεξεργασία σε περιβάλλον GIS.

Με βάση τον πίνακα 5.4 σε περιβάλλον GIS τα Fluvisols & Lithosols πήραν τη τιμή 6, τα Leptosols τη τιμή 10.

Για τον προσδιορισμό της προνομιακής κατείσδυσης (infiltration) για την περιοχή μελέτης, έγιναν οι παρακάτω διαδικασίες. Αρχικά, μετά από βιβλιογραφική έρευνα αλλά και μέσω της εφαρμογής Google Earth έγινε εύρεση των καρστικών δομών της περιοχής. Στη συνέχεια, αυτές οι καρστικές μορφές ψηφιοποιήθηκαν με την κατασκευή πολυγώνων σε ένα shapefile το οποίο εισήχθη στο πρόγραμμα ArcGis. Τέλος, έγινε μετατροπή του shapefile σε αρχείο KML ώστε να γίνει προσθήκη δεδομένων από το Google Earth.

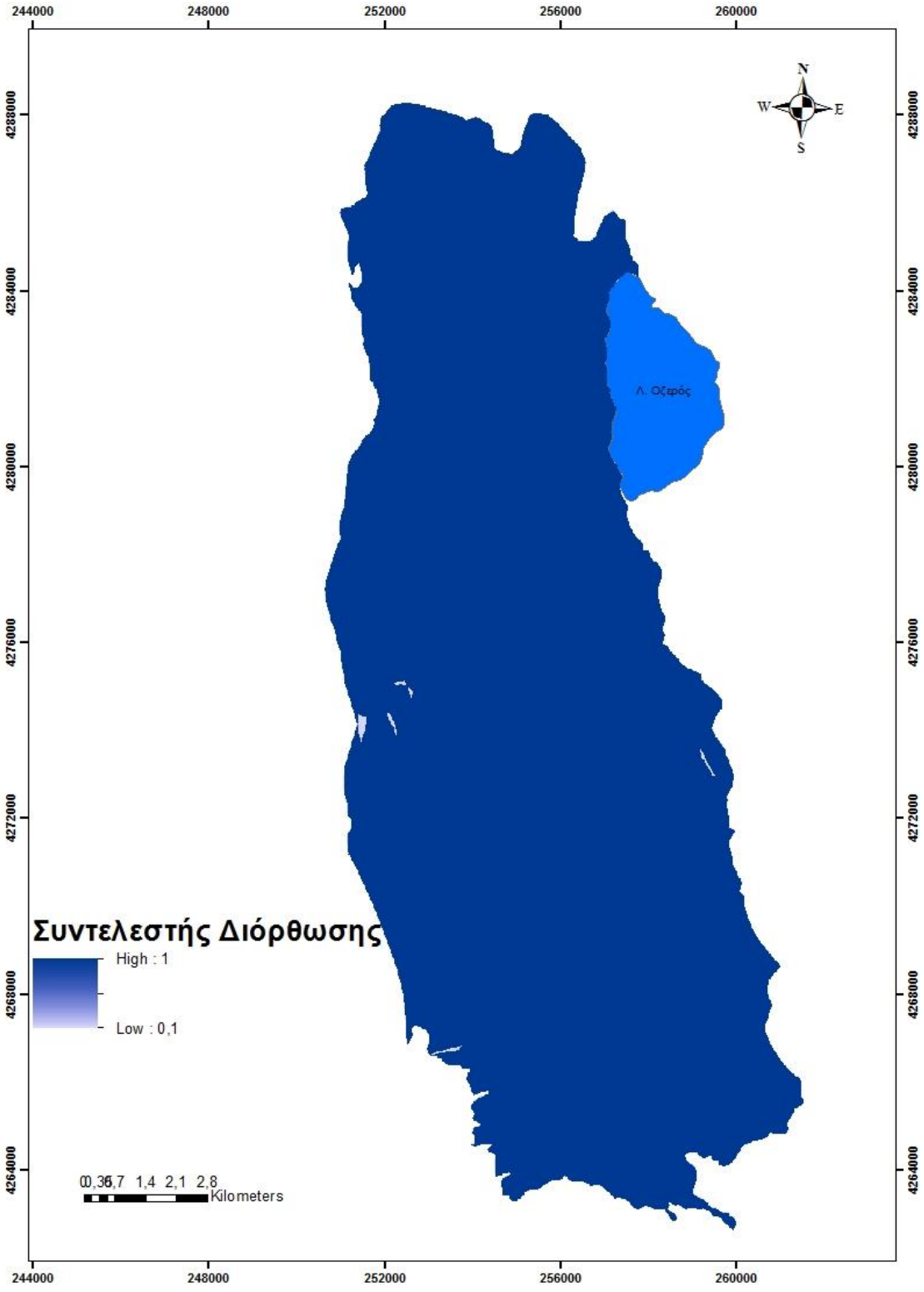
Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο χάρτης κατείσδυσης του νερού για την περιοχή μελέτης ο οποίος μας εκφράζει το βαθμό τροφοδοσίας νερού σε σχέση με την ολική βροχόπτωση της περιοχής.



Εικόνα 5.4: Χάρτης κατείσδυσης νερού για την περιοχή μελέτης ο οποίος προκύπτει από τη βαθμονόμηση APLIS του πίνακα 5.4 (infiltration) και επεξεργασία σε περιβάλλον GIS.

Συγκεκριμένα: Rest of aquifer αντιστοιχούν σε τιμή 1(ελάχιστη τροφοδοσία), Breccias-Karstified Limestones αντιστοιχούν σε τιμή 5 (μέτρια τροφοδοσία) και Dolines αντιστοιχούν σε τιμή 10 (μέγιστη τροφοδοσία).

Στην παραπάνω βαθμονόμηση (πίνακας 5.4) συμπεριλαμβάνεται και ο συντελεστής διόρθωσης Fh ο οποίος παίρνει τη τιμή 1 για υδροφόρα στρώματα και 0.1 για μη υδροφόρα στρώματα που στην περιοχή μελέτης είναι ο φλύσχης και οι σχιστόλιθοι Ποσειδώνια. Παρακάτω, φαίνεται ο χάρτης του συντελεστή διόρθωσης για την περιοχής μελέτης ο οποίος επεξεργάστηκε σε περιβάλλον GIS εισάγοντας τις τιμές 1 για υδροφορείς και 0.1 για μη υδροφορείς.



Εικόνα 5.5: Χάρτης συντελεστή διόρθωσης για την περιοχή μελέτης

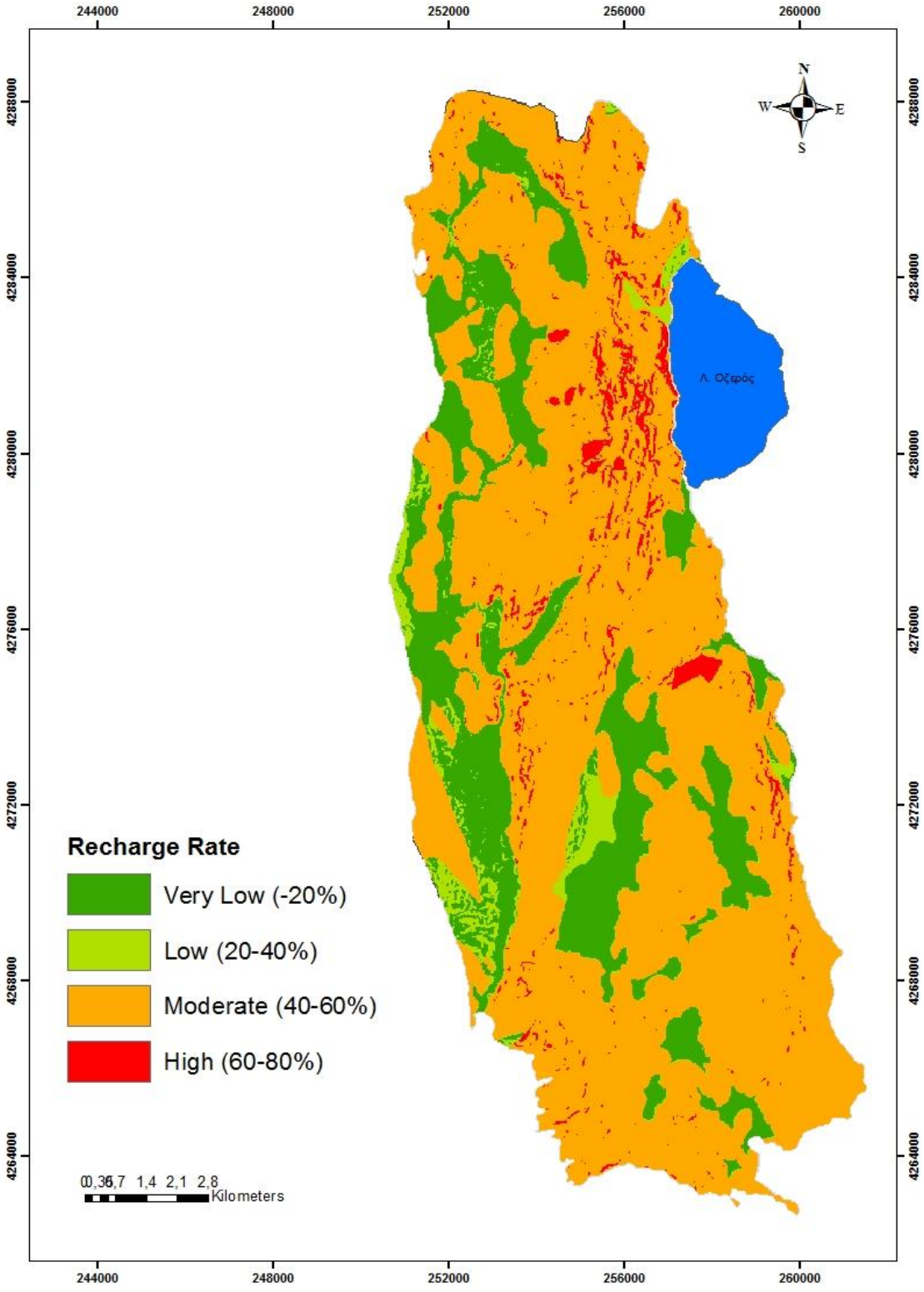
Για την εφαρμογή της μεθόδου APLIS στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση:

$$\mathbf{R = [(A + P + 3*L + 2*I + S) / 0.9] *Fh}$$

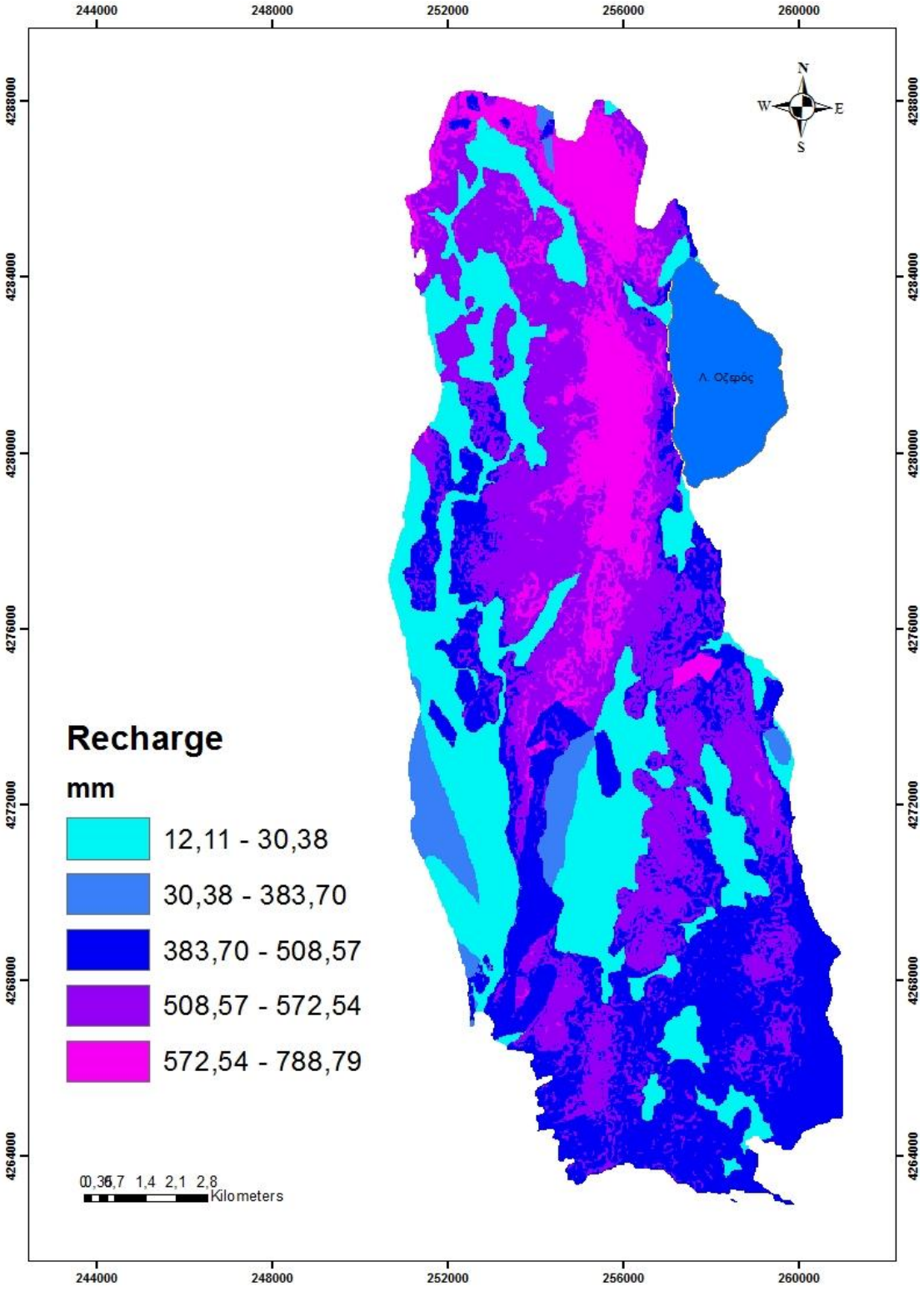
Η παραπάνω σχέση εφαρμόζεται για raster αρχεία κάθε μεταβλητής. Τα αποτελέσματα της μεθόδου για την περιοχή μελέτης δίνονται από τον συνδυασμό των παραπάνω μεταβλητών, όπου κάθε μεταβλητή αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο ποσοστό κατείσδυσης και περιγράφονται ως εξής: Οι περιοχές με το μικρότερο ποσοστό τροφοδοσίας του υδροφόρου έως 20% είναι κυρίως πεδινές με μέτριες κλίσεις και αποτελούνται από τεταρτογενείς αποθέσεις. Ακολουθούν περιοχές χαμηλού υψομέτρου που αποτελούνται από αλλουβιακές αποθέσεις μέχρι και τους πιο πρόσφατους ανθρακικούς σχηματισμούς όπως ασβεστόλιθοι Βίγλας, Ηωκαινικοί κλπ με μερική καρστικοποίηση. Το ποσοστό τροφοδοσίας αυτών των σχηματισμών κυμαίνεται από 20-40%. Την μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης την καταλαμβάνουν τα Τριαδικά ανθρακικά λατυποπαγή που είναι περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο και κλίσεις. Χαρακτηρίζονται από μέτρια τροφοδοσία και σε ποσοστό 40-60%. Τέλος, παρατηρούμε ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά τροφοδοσίας εμφανίζονται σε περιοχές ανάπτυξης καρστικών δομών όπως δολίνες και σε ποσοστό 60-80%.

Επιπλέον, χρησιμοποιώντας τον χάρτη κατανομής των κατακρημνισμάτων υπολογίζεται και ο χάρτης κατανομής της βροχής που κατεισδύει στην περιοχή σε χιλιοστά.

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι χάρτες με τα αποτελέσματα της μεθόδου APLIS τόσο σε ποσοστό επί τις εκατό αυτογενούς τροφοδοσίας (βροχόπτωσης) του καρστικού υδροφόρου, όσο και η χωρική κατανομή της βροχόπτωσης σε χιλιοστά το χρόνο για την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 5.6: Αποτελέσματα APLIS για την περιοχή μελέτης που προκύπτουν με την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης.



Εικόνα 5.7: Ποσότητα κατείσδυσης νερού σε χιλιοστά για την περιοχή μελέτης.

Ο χάρτης της εικόνας 5.6 μας δείχνει το ποσοστό επαναφόρτισης (recharge rate) το οποίο προκύπτει από τη μέση ετήσια τροφοδοσία υπόγειου νερού προς το μέσο ετήσιο άθροισμα βροχοπτώσεων.

Ο χάρτης της εικόνας 5.7 προκύπτει μετά από πολλαπλασιασμό του βροχομετρικού χάρτη (raster αρχείο) με τα ποσοστά APLIS του χάρτη της εικόνας 5.6 (raster αρχείο).

Ο χάρτης της εικόνας 5.7 δείχνει τη χωρική κατανομή της τροφοδοσίας του υπόγειου υδροφόρου σε χιλιοστά, απ΄όπου προκύπτει η μέση ετήσια κατείσδυση του υδροφόρου που είναι 376,2 χιλιοστά το χρόνο.

Για τη συνολική έκταση της περιοχής, κάθε χρόνο ο υδροφόρος ορίζοντας τροφοδοτείται με 54,5*10^6 κυβικά μέτρα το χρόνο το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο 46% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

5.10 Επιφανειακή Απορροή (R)

Η επιφανειακή απορροή ορίζεται ως την ποσότητα του νερού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που φθάνει στην επιφάνεια της γης και καταλήγει στο υδρογραφικό δίκτυο και μέσω αυτού στις λίμνες ή στη θάλασσα.

Η απορροή ταξινομείται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που πέφτουν απευθείας πάνω στην επιφάνεια των υδρορευμάτων.
- Σε εκείνο που πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους και απορρέει πάνω σε αυτή χωρίς να διηθείται προς το υπέδαφος.
- Στην υποδερμική ροή.
- Στο υπόγειο νερό που ανεβαίνει στην επιφάνεια του εδάφους με τη μορφή πηγών.

Η υποδερμική ροή αποτελεί το ποσό του νερού που διηθείται σε μικρό βάθος μέσα στο έδαφος και λόγω διαφορετικής περατότητας με το έδαφος, κυλάει παράλληλα με αυτό και εμφανίζεται ξανά στην επιφάνεια μετά από κάποια διαδρομή.

Η άμεση απορροή περιλαμβάνει την επιφανειακή απορροή, την απευθείας βροχόπτωση στα ρεύματα και την υπεδαφική απορροή.

Η βασική απορροή περιλαμβάνει την υπόγεια απορροή. Το νερό της βροχής είναι η άμεση απορροή και ονομάζεται καθαρή βροχή ή απορροϊκή βροχή.

Η επιφανειακή απορροή εξαρτάται τόσο από κλιματικούς παράγοντες (ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, εξάτμιση, κατακράτηση, διαπνοή) όσο και από φυσιογραφικούς παράγοντες (χαρακτηριστικά λεκάνης και υδρογραφικού δικτύου). Επίσης, σχετίζεται έντονα με την εξατμισοδιαπνοή καθώς και με την κατείσδυση.

Στην περιοχή μελέτης επικρατούν καρστικές γεωμορφές όπου σε συνδυασμό με τις μέτριες έως χαμηλές κλίσεις έχει ως αποτέλεσμα την περιορισμένη επιφανειακή απορροή. Χαρακτηρίζει μια σειρά από μικρά υδρορεύματα που τροφοδοτούν την λίμνη Οζερού βορειοανατολικά της περιοχής, αλλά και ένα μικρό μέρος που τροφοδοτεί επιφανειακά τον ποταμό Αχελώο νοτιοανατολικά της περιοχής μελέτης. Ο προσδιορισμός της επιφανειακής απορροής μπορεί να γίνει έμμεσα από τη σχέση του υδρολογικού ισοζυγίου **R = P – (I + E)** όπου προκύπτει ότι επιφανειακά απορρέει περίπου το 8% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και η μέση ετήσια απορροή είναι περίπου 65 χιλιοστά το χρόνο.

6. Υδρογεωλογία

6.1 Υδρογεωλογική Συμπεριφορά Γεωλογικών Σχηματισμών

Ο όρος υδρογεωλογική συμπεριφορά χρησιμοποιείται με σκοπό να προσδιοριστεί η ικανότητα των γεωλογικών σχηματισμών να μεταβιβάζουν και να αποθηκεύουν το υπόγειο νερό το οποίο καθορίζεται από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του, την υδραυλική αγωγιμότητα, την αποθηκευτικότητα και την μεταβιβαστικότητα.

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών εξαρτάται και επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων. Για παράδειγμα, σημαντικό ρόλο παίζει το συνδετικό υλικό μεταξύ των σχηματισμών. Επίσης, η διάταξη, το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων κυρίως για τα χαλαρά πετρώματα αποτελούν σπουδαίοι παράγοντες για την υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών. Τέλος, αξιοσημείωτος παράγοντας είναι το πορώδες το οποίο διακρίνεται σε πρωτογενές και δευτερογενές. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι στο δευτερογενές πορώδες τα διάκενα (πόροι) των κόκκων αναπτύχθηκαν μετά τον σχηματισμό του πετρώματος.

6.2 Υδρολιθολογική Ταξινόμηση

Για την υδρολιθολογική ταξινόμηση της περιοχής μελέτης έγινε χρήση της ταξινόμησης ΙΑΗ – UNESCO. Αυτή διακρίνει 3 ενότητες:

- Μη συνεκτικά πορώδη πετρώματα.

- Συνεκτικά πετρώματα με δευτερογενή υδροπερατότητα.
- Συνεκτικά και μη συνεκτικά πετρώματα με περιορισμένης σημασίας υδροφορία και άνευ πρακτικής σημασίας.

1.Πορώδη μη συνεκτικά πετρώματα	1^{A}.Εκτεταμένοι και με υψηλή απόδοση υδροφόροι	1^{B}.Τοπικοί ή μέτριου πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι
2.Συνεκτικά πετρώματα με δευτερογενή υδροπερατότητα	2^{A}. Εκτεταμένοι και με υψηλή απόδοση υδροφόροι	2^{B}. Τοπικοί ή μέτριου πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι
3.Συνεκτικά και πορώδη πετρώματα με περιορισμένη ή μη συγκέντρωση υπόγειων υδάτων – χωρίς πρακτική σημασία	3^{A}.Τοπικής σημασίας υπόγεια νερά κυρίως σε ζώνες διάρρηξης και αποσάθρωσης συνεκτικών πετρωμάτων	3^{B}.Υδροφόροι χωρίς πρακτική σημασία ή μη υδροφόροι σχηματισμοί

Πίνακας 6.1: Υδρολιθολογική ταξινόμηση με βάση (IAH) και UNESCO

- **Σημαντικής υδροφορίας:** Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρουσιάζουν σημαντική υδροφορία είναι τα Τριαδικά ανθρακικά λατυποπαγή, ενώ μικρότερης σημασίας υδροφορία παρουσιάζουν οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι.

- **Όχι σημαντικοί / Μικρού πάχους υδροφόροι:** Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι τεταρτογενείς αποθέσεις καθώς και οι σχηματισμοί μετά-Τριαδικής ανθρακικής ακολουθίας.

- **Ελάχιστης σημασίας υδροφόροι:** Τέτοιοι υδροφόροι είναι τα λιμναία ιζήματα, οι κώνοι κορημάτων, οι εβαπορίτες και οι αλλουβιακές αποθέσεις.
- **Αδιαπέρατοι:** Σχηματισμοί αδιαπέρατοι για την περιοχή μελέτης είναι οι σχιστόλιθοι με Ποσειδώνια και ο φλύσχης.

6.3 Ενδοκάρστ

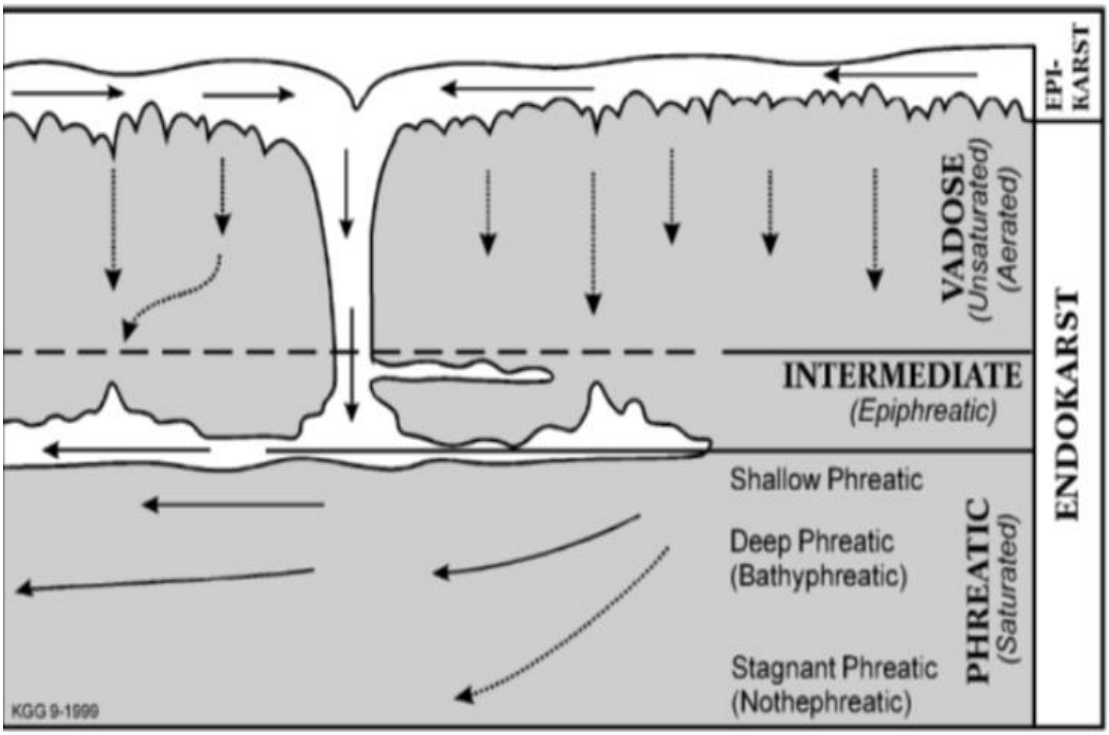
Ο όρος ενδοκάρστ χρησιμοποιείται για το υπόγειο κάρστ και αποτελεί ένα φαινόμενο δευτερογενές για τους σχηματισμούς που παρατηρείται.

Σύμφωνα με τον Bogli, 1980 έχουν κατηγοριοποιηθεί 3 υδρολογικές ζώνες:

- Την ρηχή ζώνη η οποία είναι καρστικά αδρανή και η ροή του νερού είναι καθοδική.
- Την ρηχή – ενδιάμεση ζώνη που είναι όμως καρστικά ενεργή.
- Την φρεάτια ζώνη ή συνεχούς κυκλοφορίας η οποία είναι καρστικά ενεργή.

Το κάρστ ελέγχεται από τη διάλυση του ασβεστολίθου από το νερό. Η υπόγεια αποχέτευση που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη ενδοκάρστ προϋποθέτει ένα δίκτυο υπόγειων υδάτινων ρευμάτων που αποτελούνται κυρίως από αρθρώσεις και επίπεδα στρώματος ή και επαρκές πορώδες. Τέτοια διαπερατά δίκτυα δεν απαντώνται μόνο σε καρστικοποιημένους σχηματισμούς αλλά και σε εύθραυστα αδιάλυτα πετρώματα.

Τα καρστικά υπόγεια ύδατα τροφοδοτούνται με διαρροή νερού από την βροχόπτωση σε γυμνούς ασβεστόλιθους, από κατείσδυση νερού σε εδάφη, από νερό που εισρέει από επιφανειακά ρεύματα και από νερό συμπύκνωσης. Τα διάφορα συστατικά αναμειγνύονται στον υπόγειο υδροφορέα και συσσωρεύονται στη φρεατική ζώνη ή πάνω από το αδιαπέρατο στρώμα, κατά μήκος του οποίου ρέουν στην καρστική πηγή.



Εικόνα 6.2: Ζωνοποίηση καρστικών υδροφορέων (Prof. David Gillieson)

7. Συμπεράσματα

1. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Έχει έκταση 170,3 τετραγωνικά χιλιόμετρα και περίμετρο 77,7 χιλιόμετρα. Βορειοανατολικά της περιοχής βρίσκεται η καρστική λίμνη Οζερός, ενώ στα ανατολικά κάποια σημεία της περιοχής εφάπτονται με τον ποταμό Αχελώο. Γεωτεκτονικά ανήκει στην Ιόνια ζώνη. Επίσης, ορίζεται από την επώθηση του Μαχαλά στα ανατολικά.

2. Το καρστικό σύστημα της υπό μελέτη περιοχής αναπτύσσεται στα Τριαδικά ανθρακικά λατυποπαγή (ΤΑΛ) τα οποία έχουν σχηματισθεί μέσα από τεκτονικές διεργασίες αλλά και από φαινόμενα διαπειρισμού των Τριαδικών εβαποριτών. Οι εβαπορίτες αποτελούν τη βάση του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής. Επιπλέον, αναπτύσσονται οι ασβεστόλιθοι ΄΄Παντοκράτορα΄΄, Βίγλας και Ηώκαινου οι οποίοι είναι μετά – Τριαδικής ακολουθίας. Τέλος, εμφανίζονται οι τεταρτογενείς σχηματισμοί καθώς και αλλουβιακές και λιμναίες αποθέσεις.

3. Ως προς τη γεωμορφολογία, η περιοχή χαρακτηρίζεται από έλλειψη υδρογραφικού δικτύου παρά μόνο εποχιακής δράσης, λόγω τόσο της τοπογραφίας, όσο και των γεωλογικών σχηματισμών και της καρστικής γεωμορφολογίας. Το μέγιστο υψόμετρο φτάνει ως τα 508 μέτρα. Το βορειοδυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από ήπιες κλίσεις. Βορειοδυτικά απαντώνται οι τεταρτογενείς αποθέσεις, οι ασβεστόλιθοι ΄΄Παντοκράτορα΄΄ και Ηώκαινου. Στα νοτιοανατολικά απαντώνται τα Τριαδικά ανθρακικά λατυποπαγή καθώς και οι τεταρτογενείς αποθέσεις. Οι μεγαλύτερες κλίσεις βρίσκονται στην επιμήκη ανύψωση έκτασης 16 χιλιομέτρων η οποία αποτελείται κυρίως από ΤΑΛ, ενώ μεγάλες κλίσεις παρατηρούμε και στους Τριαδικούς δολομίτες νοτιοδυτικά της περιοχής.

4. Ως προς την καρστική γεωμορφολογία, βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης έχουμε την ανάπτυξη έντονων καρστικοποιημένων πετρωμάτων με παρουσία εξωκαρστικών δομών όπως δολίνες και καταβόθρες. Στον οικισμό Πεντάλοφο – Παλαιομάνινα οι εξωκαρστικές μορφές είναι περιορισμένες λόγω της παρουσίας των τεταρτογενών σχηματισμών.

5. Για την περιοχή μελέτης βρέθηκε ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 872,19 χιλιοστά τον χρόνο.

6. Με την εφαρμογή της μεθόδου APLIS στην περιοχή μελέτης, προσδιορίστηκε ο φυσικός εμπλουτισμός του καρστικού υπόγειου υδροφόρου. Το αποτέλεσμα έδειξε μια μέση τιμή της τάξης περίπου 46% (ποσοστό επί τις εκατό βροχόπτωσης που εμπλουτίζει τον υδροφόρο), η οποία τιμή διαμορφώνεται κάθε φορά ανάλογα με το υψόμετρο, τις κλίσεις, τη λιθολογία, τον εδαφικό τύπο και την ανάπτυξη εξωκαρστικών γεωμορφών.

8. Βιβλιογραφία

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δεληγιάννη ΓΚ.Μ. (2011) Καρστική γεωμορφολογική εξέλιξη στη Δυτική Ελλάδα: Η περίπτωση της περιοχής του Ξηρόμερου,

Δούτσος Θ., 2000, Γεωλογία: Αρχές και Εφαρμογές, Leader Books Α.Ε.

Κακαβά Μαρία, 2015, Η διερεύνηση της τρωτότητας του καρστικού συστήματος των τριαδικών λατυποπαγών στο οροπέδιο Παλαιομάνινα-Πεντάλοφος ΝΔ Αιτωλοακαρνανίας,

Κουκουβέλας Ι.Κ., 1998, Τεκτονική Γεωλογία, Leader Books Α.Ε.,

Μουντράκη Δ., 1985, Γεωλογία Ελλάδας, University Studio Press, Θεσσαλονίκη,

ΝΙΚΟΛΑΟΥ, Κ.,1986,Συμβολή στη γνώση του Νεογενούς και της γεωλογίας και οριοθέτησης των ζωνών Ιόνιας και Προαπούλιας,σε σχέση με πετρελαιογεωλογικές παρατηρήσεις κυρίως στα νησιά Στροφάδες,Ζάκυνθο και Κεφαλληνία: Διδακτορική διατριβή,Παν.Αθηνών,228 σ,

Πομώνη-Παπαϊωάννου, Γένεση-Διαγένεση Τριασικών Βρέκτων και οζώδους γύψου του Ήπειρος, Μεταλλευτική και Πετρολογική Έρευνα, 1980,

Τσερόλας Π. Υδρογεωλογική Περιβαλλοντική μελέτη του καρστικού συστήματος των Τριαδικών ανθρακικών λατυποπαγών στο οροπέδιο Παλαιομάνινα-Πεντάλοφο, ΝΔ αιτωλοακαρνανίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας, Παν/μιο Πατρών.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andreo B., 1997, Hidrogeologıa de acuıferos carbonatados en las Sierras Blanca y Mijas [Hydrogeology of carbonate aquifers from Sierras Blanca and Mijas]. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Malaga, 489 pp,

Andreo B., Carrasco F., Sanz de Galdeano C, 1997, Types of carbonate aquifers according to the fracturation and the karstification in a southern Spanish area. Environ Geol 30(3/4):163–173,

Andreo B., Carrasco F., 1999, Application of the geochemistry and the radioactivity in the hydrogeological investigation of carbonate aquifers (Sierras Blanca and Mijas, southern Spain). Appl Geochem 14:283–299,

Andreo B., Goldscheider N., Vadillo I., V´ıas JM., Neukum C., Sinreich M., Jim´enez P., Brechenmacher J., Carrasco F., H¨otzl H., Perles MJ., Zwahlen F., 2005, Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de L´ıbar (Southern Spain). Sci Total Environ, DOI:10.1016/j.scitotenv.2005.05.019,

Arbenz, J. K., 1968, Structural geology ofthe Potato Hills, Ouachita Mountains, Oklahoma, in Cline, L. M. (ed.),

Aubouin J., 1959, Contribution a l' etude geologique de la Grece septentrionale: les confins de l' Epire et de la Thessalie,

Aubouin, J. (1959) Contribution to the geological study of northern Greece The borders of Epirus and Thessaly. Geological Annals of Countries,

Aubouin 1965; Jacobshagen et al. 1978b The geological structure around the Gulf a general NNW-SSE direction,

Aubouin, J., and Dercourt, J., 1970. Sur la geologie de Γ Egee: regard sur le Dodecanese meridional (Kassos, Karpathos, Rhodes), Bull. Soc. Geol. Fr., (7), XII, 455-472,

Bogli A., 1980, Karst Hydrology and Physical Speleology, Springer- Verlag, Berlin Heidelberg New York,

Bonacci O., 1987, Karst Hydrology, with special reference to Dinaric karst. Springer-Verlag, Berlin Heldelberg,

B. P., 1971. The geological results of petroleum exploration in western Greece, Institute of Geology Subsurface Researsh, Athens 10, 73pp.,

Bourcart, J., 1925. The geological setting of lacustrine-marine basins in eastern Albania and their origin,

Clews J.E., 1989, Structural controls on basin evolution: Neogene to Quaternary of the Ionian Zone, Western Greece. Journal of the Geological Society, 146, 447 – 457,

Doutsos T., Pe-Piper G., Boronkay K., Koukouvelas I., 1993, Kinematics of the central Hellenides. Tectonics, 12: 4.,

Doutsos T., Koukouvelas I, Xypolias P., 2006, A new orogenic model for the External Hellenides. In: Robertson, A.H.F. & Mountrakis D. (eds) Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region, Geol. Soc. Spec. Publ. 260, 507 – 520,

Ford D., Williams P., 2007, Karst Hydrogeology and Geomorphology, John Wiley & Sons, LTD, West Sussex, England,

Gillieson D.(1996) Caves: Processes, Development and Management, Oxford, Blackwell Publishers 324pp.,

Huntoon PW (1995) Is it appropriate to apply porous media groundwater circulation models to karstic aquifers? In: El-Kadi AI (ed) Groundwater models for resources analysis and man- agement, chapter 19, pp 339–358,

Jacobshagen V., 1986, Geologie von Griechenland, Berlin, Stuttgard (Borntrager),

Klimchouk A., 200o, Speleogenesis-Evolution of karst Aquifers, National speleological society, Alabana USA,

Kranjc, A(e.d) (2001) Clasical Karst-Contact Karst a symposioum Acta Carsologica 30, (2), 13-164,

Mangin A (1974a) Contribution a l'etude hydrodynamique des aquiferes karstiques. (Contribution the hydrodynamics of karst aquifers). Annales de Speleologie, 29(3):283–332; 29(4):495–601; 30(1):21–124,

Mesozoic-Tertiary tectonic-sedimentary evolution of a south Tethyan oceanic basin and its margins in southern TurkeyAHF Robertson Geological Society, London, Special Publications 173 (1), 97-138,

Renz C. (1955): Dia vorneogene Stratigraphie der normalsedimentar- en Formationen Griechenlands. Inst. Geol. Subsurf. Res, Athen, 1–637,

Thiebault F. (1977) Stratigraphie déjà serie des calcshistes et marbres "plattenkalk" en fenetre dans les massifs de Taygete et du Parnon Peloponesse. Vi col. On the Geol. Aegean region.,

Turc, L. (1954) Le bilan d'eau des sols, relation entre les précipitations, l'evaporation et l'écoulement. Ann. Agron. 5, 491– 596; 6, 5–131,

UNDERHILL, J.R. 1985. Neogene and Quaternary tectonics and sedimentation in Western Greece,

Zagana E., Tserolas P., Floros G., 2011, River- Karst Groundwater interaction based on hydrochemical methods in LambraPalaiomanina Karst System - First results,

Zagana E., Tserolas P., Floros G., 2011, First outcomes from groundwater recharge estimation in evaporate aquifer in Greece with the use of APLIS method , 9th International Hydrological Congress of Greece,

Zagana E. et al., 2007, Methods of groundwater recharge estimation in eastern Mediterranean – a water balance model application in Greece , Cyprus and Jordan , Hydrological Processes 21, p. 2405-2414,

Zagana E. et al., 2007, Chloride ,hydrochemical and isotope methods of groundwater recharge estimation in eastern Mediterranean areas : a case study in Jordan , Hydrological Processes 21, p. 2112-2123.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

https://www.chegg.com

www.greenapple.gr

www.velanidodasos.gr