ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

"Καρστική γεωμορφολογική εξέλιξη στη Δυτική Ελλάδα: Η περίπτωση της περιοχής του Ξηρόμερου"

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΜΙΛΙΑΝΑ ΓΚΟΛΟΥΜΠΟΒΙΤΣ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ

ΑΘΗΝΑ 2011

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Κοσμάς Παυλόπουλος, Αναπλ. Καθηγητής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Στουρνάρας Γιώργος, Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Αθηνών
Βουβαλίδης Κωνσταντίνος, Επ. Καθηγητής , Α.Π.Θ.

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Παυλόπουλος Κοσμάς, Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
Στουρνάρας Γεώργιος, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.
Βουβαλίδης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
George Veni, PhD. Geologist, Executive Director, National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad, New Mexico.
Παρχαρίδης Ισάακ, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
Χαλκιάς Χρίστος, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
Κατσαφάδος Πέτρος, Λέκτορας, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

……..……..……

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου, δεν υποδηλώνει την αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα .

(Ν.. 3685/08, Άρθρο 9)

Στην ιερή μνήμη

της μητέρας μου Rada

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή με τίτλο: "Καρστική γεωμορφολογική εξέλιξη στηΔυτική Ελλάδα: Η περίπτωση της περιοχής του Ξηρόμερου" *εκπονήθηκε στο Τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου. Η διεξαγωγή και η ολοκλήρωση μιας διδακτορικής διατριβής αποτελεί μια σκληρή ερευνητική εμπειρία.*

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη για τη συνδρομή και υποστήριξη πολλών ανθρώπων που με βοήθησαν, συμβάλλοντας ο καθένας με το δικό του τρόπο, στην ολοκλήρωση της διατριβής.

Κατ'αρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κοσμά Παυλόπουλο, Αναπλ. Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστήμιου ο οποίος μου προσέφερε την ευκαιρία να ασχοληθώ με την έρευνα στο πεδίο της Καρστικής Γεωμορφολογίας, καθώς και για την επιστημονική καθοδήγηση, την ουσιαστική επίβλεψη και την αμέριστη υποστήριξη που μου παρείχε. Επίσης, τον ευχαριστώ απεριόριστα για τη συνεχή παροχή γνώσεων και συμβουλών, για τις καίριες παραινέσεις και τη χωρίς φειδώ βοήθειά του, ιδιαιτέρως στα θέματα της μεθοδολογίας της έρευνας σχετικά με την γεωμορφολογική χαρτογράφηση και την εξέλιξη του καρστικού ανάγλυφου της περιοχής μελέτης.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της τριμελούς επιτροπής και συγκεκριμένα:

- *Τον κ.Στουρνάρα Γιώργο, Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστήμιου Αθηνών, που με τίμησε με τη συμμετοχή και συμβολή του, με υποστήριξε και έδειξε ενδιαφέρον και εμπιστοσύνη στην προσπάθειά μου αυτή. Ιδιαιτέρως τον ευχαριστώ γιατί σεβάστηκε την προσέγγισή μου και μέσα σ' ένα πνεύμα ελευθερίας της πανεπιστημιακής έρευνας όπου οδηγήθηκα στην ευδοκίμηση αυτής της προσπάθειας καθώς επίσης και για τις οικοδομητικές παρατηρήσεις του στα θέματα υδρογεωλογίας.*
- *Τον κ.Βουβαλίδη Κωνσταντίνο, Επ. Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., για την πολύτιμη συνεργασία του καθώς και για τις διορθώσεις και συμβουλές του στο τελικό στάδιο της συγγραφής της διατριβής.*

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον κ. George Veni, Dr. Geologist & Executive Director στο National Cave and Karst Research Institute, New Mexico, ο οποίος στο πλαίσιο της συνεργασίας μας, αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα στη συγγραφή της παρούσας διατριβής. Η θετική του στάση, η ενθάρρυνση, οι συμβουλές και η καθοδήγησή του τόσο σε επιστημονικό όσο και σε προσωπικό επίπεδο ήταν πολύτιμες για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής σχετικά με τις βασικές γνώσεις της χρήσης γης, της προστασίας του καρστικού περιβάλλοντος, της καρστικής γεωμορφολογικής εξέλιξης και της καρστικής υδρογεωλογίας.

Οφείλω να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον κ. Ισαάκ Παρχαρίδη, Επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστήμιου, για τη συμμετοχή του στην επταμελή επιτροπή, την συνεργασία, υποστήριξη και τις σημαντικές παρατηρήσεις και υποδείξεις του που ήταν καθοριστικές για την ποιοτική αναβάθμιση της παρουσίασης της διατριβής σχετικά με τα θέματα της τεχνικής επεξεργασίας, της προσαρμογής και της συνεχούς μελέτης των δορυφορικών εικόνων σε σχέση με το καρστικό ανάγλυφο.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες και στα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής:

- *στον κ. Χρήστο Χαλκιά, Επ. Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιου, οποίος μου παρείχε βασικές γνώσεις και συμβουλές για τη διαχείριση του λογισμικού GIS ArcInfo 9.2 σχετικά με την επεξεργασία και ανάλυση των ψηφιακών δεδομένων. Επίσης, για την υποστήριξη που ελάμβανα από μέρος του, την παρουσία του στην παρουσίαση αυτής της διατριβής και τα σχόλια του πάνω στην εργασία.*
- *στον κ. Πέτρο Κατσαφάδο, Λέκτορα του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου για τις εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις του που βελτίωσαν την παρούσα ερευνητική εργασία.*

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και στη φίλη και συνάδελφο Δρ. Κατερίνα Θεοδωρακοπούλου για τις εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις της στη διαμόρφωση, γλωσσική επιμέλεια και οργάνωση της δομής του κειμένου της διατριβής, καθώς επίσης και για τη συνεχή προσωπική υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές και βοήθειά της από την πρώτη μέρα της γνωριμίας μας.

Επίσης ένα θερμό ευχαριστώ οφείλω στους συναδέλφους μου υποψήφιους διδάκτορες κ. Βανδαράκη Δημήτρη και κα. Κουρκούλη Πηνελόπη για τη στήριξη που μου παρείχαν αυτό το

διάστημα, πάντα με ευχαρίστηση, και τις γνώσεις τους σε τεχνικά θέματα και άλλα που άπτονταν στα γνωστικά τους πεδία.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην φίλη Δρ. Ρεγγίνα Κουτσή για την ευγένειά της, την υπομονή και την άμεση και αμέριστη βοήθειά της στις συνεχείς απορίες μου.

Το πιο μεγάλο ευχαριστώ απ' όλα δικαιωματικά το αφιερώνω στη μάμα μου κ. Ραντίνκα Γκολούμποβιτς η οποία ήταν η «δύναμή» μου όλο αυτό το χρονικό διάστημα που δέχτηκε με μεγάλη χαρά και περηφάνια να στηρίξει τόσο ηθικά όσο και οικονομικά την επιθυμία μου για συνέχιση των σπουδών μου.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στο σύζυγό μου Ευθύμιο Δεληγιάννη και στα παιδιά μας Χριστόφορο και Γιέλενα, για την αμέριστη και ανιδιοτελή συμπαράσταση και βοήθεια που μου προσέφεραν δίπλα μου σε όλες τις δύσκολες στιγμές, καθώς επίσης και για την υπομονή που έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια μέχρι την περαίωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ **11**
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ **17**
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ **23**

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ **25**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ **27**
2.1. Γενικά **27**
2.2. Διεργασίες και στάδια εξέλιξης του Καρστ **29**
2.2.1. Χημική διάλυση *33*
2.2.2. Αποσάθρωση *37*
2.2.3. Μεταφορά των υλικών *38*
2.2.4. Απόθεση *39*
2.2.5. Επικάρστ (epikarst) *40*
2.2.6. Τα στάδια της εξέλιξης του καρστ *41*
2.3. Οι παράγοντες εξέλιξης του καρστ **45**
2.3.1. Οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την εξέλιξη του καρστ είναι: *45*
2.3.2. Γεωγραφικό πλάτος, κλίμα και καρστικοποίηση *47*
2.3.3. Οι κύριοι γεωμορφολογικοί παράγοντες *48*
2.4. Τύποι του καρστ **51**
2.4.1. Ιστορική ανασκόπηση των τύπων του καρστ (Jovan Cvijić 1926) *51*
2.4.2. Ολο-καρστ *51*
2.4.3. Τύπων Κοσόβου *52*
2.4.4. Μέρο-καρστ *53*

2.4.5. Τύπων Ιούρας *54*
2.4.6. Η σύγχρονη τυπολογία των τύπων του καρστ .....
(Alexander Klimchouk, Derek Ford; 2000) *55*
2.4.7. Συνγγενετικό καρστ (Syngenetic karst) *56*
2.4.8. Ενδο-στρωματικό καρστ (Intrastratal karst) *56*
2.4.9. Εκτεθειμένο καρστ (Exposed karst) και Αποκαλυμμένο καρστ (Exhumed karst) *57*

Οι τυπικές επιφανειακές καρστικές μορφές

2.5. Οι γλυφές **61**
2.5.1. Επιφανειακά ελεύθερες γλυφές *63*
2.5.2. Γλυφές με φυτική κάλυψη ή καλυμμένες γλυφές *66*
2.6. Οι δολίνες **67**
2.6.1. Η ταξινόμηση των τύπων των δολινών *68*
2.7. Οι ουβάλες **77**
2.8. Οι πόλγες **79**
2.8.1. Οι γεωμορφολογική παράγοντες της πόλγης *80*
2.9. Οι επιφανειακές καρστικές μορφές και η υδρολογική λειτουργία τους **85**
2.9.1. Καρστικές πηγές *85*
2.9.2. Καρστικές κοιλάδες *86*
2.9.3. Το σύστημα της αποστράγγισης των καρστικών περιοχών *90*

Οι τυπικές υπόγειες καρστικές μορφές

2.10. Οι υπόγειες καρστικές μορφές της διάβρωσης **91**
2.10.1. Καρστικά φρέατα (Jama) *92*
2.10.2. Σπήλαια *93*
2.10.3. Καρστικοί αγωγοί *94*
2.10.4. Οι υπόγειες καρστικές μορφές συσσώρευσης *94*
2.10.5. Η επικάλυψη των τοιχωμάτων *95*
2.10.6. Οι σπηλαιολιθωματικοί σχηματισμοί *95*
2.10.7. Οι αποθέσεις τραβερτίνη ή όνυξ των σπηλαίων *96*
2.10.8. Οι αποθέσεις των συσσωρευμένων μηχανικών ερειπίων *96*
2.10.9. Τα κοκκινοχώματα *97*
2.11. Οι υπόγειες καρστικές μορφές με την υδρολογική λειτουργία τους **99**
2.11.1. Καταβόθρες (ponor, swallow hols) *99*
2.11.2. Καρστικές πηγές *100*

2.11.3. Περιοδική καρστική πηγή (Potajnica, Intermittent spring) *100*
2.11.4. Υποθαλάσσιες καρστικές αναβλύσεις (Vrulja) *101*
2.11.5. Εσταβέλλα (Estavela, Estavellas) *102*
2.12. Διαχείριση καρστικών περιοχών **105**
2.12.1. Καρστικό νερό, αξίες, τρόποι και πηγές μόλυνσης και ρύπανσης *107*
2.12.2. Καρστικό οικοσύστημα, χλωρίδα και πανίδα *110*
2.12.3. Καρστ και γεωργία *111*
2.12.4. Οικοδόμηση και Καρστ *112*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΞΗΡΟΜΕΡΟΥ (Β.Α. Αιτωλοακαρνανία) ... **115**
3.1. Γεωγραφική θέση **115**
3.2. Ιστορική αναδρομή και βιβλιογραφική ανασκόπηση **119**
3.3. Δημογραφία και πληθυσμιακά στοιχεία της περιοχής μελέτης **123**
3.4. Το κλίμα της περιοχής **125**
3.5. Γεωργία – Καλλιέργειες **131**
3.6. Χλωρίδα **133**
3.7. Πανίδα **135**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΚΑΡΣΤ ΚΑΙ ΓΣΠ **137**
4.1. Καρστ και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) **137**
Ι ΦΑΣΗ
4.2. Δημιουργία ψηφιοποιημένου μοντέλου του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής μελέτης **139**
ΙΙ ΦΑΣΗ
4.3. Δημιουργία τρισδιάστατου (3D) χάρτη με οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης (Εικόνα 3.1) **141**
ΙΙΙ ΦΑΣΗ
4.4. Δημιουργία ψηφιοποιημένου μοντέλου των γεωλογικών χαρτών της περιοχής μελέτης (Εικόνα 6.2) **143**

IV ΦΑΣΗ

4.5. Δημιουργία του ψηφιοποιημένου μοντέλου του χάρτη των καρστικών μορφών της περιοχής μελέτης (π.χ.: Εικόνες: 7.21, 7.22) **145**

V ΦΑΣΗ

4.6. Υδρολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης **147**

VI ΦΑΣΗ

4.7. Δημιουργία του ψηφιοποιημένου μοντέλου του γεωμορφολογικού χάρτη των καρστικών μορφών της περιοχής μελέτης (παράρτημα: Καρστ Γεωμορφολογικός Χάρτης της περιοχής του Ξηρόμερου) **149**

VII ΦΑΣΗ

4.8. Δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του χάρτη Χρήσεων Γης της περιοχής μελέτης (Εικόνες 9.2, 9,4) **151**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ **153**

5.1. Γεωλογία – Τεκτονική **153**

5.2. Χημική και ορυκτολογική ανάλυση των πετρωμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου **155**

5.2.1. Χημική ανάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου 159

5.2.2. Ορυκτολογική ανάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου *160*

5.2.3. Χημική ανάλυση των γύψων της περιοχής του Ξηρόμερου *161*

5.2.4. Ορυκτολογική ανάλυση των γύψων της περιοχής του Ξηρόμερου *161*

5.2.5. Λιθοστρωματογραφία *162*

5.3. Γεωμορφολογική εξέλιξη **169**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΚΑΡΣΤ ΤΟΥ ΞΗΡΟΜΕΡΟΥ **171**

6.1. Καρστική εξέλιξη **171**

6.2. Καρστικές μορφές της περιοχής του Ξηρόμερου **175**

6.3. Οι πόλγες **177**
6.3.1. Γεωγραφική ανασκόπηση των πολγών *183*
6.4. Οι δολίνες **195**
6.4.1. Γεωγραφική ανασκόπηση των δολινών *218*
6.5. Οι ουβάλες, γεωγραφική ανασκόπηση **225**
6.6. Καταβόθρες **233**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΞΗΡΟΜΕΡΟΥ **239**
7.1. Υδρογεωλογία και υδρολογία **239**
7.1.1. Γεωτρητική έρευνα της περιοχής μελέτης *242*
7.1.2. Αξιολόγηση των γεωτρήσεων *242*
7.1.3. Δειγματοληψίες και χημική ανάλυση του νερού *243*
7.1.4. Αποτελέσματα των των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων *244*
7.1.5. Γνωμάτευση των δειγμάτων *250*
7.2. Υδρογεωλογική έρευνα **251**
7.3. Καρστική υδρογραφική λεκάνη της περιοχής του Ξηρόμερου **257**
7.3.1. Περιοδικό υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης *257*
7.3.2. Υδροδότηση της περιοχής μελέτης *257*
7.3.3. Φρέατα και κρήνες της περιοχής μελέτης *258*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8. ΚΑΡΣΤ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ **263**
8.1. Μελέτη του καρστ με τη χρήση τηλεπισκόπησης **263**
8.2. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal component analysis-PCA) **265**
8.3. Ανάλυση δεδομένων του Tasseled Cap Μετασχηματισμού (TCs) **269**
8.4. Συμπεράσματα **273**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9. ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ 263

9.1. Χρήσεις γης 279

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ –ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ 285

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 293

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΞΕΝΗ 297

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 307

ABSTRACT 311

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 315

«Καρστικός γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής του Ξηρομερου» 315

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εικ.2.1: Χάρτης Σλοβενίας, η περιοχή του καρστ – Kras. 27
Εικ.2.2: Η συνθετική ταξινόμηση των ανθρακικών πετρωμάτων από τον Leighton και Pendexter (1962). 31
Εικ.2.3: Ο κύκλος απόθεσης των ανθρακικών ιζημάτων (με έντονα περίγραμμα) και των σχετικά μεικτών πετρωμάτων (σκιασμένα) (Klimchouk, Ford, 2000). 32
Εικ.2.4: Ο κύκλος της χημικής αποσάθρωση του ασβεστόλιθου 34
Εικ.2.5: Η ζώνη του επικάρστ με το σύστημα αποστράγγισης του επιφανειακού ύδατος. 41
Εικ.2.6: Ο σχηματισμός και εξέλιξη των γλυφών (Rillenkarren ή Firstrillenkarren) βασισμένο στον Leser (1995) 61
Εικ.2.7: Kamenica, περιοχή μελέτης του Ξηρόμερου (Veni, 2010) 63
Εικ.2.8: Trittkarren 64
Εικ.2.9: A =Rinnenkarren και B = Mäanderkarren 64
Εικ.2.10: Έντονα κομμένες και απότομες επιφάνειες του πετρώματος 65
Εικ.2.11: Δυο τύποι των Rundkarren (A.- σταυρωτό, B. - σήραγγα) 65
Εικ.2.12: A. Καλυμμένες γλυφές; B. Καλυμμένες μαιανδρικές γλυφές (Arbeitsgemeinschaft Höhle & Karst Grabenstetten e.V.; 1996-2007) 66
Εικ. 2.13: Το σύστημα της υπόγειας αποστράγγισεις των διαλυσιγενενών δολινών συμφώνα με Cvijić (1926) 68
Εικ.2.14: Οι δισκοειδείς δολίνες (A.,B.), γεμισμένες με τις αποθέσεις του παγετώνα-μορένες, εξελισσόμενες σε μορφή ουβάλας (B.) 72
Εικ.2.15: Οι δολίνες καθίζησης - Subsidence dolines (Sauro, 2003) 72
Εικ.2.16: Η χοανοειδείς διαμορφωμένες δολίνες, βυθισμένες με την διάλυση τους 73
Εικ.2.17: Οι εγκατακρημνισμενείς δολίνες (A.,B.) (B. με γεμισμένα κενά της σπηλιάς) (Sauro, 2003) 74
Εικ.2.18: Οι δολίνες καθίζησης - Subsidence dolines (Sauro, 2003) 75
Εικ.2.19: Η χοανοειδείς διαμορφωμένες δολίνες, βυθισμένες με την διάλυση τους 76
Εικ.2.20: Τεκτογενείς πόλγες (Jennings, 1971) 81
Εικ.2.21: Οι τύποι των πολγών (A, B, Γ) (Ford, Williams, 1989) 84

Εικ.2.22: Η σταδιακή εξέλιξη του συστήματος αποστράγγισης (Drew, 1985; πρωτότυπο του Hanwell) 86
Εικ.2.23: Δημιουργία κρεμαστής κοιλάδας ως αποτέλεσμα της παγετώδους διάβρωσης. (Renton, 1994) 87
Εικ.2.24: Τρεις φάσεις της εξέλιξης της κλειστής καρστικής κοιλότητας (White,1988) 88
Εικ.2.25: Α: Σαν φρεάτιο διαμορφωμένες δολίνες ..., Β: Καρστικά φρέατα 92
Εικ.2.26: Τρόπος λειτουργίας της περιοδικής καρστικής πηγής (Petrović, 1977) (Α. τροφοδοτικός αγωγός, Β. διοχετευτικός αγωγός, Γ. καρστικό έγκοιλο) 100
Εικ.2.27: Τρόπος λειτουργίας των υποθαλάσσιων καρστικών αναβλύσεων (Milanović, 2004) (1. Υποθαλάσσιες καρστικές αναβλύσεις; 2. περιοδικά λειτουργικές πηγές στο επίπεδο της θάλασσας; 3. περιοδικά λειτουργικές πηγές μονό κατά την διάκεια του υψηλού υδροφόρου ορίζοντα; 4. ο υδροφόρος ορίζοντας) 102
Εικ.2.28:Τρόπος λειτουργίας της εσταβέλλας (Petrović, 1977) 103
Εικ.2.29: Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, συνέπειες και επιδράσεις στην εκτάση του καρστ με Williams (1993). 106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εικ.3.1: Χάρτης της Ελλάδας και γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης του Ξηρόμερου 117
Εικ.3.2: Το διάγραμμα των κύριων τιμών της θερμοκρασίας (oC) ανά μήνα στην περιοχή του Ξηρόμερου (Μετεωρολογικός σταθμός Ακτίου (Πρέβεζας) για περίοδο 1958 – 2010) 127
Εικ.3.3: Το διάγραμμα των τιμών της υγρασίας (%) ανά μήνα στην περιοχή του Ξηρόμερου (Μετεωρολογικός σταθμός Ακτίου (Πρέβεζας) για περίοδο 1958 – 2010) 127
Εικ.3.4: Το διάγραμμα των κύριων τιμών της θερμοκρασίας (oC) ανά μήνα στην περιοχή του Ξηρόμερου (Μετεωρολογικός σταθμός Αγρίνιου για περίοδο 1958 – 2010) 127
Εικ.3.5: Το διάγραμμα των τιμών της υγρασίας (%) ανά μήνα στην περιοχή του Ξηρόμερου (Μετεωρολογικός σταθμός Ακτίου (Πρέβεζας) για περίοδο 1958 – 2010) 128

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Εικ.5.1: Γεωλογικός χάρτης της βορειοδυτικής Ελλάδας με την εμφάνιση των γεωλογικών ζωνών , (Καρακίτσος, 1995) 153

Εικ.5.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης του Ξηρόμερου 157
Εικ.5.3: Λιθοστρωματογραφική κολώνα της περιοχής μελέτης (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΤΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ ΓΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΙΓΜΕ, κλίμακες 1:50.000) 163
Εικ.5.4: Η γυμνή πλαγιά των γύψων του βουνού Πυραμίς. 164
Εικ. 5.5: Κροκαλολατυποπαγή της περιοχής της πόλγης Λιβάδια (Veni, 2010) 164
Εικ.5.6: Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα στους πρόποδες του βουνού Μποουμίστος στην πόλγη Στιναδιά (Veni, 2010) 165

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εικ.6.1: Οι πόλγες της περιοχής του Ξηρόμερου 1799
Εικ.6.2: Διαγραμματική απεικόνιση των βαθών των πολγών σε σχέση με τα μέγιστα υψόμετρα των πολγών της περιοχής του Ξηρόμερου 181
Εικ.6.3: Διαγραμματική απεικόνιση των ελαχίστων υψομέτρων των πολγών σε σχέση με επιφάνειες των πολγών της περιοχής του Ξηρόμερου 181
Εικ.6.4: Διαγραμματική απεικόνιση των όγκων των πολγών σε σχέση με τα ελάχιστα υψόμετρα των πολγών της περιοχής του Ξηρόμερου 182
Εικ.6.5: Διαγραμματική απεικόνιση των ελάχιστων υψομέτρων των πολγών σε σχέση με μέγιστα υψόμετρα των πολγών της περιοχής του Ξηρόμερου 182
Εικ.6.6: Οι πόλγες και χουμ σε σχέση με τα υψομετρικά επίπεδα ανά 100m της περιοχής μελέτης της περιοχής του Ξηρόμερου 185
Εικ.6.7: Οι υδρό -δεξαμενές της πόλγης Φράξιας 186
Εικ.6.8: Πανόραμα της πόλγης Στινάδια 188
Εικ.6.9: Επίγειες δεξαμενές ύδατος στην περιοχή της πόλγης Γελαδομαντρα 190
Εικ.6.10: Πόλγη Σπηλιά 191
Εικ.6.11: Λίμνο δολίνη της πόλγης Σπηλιά 192
Εικ.6.12: Η καταβόθρα της πόλγης Σπηλιά 192
Εικ.6.13: Τύποι των δολίνων στην περιοχή του Ξηρόμερου 198
Εικ.6.14: Ψηφιακό μοντέλο των καταβόθρων της περιοχής του Ξηρόμερου 198
Εικ.6.15: Διαγραμματική απεικόνιση του αριθμού των δολινών σε σχέση με το τύπο του γεωλογικού υπόβαθρου της περιοχής του Ξηρόμερου 215
Εικ.6.16: Διαγραμματική απεικόνιση των βαθών των δολινών σε σχέση με τα μέγιστα υψόμετρα των δολινών του Ξηρόμερου 216

Εικ.6.17: Διαγραμματική απεικόνιση των μέγιστων υψόμετρων των δολινών σε σχέση με τις επιφάνειες των δολινών της περιοχής του Ξηρόμερου 216
Εικ.6.18: Διαγραμματική απεικόνιση των μέγιστων υψόμετρων των δολινών σε σχέση με τα ελάχιστα υψόμετρα των δολινών της περιοχής του Ξηρόμερου 217
Εικ.6.19: Οι δολίνες σε σχέση με τα υψομετρικά επίπεδα ανά 100m της περιοχής μελέτης της περιοχής του Ξηρόμερου 219
Εικ.6.20: Δολίνη Χώνες 220
Εικ.6.21: Δολίνη Χώνες, το ρήγμα 221
Εικ.6.22: Το κανάλι από την δολιίνη Χώνες 221
Εικ.6.23: Το κανάλι προς την δολίνη Χώνες 222
Εικ.6.24: Πανόραμα της δολίνης Σταδοπήγαδο 223
Εικ.6.25: Το ρήγμα της δολίνης Σταβοπήγαδα 223
Εικ.6.26: Γύψος της δολινής Σταδοπήγαδο 224
Εικ.6.27: Προβολή της TIN εικόνας της ουβάλας της περιοχής του Ξηρόμερου 225
Εικ.6.28: Διαγραμματική απεικόνιση των μέγιστων υψόμετρου των ουβάλων σε σχέση με τα ελάχιστα υψόμετρα των ουβάλων της περιοχής του Ξηρόμερου 227
Εικ.6.29: Διαγραμματική απεικόνιση των ελάχιστων υψόμετρων των ουβάλων σε σχέση με τις επιφάνειες των ουβάλων της περιοχής του Ξηρόμερου 227
Εικ.6.30: Διαγραμματική απεικόνιση των ελάχιστων υψόμετρων των ουβάλων σε σχέση με των όγκων των ουβάλων της περιοχής του Ξηρόμερου 228
Εικ.6.31: Οι ουβάλες σε σχέση με τα υψομετρικά επίπεδα ανά 100m της περιοχής μελέτης της περιοχής του Ξηρόμερου 231
Εικόνα 6.32: Οι καταβόθρες σε σχέση με τα υψομετρικά επίπεδα ανά 100m της περιοχής μελέτης της περιοχής του Ξηρόμερου 235
Εικόνα 6.33: Ψηφιακό μοντέλο των καταβόθρων της περιοχής του Ξηρόμερου 237

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Εικ.7.1: Οι θέσεις των δειγματοληψιών του νερού και γεωτρήσεων στην περιοχή του Ξηρόμερου 241
Εικ.7.2: Πλασματικό υδρολογικό δίκτυο ρεμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου 253
Εικ.7.3: Φυσικές δολίνες διάλυσης 258
Εικ.7.4: Τεχνητή υδρο-δεξαμενή 258

Εικ.7.5: Ύδρο-δεξαμενές στην περιοχή της πόλγης Φράξιας 259
Εικ.7.6: Υδρο-δεξαμενές στην περιοχή της δολίνης Χωνες 259
Εικ.7.7: Υδρο-δεξαμενές στην περιοχή της πόλγης Χώνες 259
Εικ.7.8: Η αλλουβιακή δολίνη … στην δολίνη Χώνες 260
Εικ.7.9: Λιμνοδολίνα και καταβόθρα στην περιοχή της πόλγης Σπήλια 261

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Εικ.8.1: Συσχετισμός της φασματικής ζώνης 1 (μπλέ του ορατού) προς την φασματική ζώνη 2 (πράσινο του ορατού) του Landsat 5 TM..... 265
Εικ.8.2: Για να γίνει αντιληπτό το αποτέλεσμα της μετατροπής σε κύριες συνιστώσες ας σκεφθούμε τη διεργασία ως έναν μαθηματικό προσδιορισμό νέων αξόνων στο χώρο ώστε οι νέες εικόνες να έχουν χαμηλό συσχετισμό και να είναι ιεραρχημένες σύμφωνα με την περιεχόμενη πληροφορία. 266
Εικ.8.3: PCA έγχρωμη εικόνα με χρήση των τριών πρώτων στοιχείων ως RGB 267
Εικ.8.4: TCs έγχρωμη εικόνα 271
Εικ.8.5: Έγχρωμη εικόνα PCA με τις καρστικές μορφές του τοπίου του Ξηρόμερου 275
Εικ.8.6: Έγχρωμη εικόνα TC με τις καρστικές μορφές του τοπίου του Ξηρόμερου 277

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Εικ. 9.1: Διάγραμμα αναλυτικής κατανομής των Χρήσεων Γης στην περιοχή μελέτης (συμπληρωμένο υπόμνημα στο Πινάκα 9.1)..... 279
Εικ.9.2: Συμπληρωμένος αναλυτικός χάρτης της κατανομής των Χρήσεων Γης της περιοχής του Ξηρόμερου με βάση με βάση τα ψηφιακά δεδομένα του προγράμματος Corine Land Cover 2000 (έκδοση 13; 02/2010)(συμπληρωμένο υπόμνημα στο Πινάκα 9.1)..... 281
Εικ.9.3: Διάγραμμα συνοπτικης κατανομης των Χρήσεως Γης στην περιοχή μελετής, περιοχή του Ξηρόμερου (συμπληρωμένο υπόμνημα στο Πινάκα 9.2)..... 282
Εικ.9.4: Χάρτης συνοπτικής κατανομής των χρήσεων γης στην περιοχής μελέτης (συμπληρωμένο υπόμνημα στο Πινάκα 9.2)..... 283

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ –ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Εικ.1: Ο σκουπιδότοπος του πυθμένα της καταβόθρας στην πόλγη Σπήλια, 0,7 χιλ. βόριο-βορειοδυτικά του χωρίου Παππαδάτος, περιοχή του Ξηρόμερου 290
Εικ.2: Ο σκουπιδότοπος στους πρόποδες κάτω (περίπου 0,3χιλ.) από το χωρίο Κομπωτή, περιοχή του Ξηρόμερου 291

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Πίνακας 3.1: Στατιστικά στοιχειά των δημοτικών κοινοτήτων της περιοχής μελέτης και πληθυσμιακή διαφορά για τα έτη 1991/2001 123
Πίνακας 3.2: Τα μετεωρολογικά στοιχεία σταθμού Αγρινίου 159
Πίνακας 3.3: Τα μετεωρολογικά στοιχεία σταθμού Πρέβεζας 159

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Πίνακας 5.1: Έκθεση αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των πετρωμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου 159
Πίνακας 5.2: Έκθεση αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των κροκαλολατυποπαγών της περιοχής του Ξηρόμερου 159
Πίνακας 5.3: Έκθεση αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των πετρωμάτων της γύψου της περιοχής του Ξηρόμερου υπέρ της Εταιρείας KNAUF ΕΛΛΑΣ. 161

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Πίνακας 6.1: Μορφολογικά χαρακτηριστικά των πολγών της περιοχής του Ξηρόμερου 180
Πίνακας 6.2: Οι πόλγες σε σχέση με τα υψομετρικά επίπεδα ανά 100m της περιοχής μελέτης, περιοχής Ξηρόμερου. 183
Πινάκας 6.3: Μορφολογικά χαρακτηριστικά των δολινών της περιοχής του Ξηρόμερου 199
Πίνακας 6.4. Ο αριθμός των δολινών σε σχέση με το υψόμετρο του Ξηρόμερου 218
Πινάκας 6.5: Μορφολογικά χαρακτηριστικά των ουβάλων της περιοχής του Ξηρόμερου 226
Πινάκας 6.6: Ο αριθμός των ουβάλων σε σχέση με το υψόμετρο του Ξηρόμερου 229
Πινάκας 6.7: Ο αριθμός των καταβόθρων σε σχέση με το υψόμετρο του Ξηρόμερου 233

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Πίνακας 7.1: Στοιχεία ερευνητικών γεωτρήσεων στην περιοχή κεντρικού Ξηρόμερου 242
Πίνακας 7.2: Χημική ανάλυση νερού υδρογεωλογικής έρευνας περιοχής του Ξηρόμερου..... 242
Πίνακας 7.3: Χημική ανάλυση του νερού της περιοχής του Ξηρόμερου, της δολίνης Μιζίτρια, ΔΕΙΓΜΑ Νο1. 244
Πίνακας 7.4: Χημική ανάλυση του νερού της υδρο-δεξαμενής περιοχής του Ξηρόμερου, της πόλγης Νο2, ΔΕΙΓΜΑ Νο2. 245
Πίνακας 7.5: Χημική ανάλυση του νερού της υδρο-δεξαμενής της περιοχής του Ξηρόμερου, της πόλγης Νο2, ΔΕΙΓΜΑ Νο3. 246
Πίνακας 7.6: Χημική ανάλυση του νερού της υδρο-δεξαμενής της περιοχής του Ξηρόμερου, της πόλγης Σπηλιά, ΔΕΙΓΜΑ Νο4. 247
Πίνακας 7.7: Χημική ανάλυση του νερού της λημνο δολίνης περιοχής του Ξηρόμερου, της πόλγης Σπηλιά, ΔΕΙΓΜΑ Νο5. 248
Πίνακας 7.8: Χημική ανάλυση του νερού του πηγαδιού της περιοχής Ξηρόμερου, της πόλγης Σπηλιά, ΔΕΙΓΜΑ Νο6. 249
Πίνακας 7.9: Χημική ανάλυση του νερού, των διαλυμένων μετάλλων σε mg/ ℓ της πόλγης Σπηλιά, ΔΕΙΓΜΑ Νο6. 249

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Πίνακας 8.1: TC συντελεστές για Thematic Mapper αισθητήρα (πηγή: ERDAS, Imagine) 270

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Πινάκας 9.1: Αναλυτική κατανομή των Χρήσεων Γης στην περιοχή μελέτης 279
Πινάκας 9.2: Συνοπτική κατανομή των Χρήσεων Γης στην περιοχή του Ξηρόμερου..... 282

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

*Η **Γεωγραφία** είναι η σύνθετη επιστήμη που ερευνά, μελετά, περιγραφεί και ερμηνεύει τις φυσικές και ανθρωπογενείς επιδράσεις, τις διαδικασίες εξέλιξής τους και κατ΄ επέκταση τις σχέσεις ανάμεσά τους. Παρόλο που δεν είναι η μοναδική επιστήμη που ασχολείται με την Γη και το άνθρωπο, είναι η μόνη η όποια μπορεί να συνδέσει το ανθρωπογενές περιβάλλον που διαμορφώνει το χώρο μέσα στον οποίο εξελίσσονται οι κοινωνίες, επηρεάζοντας τον τρόπο ζωής τους.*

Στο πλαίσιο της εκπόνησης της Διδακτορικής Διατριβής για το αντικείμενο της Καρστικής Γεωμορφολογίας γίνεται προσπάθεια να καλυφτούν και συνδεθούν τα κύρια γεωγραφικά ζητήματα τα οποία δημιουργούν τη βάση για τη σωστή διαχείριση του καρστικού περιβάλλοντος και δημιουργία του βασικού γεωγραφικού μοντέλου για την εξερεύνηση των καρστικών περιοχών στο μέλλον. Με άλλα λόγια, το βασικό γεωγραφικό μοντέλο έχει ως στόχο την δημιουργία των γεωγραφικών ταυτοτήτων των καρστικών περιοχών που θα διευκολυνθούν και συγχρόνως να διασυνδέσου τις μέλλον επιστημονικές έρευνες. Αρχικά, γίνεται καταγραφή και περιγραφή των γεωγραφικών στοιχείων της περιοχής μελέτης και στη συνέχεια κατανόηση των γεωμορφών που δημιουργούνται σε αυτόν τον καρστικό χώρο, καθορίζοντας συγχρόνως τα υδρογραφικά δίκτυα που συνδέουν αυτές. Η μελέτη του καρστ περιλαμβάνει:

- *Περιγραφή και διαχωρισμό των επιφανειακών και υπογείων μορφών του καρστ,*
- *Παρουσίαση των επιφανειακών και υπόγειων νερών, πηγαδιων, φρεατίων και πηγών της περιοχής μελέτης,*
- *Διεργασίες και στάδια εξέλιξης του καρστ,*
- *Γεωμορφολογική εξέλιξη του καρστ της περιοχής μελέτης,*
- *Προσδιορισμό των πολιτισμών, του πλούτου και των χρήσεων του καρστ από τους προϊστορικούς μέχρι τους σύγχρονους χρόνους της περιοχής μελέτης,*
- *Δημιουργία ψηφιακής βάσης δεδομένων σχετικά με τα τοπογραφικά, γεωλογικό - τεκτονικά, γεωμορφολογικά και υδρολογικά στοιχειά της περιοχής μελέτης.*

Τα προαναφερθέντα θέματα δημιουργούν βάση πληροφοριών που χρησιμεύει στην ολοκληρωμένη διαχείριση των καρστικών περιοχών. Όταν αγνοείται η σωστή διαχείριση, οι καρστικές περιοχές τίθενται σε φυσικό κίνδυνο που επεξηγεί το εύθραυστο των περιβαλλόντων του καρστ και μπορεί να βλάψει ή να απειλήσει την περιβαλλοντική ποιότητα και την ανθρώπινη υγεία. Η αστικοποίηση, η ανάπτυξη και οι άλλοι τύποι χρήσεων γης μπορούν να αυξήσουν τους φυσικούς κινδύνους που συνδέονται με το καρστ, κίνδυνοι που επηρεάζουν αρνητικά τις φυσικές και γεω-

υδρολογικές διαδικασίες στο καρστικό περιβάλλον. Η ανθρώπινη δραστηριότητα και η ρύπανση των καρστικών τοπίων μπορούν επίσης να ασκήσουν καταστρεπτική επίδραση στη βιολογική κοινότητα που αναπτύσσεται μέσα στις καρστικές περιοχές, συχνά με ανεπανόρθωτες βλάβες.

Αυτές οι καταστροφικές δραστηριότητες μπορούν να οδηγήσουν στη μόλυνση του υδροφόρου στρώματος. Τα επιφανειακά νερά και τα υπόγεια νερά σε καρστικά συστήματα συχνά συνδέονται άμεσα. Μερικές κοινές πηγές μόλυνσης του καρστ αποτελούν οι χωματερές, οι διαρροές των επικίνδυνων βιομηχανικών αποβλήτων, οι απορροές των αυτοκινητοδρόμων, οι χωματερές στις καταβόθρες, τα σηπτικά συστήματα, οι έντονες γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Η ρύπανση των πηγών του νερού κατανάλωσης εκθέτουν την υγεία των κατοίκων σε μολυσματικούς παράγοντες, όπως στα « κολοβακτηρίδια κοπράνων, E.Coli, νιτρικά άλατα λόγω της ύπαρξης νεκροταφείων ή/και άλλων ρύπων που μεταφέρουν τα όμβρια ύδατα στη λεκάνη απορροής της περιοχής μελέτης» (Belo, 2003). Εκτός από την ακραία ευπάθειά τους στη μόλυνση, στα υδροφόρα στρώματα του καρστ είναι εξαιρετικά δύσκολη εάν όχι αδύνατη η αποκατάσταση τους.

Οι ακατάλληλες χρήσεις γης μπορεί να οδηγήσουν στην αποχώρηση ή καθίζηση της επιφάνειας του καρστικού εδάφους. Επίσης, αυτοί οι κίνδυνοι μπορούν να περιλάβουν τις υλικές ζημιές και σε κτίρια όπως ράγισμα θεμελίων και τοίχων ή κατάρρευση οικοδομήσεων, κατάρρευση εδάφους των δρόμων ή σπάσιμο των υπόγειων σωληνώσεων κοινής ωφέλειας.

Επίσης, σε ορισμένες περιοχές η έντονη υπερβόσκηση οδηγεί σε υποβάθμιση του εδάφους, αποψίλωση των δασών, διάβρωση του εδάφους, καταστροφή του epikarst και βραχώδη απερήμωση.

Η έλλειψη νομοθεσίας σχετικής με το ιδιόμορφο καρστικό περιβάλλον είναι δεδομένη, αλλά ακόμη και όταν η νομοθεσία λαμβάνει υπόψη την πολυπλοκότητα και την ιδιομορφία του καρστικού περιβάλλοντος τα πιθανά οφέλη που απορρέουν από τις πράξεις αυτές συχνά παραμένουν στα χαρτιά λόγω της έλλειψης εφαρμογής από τις αρχές.

Μέσω αυτής της εργασίας υποδεικνύεται η σπουδαιότητα της μελέτης των γεωγραφικών δεδομένων και γνώσεων για την καλύτερη κατανόηση τις σύγχρονης κατάστασης που επικρατεί στο καρστικό περιβάλλον, και βάση αυτής, η μελλοντική ανάπτυξη που επιτυγχάνεται μέσω του χωροταξικού σχεδιασμού.

2. ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ

2.1. Γενικά

Ο όρος ΚΑΡΣΤ προέρχεται από την Ινδό – ευρωπαϊκή λέξη karra/gara που σημαίνει "το πετρώδες έδαφος" (Gams: 1973, 1991, 2003; Kranjc, 2001). Στα σύνορα της Σλοβενίας με την Ιταλία υπάρχει μια γεωγραφική περιοχή με ασβεστόλιθους που ονομάζεται ΚΡΑΣ, ενώ την ιδία στην Ιταλία την ονομάζουν carso, και στη Γερμανία karst (Εικόνα 2.1) Το όνομά της προκύπτει με την γλωσσική εξέλιξη από kar(r)a-karst-kras (Ford, Williams, 2007). Στην περιοχή αυτή, ιστορικά, το έδαφος ήταν πετρώδες και άγονο (λόγω της αποψίλωσης των δασών της και της ανεξέλεγκτης υπερβόσκησης που είχαν οδηγήσει στην απώλεια μεγάλου μέρους του εδαφικού μανδύα στις δολίνες και στα σπηλαία (Gams, 1993). Ιδίως στη διεθνή γεωγραφική και γεωμορφολογική βιβλιογραφία για τον όρο καρστ, χρησιμοποιείται η γερμανική λέξη ΚΑΡΣΤ (KARST).

Εικ.2.1: Χάρτης Σλοβενίας, η περιοχή του καρστ – Kras.

Το καρστικό ανάγλυφο δημιουργείται συνήθως στους ανθρακικούς σχηματισμούς (στους ασβεστόλιθους, δολομίτες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, στα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή) και στους εβαπορίτες (στους γύψους, ανυδρίτες και στα άλατα). Και αντιπροσωπεύεται από ένα σύμπλεγμα διαφορετικών επιφανειακών και υπογείων καρστικών μορφών που εμφανίζουν ιδιαίτερα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Το κύριο χαρακτηριστικό, αυτών των πετρωμάτων, είναι η μεγάλη ικανότητα της διάλυσης και αποσάθρωσης (χημικής και

μηχανικής) καθώς και της δευτερογενούς περατότητας της μάζας τους σε σχέση με τα άλλα πετρώματα. Αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι το φαινόμενο της **καρστικοποίησης**.

Τα νερά που συμμετέχουν στην διεργασία της καρστικοποίησης μπορούν να είναι μετεωρικά, θαλάσσια, από τις βαθιές ιζηματογενείς λεκάνες και από τα μαγματικά πετρώματα, καθώς και από ανάμιξη δύο ή περισσότερων ειδών νερού, με διαφορετικές αναλογίες.

Η καρστική εξέλιξη, δηλαδή η εξέλιξη του καρστικού ανάγλυφου, είναι αργή και συνεχόμενη που διαρκεί εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια, εξελισσόμενη σε μεγάλες επιφανειακές και υπόγειες εκτάσεις πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων. Στην ανάπτυξη των επιφανειακών και υπογείων μορφών του καρστικού ανάγλυφου εκτός από την χημική διάλυση, την αποσάθρωση και την απογύμνωση, δεν μπορούμε να παραλείψουμε και το ρόλο της λιθολογίας, της γεωλογικής δομής και των τεκτονικών μετακινήσεων, όπως επίσης και της υδρολογίας, του κλίματος και της βλάστησης.

Ο Huntoon (1995) καθόρισε το καρστ ως εξής:

«Το σύστημα του καρστ, είναι ένα ενσωματωμένο σύστημα της μάζας των διαλυτών πετρωμάτων, που με την επίδραση του νερού που κυκλοφορεί στα ίδια τα ορυκτά, και με την διαλυτότητα, και την διαπερατότητά τους, διαμορφώνονται καρστικές μορφές των κατακλάσεων, ρηγματώσεων, αγωγών που διευκολύνουν τη κυκλοφορία του νερού».

Αυτός ο καθορισμός δεν απαιτεί τα πετρώματα να έχουν μια συγκεκριμένη λιθολογία, ούτε να υπάρχει μια συγκεκριμένη διαδικασία της διάλυσής τους. Το κυκλοφορούμενο υγρό δεν περιορίζεται μόνο στο νερό, αν και αυτό είναι το κυρίαρχο στοιχείο στο καρστ. Αυτός ο ορισμός είναι αρκετά ευρύς για να περιγράψει το σύστημα της κυκλοφορίας του νερού στις ελεύθερες και περιορισμένες γεωλογικές δομές, στις ρηχές και βαθιές επιφανειακές ή υπόγειες περιοχές του υπόβαθρου (Klimchouk, Ford; 2000).

Υπολογίζεται ότι τα καρστικά τοπία καταλαμβάνουν μέχρι 10% της επιφάνειας της γης, και ότι το ¼ του παγκόσμιου πληθυσμού εκμεταλλεύεται και χρησιμοποιεί τα καρστικά νερά.

Στην Ελλάδα το 33% του ανάγλυφου της επιφάνειας καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα (Παπαδοπούλου, 2000). Λόγω της ευρύτατης εξάπλωσης αυτών των πετρωμάτων, η ανθρωπογενής δραστηριότητα και εκμετάλλευση των καρστικών περιοχών είναι σημαντική σε σχέση με τα πλούτη του καρστ, όπως είναι το νερό, ο ορυκτός πλούτος και η φυσική ομορφιά του, που είναι συνδεδεμένες με την ορυκτό-μεταλλευτική βιομηχανία, την κατασκευή των δρόμων, κτιρίων και των υπογείων και άλλων δομών που στηρίζονται στα ασταθή τοπία του καρστ. Για το λόγο αυτόν, ο προγραμματισμός της χρήσης γης των καρστικών περιοχών έχει ζωτική σημασία για τις περιοχές του καρστ και είναι το «κλειδί» για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου σε ανθρώπινα και φυσικά συστήματα.

2.2. Διεργασίες και στάδια εξέλιξης του Καρστ

Ο τρόπος και ο τύπος της καρστικής εξέλιξης, εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Μερικοί από τους πιο σημαντικούς είναι οι ακόλουθοι:

- το είδος του καρστικού πετρώματος,
- το βάθος ενταφιασμού του καρστ,
- η έκταση της ανάπτυξης του καρστ στην επιφάνεια της γης,
- η αποσάθρωση του καρστ, λόγω καρστικοποίησης.

Αρχή και βάση της καρστικής εξέλιξης, αποτελεί η χημική διάλυση και η αποσάθρωση των καρστικών πετρωμάτων.

Η χημική διάλυση αρχίζει στην επιφάνεια των καρστικών πετρωμάτων, τα οποία δεν είναι πάντα εντελώς ομοιογενή και για αυτό υπάρχουν συχνά πολλές ρωγμές, και ρήγματα. Η χημική διάλυση των καρστικών πετρωμάτων με αργό ρυθμό μεταφέρεται προς τα υπόγεια πετρώματα μέσω των διαρρήξεων και των ρηγμάτων.

Η χημική διάλυση του νερού στην επιφάνεια των καρστικών πετρωμάτων, προηγείται της αποσάθρωσης του πετρώματος μέχρι τις συμπιέσεις των ρωγμών. Με τη διεύρυνση και μεγέθυνση αυτών των ρωγμών αρχίζει η πιο έντονη επιρροή της μηχανικής αποσάθρωσης. Με τη διεύρυνση των ρωγμών και ραγισμάτων το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού κατεισδύει σε βαθύτερα στρώματα.

Στην επιφάνεια έχουμε εμφάνιση των μεγαλύτερων ρευμάτων του νερού. Αυτά τα υδατορεύματα εκτός από την κινητική ενέργεια, που διαθέτουν παράλληλα και τη χημική και την μηχανική αποσάθρωση. Η μηχανική είναι πιο γρήγορη και μορφολογικά πιο δραστική από την αντίστοιχη χημική.

Στην επιφάνεια του εδάφους εμφανίζονται καρστικές γεωμορφές. Οι επιφανειακές καρστικές μορφές εξελίσσονται όταν το καρστικό τοπίο είναι επίπεδο και περιορισμένο πάντα στην επιφάνεια.

Στο πρώτο και ουσιαστικό βήμα στην εξέλιξη του καρστ διευρύνονται οι σχισμοί του καρστικού πετρώματος στις επαρκώς μικροσκοπικές διασυνδεμένες μεταβάσεις επιτρέποντας την μετάβαση του νερού από τις επιφάνειες των ορεινών περιοχών όπου βυθίζονται υπογείως προς το κατώτατο σημείο των γειτονικών κοιλάδων. Οι μικρές μεταβάσεις που αναπτύσσονται είναι της τάξης των χιλιοστόμετρων στη διάμετρο. Μπορούν να προβλεφθούν ως πρώτο-σπηλιές.

Η ανάπτυξη της υδρολογίας καρστ εξαρτάται επίσης από τον τρόπο με τον οποίο το νερό εισάγεται στο καρστ. Η καρστικοποίηση που προχωράει προς το βάθος της γης έχει χωροταξικό χαρακτήρα και μπορεί να φτάσει σε βάθος χιλιομέτρων του υπόβαθρου, όπου δημιουργούνται οι υπόγειες καρστικές μορφές. Με τη διαπέραση του νερού προς τα υπόγεια και τη διεύρυνση των υπόγειων χώρων, αρχίζει η ελεύθερη εκροή του νερού. Η ύπαρξη των υπογείων αγωγών και σπηλιών επιτρέπουν την ανάπτυξη του υδρολογικού συστήματος μέσω του καρστικού πετρώματος.

Μέσω των αγωγών και σπηλαίων εκκενώνεται το διαλυμένο υλικό καθώς επίσης και τα αδιάλυτα υπολείμματα της επιφάνειας.

Τα όμβρια ύδατα που πέφτουν επάνω στην επιφάνεια των καρστικών πετρωμάτων δημιουργούν τα λεγόμενα αυτογενή ρέματα που διεισδύουν ευρέως μέσω των αμέτρητων σχισμών υπογείως. Στην πορεία τους οι απορροές έρχονται σε επαφή με διαφορετική βλάστηση και χώματα, και διαλύοντας το βασικό πέτρωμα γίνονται πιο όξινες λόγω του ανθρακικού οξέος.. Σε αντίθεση, τα όμβρια ύδατα που πέφτουν επάνω στα αδιαπέραστα μη-καρστικά πετρώματα ρέοντα ως οργανωμένα ρεύματα, γνωστά και ως αλλογενή ρεύματα, προς τα καρστικά τόπια, βυθίζοντα άμεσα όταν έλθουν σε επαφή με τον ασβεστόλιθο. Στην πορεία τους μπορεί να είχαν διαρρεύσει από έλη τύρφης (και ως εκ τούτου να περιέχουν οργανικά οξέα) ή να έχουν έλθει σε επαφή με πετρώματα διαφορετικής ορυκτολογίας πχ. μεταλλεύματα σουλφιδίου κατά έξοδο από τους σχιστόλιθους, και ως εκ τούτου να περιέχουν το θειώδες οξύ. Τείνουν επίσης να έχουν ένα μεγαλύτερο μηχανικό φορτίο, το οποίο μπορεί να εκτρίψει τον ασβεστόλιθο και να βοηθήσει στη χάραξη των δαπέδων των σπηλιών. Η ανάπτυξη των καρστικών υπόγειων αγωγών που αναπτύσσονται από τα αλλογενή ρεύματα είναι πιο μεγάλη από αυτήν που αναπτύσσονται από τα αυτογενή ρεύματα.

Η διείσδυση του νερού επιτυγχάνεται πιο πολύ στις καρστικές περιοχές με την επιφανειακή ζώνη του εδάφους όπου ακριβώς κάτω από το χώμα η διήθηση του νερού έχει μεγαλύτερη επιθετικότητα στις πρώτες επαφές με το ασβεστόλιθο. Έως και 90% τις συνολικής διάλυσης επιτευχθείται στα πρώτα 10m της προεξοχής του ασβεστόλιθου διευρύνοντας κατάκλασεις και τα ρήγματα πιο πολύ από ότι σε μεγαλύτερο βάθος. Η επιφάνεια των καρστικών πετρωμάτων είναι επομένως πολύ διαπερατή, αλλά αυτή η διαπερατότητα μειώνεται με το βάθος. Αυτή η ιδιαίτερα διαβρωμένη επιφανειακή ζώνη αποκαλείται η ζώνη του epikarst ή υποδόρια ζώνη.

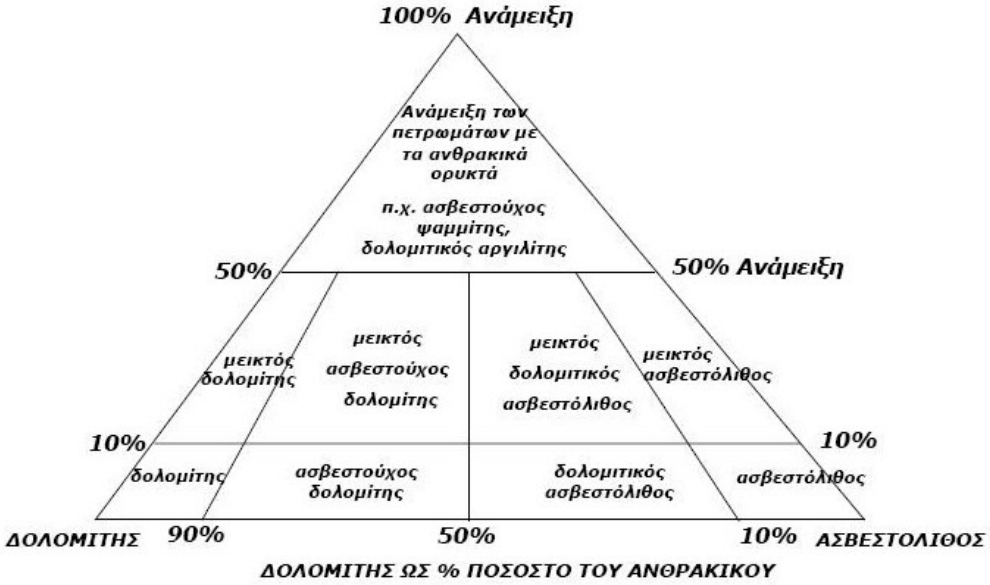
Η καρστική εξέλιξη χαρακτηρίζεται από τέσσερα σταδία:

- τη χημική διάλυση,
- τη μηχανική αποσάθρωση και απογύμνωση,
- τη μεταφορά,
- τη απόθεση.

Τα καρστικά πετρώματα, τα όποια είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένα στην δράση του νερού είναι:

- Οι ασβεστόλιθοι ($CaCO_3$) ή ασβεστίτες που εξαπλώνονται, περίπου στο 10%-20% της επιφάνειας της γης.
- Οι δολομίτες $CaMg(CO_3)_2$. Έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τους ασβεστόλιθους με τη διαφορά ότι αυτοί καρστικοποιούνται πιο δύσκολα.
- Η γύψος ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) και ο ανυδρίτης, είναι εξαιρετικά διαλυτοί.
- Τα αλατούχα πετρώματα είναι ακόμα πιο διαλυτά από τη γύψο και τον ανυδρίτη και επομένως υπάρχουν μόνο στις εξαιρετικά ξηρές περιοχές της επιφάνειας της γης.
- Τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν ανθρακικά ορυκτά όπως τα κλαστικά ιζήματα.
- Τα ανθρακικά μεταμορφωσιγενή πετρώματα όπως το μάρμαρο.

Η καθαρότητα και η ανάμιξη με τα άλλα πετρώματα των καρστικών πετρωμάτων είναι πολύ σημαντική. Συνήθως ο ασβεστίτης δεν αποτελείται από 100% $CaCO_3$ (Εικόνα 2.2).



Εικ.2.2: Η συνθετική ταξινόμηση των ανθρακικών πετρωμάτων από τον Leighton και Pendexter (1962) (Ανάμειξη των πετρωμάτων = χαλαζιακός (αμμούχος), αργιλούχος (μαργαϊκός), γλαυκονιτούχος, πυριτιούχος ασβεστόλιθος ή δολομίτης).

Ο ασβεστίτης αναπτύσσεται ως ίζημα στην ρηχή θάλασσα, μαζί με την άργιλο και άλλα υλικά, τα οποία αποθηκεύονται στην ασβεστολιθική ύλη. Όσο υψηλότερη είναι η αναλογία του ασβεστίτη, τόσο η διάλυση γίνεται εντατικότερη και οι συλλογές των καρστικών μορφών είναι πιο εντυπωσιακές. Η χημικά καθαρή γύψος περιέχει 32,5%Ca, 46,51%SO_3 και 20,93% H_2O.

Η Εικόνα 2.3 εμφανίζει σχηματικά τα πετρώματα (όχι σε κλίμακα) περιλαμβάνοντας έναν εξιδανικευμένο κύκλο απόθεσης των ανθρακικών ιζημάτων (με έντονο περίγραμμα) και των σχετικά μεικτών πετρωμάτων (σκιασμένα) που περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος του κύκλου αποθέσης πετρωμάτων. Η μεγαλύτερη αρχική δραστηριότητα εμφανίζεται μέσα στα πιο λεπτά και λιγότερο καθαρά στρωματά (ασκίαστα) (Klimchouk, Ford, 2000)

βάθος του νερού		**κυριαρχούσα λιθολογία**	**πάχος και διαπερατότητα**	**παράγοντες έναρξης**
πρώτο στρώμα της κάλυψης του κύκλου				
πάνω από της στάθμης θάλασσας		άνθρακας, ηφαιστειακά κατακρημνίσματα και άλλα χερσογενή ιζήματα	σχετικά λεπτά; κάποια στρωματά με σημαντική βασική, πρωτογενής, διαπερατότητα	γέννηση/μεταφορά των θειικών οξέων από το πυρίτη (in situ), κ.λπ...
ρηχά νερά	τα πετρώματα που σχηματίζουν μεγαλύτερο μέρος του κύκλου	ασβεστούχοι λυόλιθοι, με δολομιτικά και εβαποριτικά ορυκτά, γύψος	λεπτά; αρχική διαπερατότητα; πιθανή ορίζοντες της συγγενετικής (παλαιό) καρστικοποίησης	θειικά οξέα από τους εβαπόριτες; αντίδραση των δολομιτών/αργιλικών ορυκτών; υδατική διάλυση
↑		κυρίως ωολιθικοί ασβεστόλιθοι	σχετικά λεπτά; με δυνατή βασική, πρωτογενής, διαπερατότητα	στην ανώτερη επιφάνεια είναι ευνοημένη η θέση της πρόωρης διάλυσης
↑		ωχρά, παχιά στρωματά των βιοκλαστικών ασβεστόλιθων	παχιά στρωματά, (κύριο τμήμα του κύκλου), αρχική αδιαπερατότητα	η πρόωρη διάλυση είναι περιορισμένη στους τεκτονικούς και λιθολογκούς σχισμούς
↑		σκούρα, λεπτά στρωματά των βιοκλαστικών ασβεστόλιθων	σχετικά λεπτά στρώματα; αρχική αδιαπερατότητα	όπως ανωτέρω
↑		ασβεστούχοι ιλυολιθοι	λεπτοί; πολύ βαθύ βασική, πρωτογενής, διαπερατότητα	όπως ανωτέρω; πιθανώς τα θειϊκά οξέα σχηματίζονται από οξείδωση του πυρίτη
βαθιά νερά		μη-ασβεστολιθικοί λασπόλιθοι,	λεπτοί; πολύ βαθύ βασική, πρωτογενής, διαπερατότητα	θειϊκά οξέα σχηματίζονται από πυρίτη
ανώτερο στρώμα του υποκείμενου κύκλου				

Εικ.2.3: Ο κύκλος απόθεσης των ανθρακικών ιζημάτων (με έντονα περίγραμμα) και των σχετικά μεικτών πετρωμάτων (σκιασμένα) (Klimchouk, Ford, 2000).

Η γύψος αναπτύσσεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Συγκεκριμένα, η γενετική ταξινόμηση της γύψου που προτείνει η Vikulova (Klimchouk, Andrejchouk, 1996) είναι η εξής:

1) τα κυρία ιζήματα:

α) λιμνοθαλάσσια ιζήματα σχηματισμένα σε περιβάλλοντα με υψηλή εξάτμιση,

β) ηπειρωτικά ιζήματα σχηματισμένα λόγω εξάτμισης ενδοχωρικές λεκάνες ή σχηματισμένα στην επιφάνεια του εδάφους (περιβάλλοντα τύπου Sabkha).

2) τα δευτερογενή ιζήματα:

α) επάνω - αποτεθειμένα ιζήματα

β) μετασωματικά ιζήματα σχηματισμένα με την αντικατάσταση της ανθρακικής ρίζας (CO_3^{-2}), λόγω των χημικών αντιδράσεων των υπόγειων νερών με θειικά οξέα ή σχηματισμένα από την επίδραση του ασβεστόλιθου στις θειικές πηγές ή από την επιρροή των ηφαιστειακών περιβαλλόντων.

γ) πετρώματα που καλύπτουν τον αλατούχο διαπειρισμό.

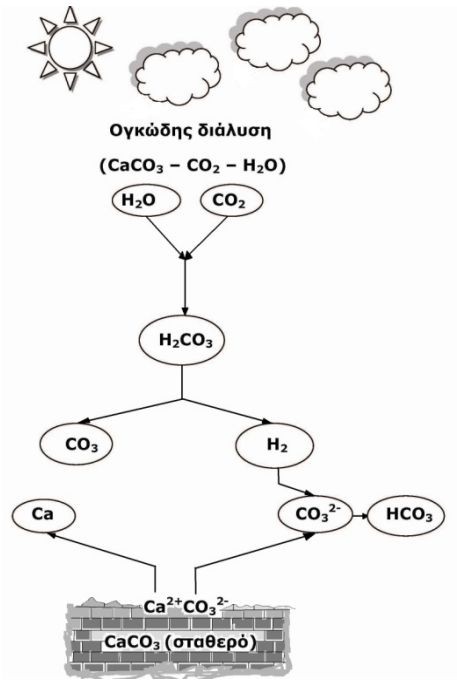
δ) ιζήματα σχηματισμένα από την ενυδάτωση του ανυδρίτη.

Αυτές που συναντούμε πιο συχνά, είναι οι αρχικές αποθέσεις της γύψου και τα ιζήματα αποσάθρωσης, κατά τα οποία ο ανυδρίτης έχει ξαναϋδατωθεί στη γύψο (Klimchouk, Andrejchuk,1996).

2.2.1. Χημική διάλυση

- Χημική διάλυση του ασβεστόλιθου

Η δυαλυσιγενής δράση του νερού είναι ο βασικός παράγοντας καρστικοποίησης δια κύκλου της χημικής αποσάθρωση του ασβεστόλιθου (Εικίνα 2.4).



Εικ.2.4: Ο κύκλος της χημικής αποσάθρωση του ασβεστόλιθου.

Το ίδιο το νερό είναι ελάχιστα χημικά ενεργό. Πιο συγκεκριμένα, το νερό σε πολύ μικρά ποσοστά διαλύει τη μάζα του πετρώματος και η χημική διάλυση δεν έχει σημαντικό χαρακτήρα. Στο μεταξύ, συμμετέχει διαλυμένο ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) από τον αέρα και το περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται το ανθρακικό οξύ (H_2CO_3). Η ικανότητα (δύναμη) του νερού να προσλαμβάνει (να παίρνει) το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας του νερού. Κατά τη ένωση του νερού με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και τη δημιουργία του ανθρακικού οξέος (H_2CO_3), έχουμε το φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο, η διαλυτική δύναμη αυτού σε σχέση με τη διαλυτική δύναμη του καθαρού νερού μεγεθύνεται κατά εκατοντάδες φορές.

Στη συνέχεια, το ανθρακικό οξύ (H_2CO_3) επιδρά στον ασβεστίτη ($CaCO_3$), ο οποίος αποτελεί κύριο συστατικό των ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Αποτέλεσμα αυτής της αντίδρασης είναι το δισ-όξινο ανθρακικό ασβέστιο (Calcium Bicarbonate) ($Ca(HCO_3)_2$), το οποίο είναι άστατο. Το διάλυμα του δισόξινου ανθρακικού ασβεστίου ($Ca(HCO_3)_2$) μεταφέρεται διαλυμένο. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, το δισ-όξινο ανθρακικό ασβέστιο ($Ca(HCO_3)_2$) ελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό, και με την βοήθεια του υπολοίπου γίνεται καθίζηση του ασβεστίτη ($Ca\ CO_3$), αλλά υπό τη μορφή συνεχώς αδιάλυτου τραβερτίνη (ασβεστολιθικός τόφφος).

$$H_2O + CO_2 = H_2CO_3$$
$$H_2CO_3 + Ca\,CO_3 = Ca(HCO_3)_2$$
$$Ca(HCO_3)_2 \Rightarrow CO_2 + H_2O + Ca\,CO_3$$

Η χημική σύσταση ενός καθαρού ασβεστολιθικού πετρώματος είναι 56% CaO και 44% CO_2. Συνήθως όμως, οι ασβεστόλιθοι περιέχουν διάφορες προσμίξεις ενώσεων οξειδίων και υδροξειδίων του αργιλίου, του σιδήρου κ.ά., η παρουσία των οποίων επηρεάζει το χρωματισμό του πετρώματος.

Οι ασβεστόλιθοι με την επίδραση του αραιού υδροχλωρικού οξέος αναβράζουν εκλύοντας διοξείδιο του άνθρακα ($CaCO_2 + 2HCl \Rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$). Το γεγονός αυτό, διευκολύνει την αναγνώρισή τους στο ύπαιθρο με ευχέρεια από τη πλευρά του ερευνητή.

Η επέκταση της διάλυσης εξαρτάται σημαντικά από το ρυθμό της, ο οποίος αποδίδει το ποσοστό του ασβεστόλιθου που αφαιρείται από μια δεδομένη καρστική περιοχή σε ένα καθορισμένο χρόνο. Αυτό το ποσοστό συνήθως μετριέται σε mol $cm^{-2}s^{-1}$μ, επίσης μπορεί, αφού μετατραπεί, να μετρηθεί εύκολα παρακολουθώντας το πάχος απογύμνωσης του ασβεστολιθικού πετρώματος στο εκατ./έτος του παράγοντα 1.1710^9 (Dreybrodt, 1988).

Ο ρυθμός διάλυσης του ασβεστόλιθου εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Αυτές είναι:

- Η χημική σύσταση του συστήματος του H_2O - CO_2 – $CaCO_3$,
- Ο τύπος της ροής στις πλευρές των καρστικών αγωγών.

Το χρώμα ενός ανθρακικού πετρώματος οφείλεται σε τέτοιους παράγοντες όπως: το περιβάλλον της απόθεσης, η διαφορά στο μέγεθος των κόκκων του βράχου, το ορυκτό περιεχόμενο, και το ποσό οργανικού υλικού. Τα ιζήματα των ανθρακικών πετρωμάτων που αποτίθενται στα ρηχά νερά, σε ένα περιβάλλον με χαμηλό οξυγόνο και με οργανικό υλικό θα παρήγαν πιθανώς ένα γκρίζο ή μαύρο χρώμα. Οι ιζηματογενέσεις που θάβονται με τα ίχνη σιδήρου συνήθως εκτίθενται σε ατμοσφαιρικές διεργασίες, διαβρώνονται και είναι συνήθως ανοιχτό κίτρινες ή υποκίτρινου χρώματος. Τα ανθρακικά πετρώματα που διαμορφώνονται στο βαθύτερο νερό μπορούν να είναι κόκκινα, ρόδινα, ή πορφυρά μέσω της συντήρησης των χρωστικών ουσιών οξειδίων σιδήρου και μαγγάνιου (Willson 1975).

- Η χημική διάλυση του δολομίτη

Όταν οι ασβεστόλιθοι περιέχουν 5-15% MgO καλούνται μαγνησιούχοι ασβεστόλιθοι, ενώ όταν η περιεκτικότητά τους σε MgO είναι πάνω από 15% καλούνται δολομιτικοί.

- Η χημική διάλυση της γύψου

  Klimchouk, 2000)

Η διάλυση των πετρωμάτων του θειικού άλατος προέρχεται από διαφορετικούς μηχανισμούς και διαφορετικά ποσοστά συγκριτικά με εκείνους που συνδέονται με τη διάλυση των ασβεστόλιθων. Η γύψος διαλύεται από έναν απλό διφασικό διαχωρισμό σε δύο φάσεις (στερεό και διαλύτης):

$$\mathbf{CaSO_4 \cdot 2H_2O <=> Ca^2 + SO_4^{2-} + 2H_2O}$$

Η διαλυτότητα της γύψου στο καθαρό νερό στους 20°C είναι 2.531 g/L (gram/liter) ή 14,7 mM/L (Millimole/Liter), η οποία είναι περίπου 140 φορές χαμηλότερη από τη διαλυτότητα του κοινού άλατος (360 g/L), αλλά δύο μεγέθη μεγαλύτερη από τη διαλυτότητα $CaCO_3$ στα καθαρά νερά (15 mg/L). Η διαφορά στη διαλυτότητα μεταξύ της γύψου και του ασβεστίτη μειώνεται από 10 έως 30 φορές, εάν ο τελευταίος διαλύεται με τη παρουσία του CO_2.

Η εξάρτηση της διαλυτότητας της γύψου από τη θερμοκρασία είναι μη γραμμική, φθάνοντας το μέγιστο στους 43°C. Η υδροστατική πίεση δεν επηρεάζει ουσιαστικά την διαλυτότητα της γύψου, αλλά η διαλυτότητα αυξάνεται γρήγορα με την πίεση που εφαρμόζεται στη γύψο. Η διαλυτότητα της γύψου επιταχύνεται με την παρουσία άλλων αλάτων (ιόντων) στη διάλυση, μέχρι τρεις φορές, παραδείγματος χάριν παρουσία NaCl, και μέχρι έξι φορές παρουσία $Mg(NO_3)_2$.

- Η χημική διάλυση του πυρίτη (σιδηροπυρίτη)

  (Pohl, Wait, 1965)

Η οξείδωση του πυρίτη (FeS_2): Ο πυρίτης είναι ένα πολύ κοινό ορυκτό στα θαλάσσια ιζηματογενή πετρώματα, που διαμορφώθηκε ως τελικό προϊόν της βακτηριακής επεξεργασίας του θειικού άλατος κατά τη διάρκεια της διαγένεσης των ιζημάτων (π.χ. Berner 1970, 1984; Bottrell, Raiswell, 2000). Ως εκ τούτου, η οξείδωση του πυρίτη είναι η πλέον πιθανή πηγή θειικού οξέος για τη διάλυση του ασβεστίτη όπου δημιουργείται δευτερογενές πορώδες και τελικά έχουμε διαμορφώσεις σπηλιών στις ιζηματώδεις διαδοχές. Ο πυρίτης είναι συχνά εμφανής παράγοντας πολλών ασβεστολιθικών και άργιλο-σχιστολιθικών στρωμάτων. Κάθε φορά που ο πυρίτης είναι εκτεθειμένος σε περιβάλλον πλούσιο σε οξυγόνο, ενώ πρωτύτερα βρισκόταν σε ατμόσφαιρα των σπηλιών, αυτός αντιδρά με τον εξής τρόπο:

$$FeS_2 + 7/2O_2 + H_2O \Leftrightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+$$

$$Fe^{2+} + H^+ + 1/4O_2 \Leftrightarrow Fe^{3+} + 1/2H_2O$$

$$Fe^{3+} + 3H_2O \Leftrightarrow Fe(OH)_3 + 3H^+$$

$$SO_4^{2-} + 2H^+ + H_2O + CaCO_3 \Leftrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + CO_2$$

Το ιόν του θειικού οξέος που δημιουργείται από την οξείδωση του πυρίτη είναι ευκίνητο, αλλά ο φερρίτης (καστανός σίδηρος) αμέσως προκαλεί ιζηματογένεση του $Fe(OH)_3$.

Το διάλυμα του θειικού οξέος κατευθύνεται προς τα κάτω στο εσωτερικό της ασβεστολιθικής μάζας, αλλά δεν αντιδρά αμέσως λόγω της εσωτερικής πίεσης (back pressure) του διοξειδίου του άνθρακα, ο οποίος αναπτύσσεται σταδιακά στις κατακλάσεις του στερεού πετρώματος (in situ). Τα ανοίγματα των καταβοθρών λειτουργούν σαν «απορροφητές» για το διοξείδιο του άνθρακα, επιτρέποντας να συνεχιστεί η αντίδραση. Με αυτό τον τρόπο, δημιουργείται η γύψος «κατά θέση (in situ)», μέσω της αντικατάστασης του ασβέστη στις εσωτερικές επιφάνειες (τα τοιχώματα) των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, δημιουργώντας επέκταση της πίεσης, ως αποτέλεσμα του μεταλλικά/ορυκτά - ενεργοποιημένου στερεού πετρώματος.

2.2.2. Αποσάθρωση

Η κατά βάθος αποσάθρωση έχει ως κύριο χαρακτηριστικό την καρστικοποίηση και ενδυναμώνεται με την χημική επίδραση. Σαν ύστατο αποτέλεσμα της αποσάθρωσης έχουμε το φαινόμενο της υπόσκαψης και καταστροφής της φυσικής σταθεροποίησης του καρστικού περιβάλλοντος.

Στο καρστικό περιβάλλον η διάβρωση των πλαγιών ή απογύμνωση είναι ελάχιστη λόγω της σημαντικής διαπερατότητας του επιφανειακού νερού προς το βάθος. Η διλλουβιακή και μετά-αλλουβιακή εξέλιξη είναι σχεδόν ανενεργή. Στις πλαγιές των καρστικών κοιλάδων, στις οποίες έχουμε επιφανειακές ροές, παρατηρείται κολλουβιακή εξέλιξη και σημαντική κατολίσθηση, καθίζηση και γκρέμισμα. Αυτά τα φαινόμενα έχουν ως αποτέλεσμα τον επικλινή σχηματισμό των πλαγιών των καρστικών κοιλάδων και το καρστικό εγκάρσιο προφίλ των σπάνιων ποτάμιων κοιλάδων του τύπου κλεισούρας και φαραγγιού.

Επίσης, το ίδιο φαινόμενο έχουμε και στα υπόγεια κανάλια και υπόγειες αίθουσες σπηλαίων αλλά με μικρότερο μέγεθος αυτών των σχηματισμών. Με την υπόσκαψη των υπογείων καναλιών έχουμε τη κατολίσθησή τους, με συνέπεια τα τοιχώματά τους (των υπογείων καναλιών) να σχηματίζουν οριζόντια κλίση. Επίσης υπογείως έχουμε και τις καταπτώσεις των οροφών σε υπόγειες αίθουσες σπηλαίων. Αν αυτές οι αίθουσες υπάρχουν κοντά στην επιφάνεια

του εδάφους, έχουμε γκρέμισμα των άνω στρωμάτων ή καθίζηση του άνω εδάφους και άνοιγμα αυτών των υπογείων αιθουσών προς την επιφάνεια.

Η οριζόντια μηχανική αποσάθρωση στην καρστική εξέλιξη εμφανίζεται όταν έχουμε μεγάλη δύναμη και γρήγορη εκροή της μεγαλύτερης μάζας της επιφανειακής απορροής του νερού που αποσπά και θρυμματίζει την επιφάνεια του βασικού καρστικού πετρώματος όπου αυτό το αποσπασμένο υλικό μπορεί να έχει και δεκάμετρο μέγεθος. Στις υπόγειες ροές αυτό το φαινόμενο παρατηρείται ιδιαιτέρα στην περίπτωση εμφάνισης των ρουφηχτρών. Η μηχανική διάβρωση επιταχύνεται με τα χτυπήματα των αποσπασμένων ογκωδέστατων μπλοκ από τη βασική μάζα του πετρώματος, στην οποία έχουν σχηματιστεί οι λεκάνες των καρστικών ροών. Η υπόγεια διάβρωση του εδάφους έχει ανάλογο χαρακτήρα με την επιφανειακή. Από τα συστήματα των υπογείων ρωγμών εξαρτάται η τοποθεσία και ο σχηματισμός των υπογείων καναλιών. Η άμεση διάβρωση του υπόγειου νερού έχει δημιουργήσει τα υπόγεια κανάλια διαπερνώντας και διευρύνοντας τις υπόγειες ρωγμές. Όταν τα υπόγεια κανάλια είναι αρκετά ευρύχωρα, απ' όπου είναι δυνατή η εκροή του νερού διαμέσω αυτών, τότε γίνεται πιο εκφραστική η κινητική ενεργεία της υπόγειας ροής.

2.2.3. Μεταφορά των υλικών

Τα υλικά, στη διαδικασία της καρστικοποίησης, μεταφέρονται με δυο:

- Ως χημικό διάλυμα. Το πιο εμφανές διάλυμα είναι το δισόξινο ανθρακικό ασβέστιο ($Ca(HCO_3)_2$), που δημιουργείται με την επίδραση του ανθρακικού οξέος σε ασβεστίτη ($Ca\ CO_3$). Αυτός ο συνδυασμός είναι μη σταθερός και διαλύεται γρήγορα, ο χρόνος της μεταφοράς του είναι αρκετά σύντομος και μεταφέρεται σε πολύ κοντινές αποστάσεις.

- Ως κλαστικό υλικό. Το κινούμενο κλαστικό υλικό που προηγήθηκε από την αποσάθρωση και διάβρωση, μεταφέρεται με τη μορφή αποθέσεων οι οποίες αιωρούνται ή ρέουν τράβιουνται, ενώ η μορφή της μεταφοράς τους εξαρτάται από το πάχος και το βάρος του κινούμενου υλικού και με την κινητική ενέργεια της ροής του νερού.

- Η μεταφορά του κλαστικού υλικού στην επιφάνεια του καρστικού εδάφους είναι μακρόχρονη, και το υλικό μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις πού γίνεται και αποστρογγύλωσή του.

- Το υπόγειο υδραυλικό σύστημα του ρεύματος του νερού λειτούργει διαφορετικά, με ανάδευση των μεταφερόμενων αποθέσεων καθώς επίσης και με λιγότερη αποστρογγύλωση αυτών. Η ροή του νερού ανάμεσα στα υπόγεια κανάλια είναι ανάλογη με τη διάμετρο του μεγέθους και του σχηματισμού των καναλιών:
  - τα στενά υπόγεια κανάλια, οπού σε πολύ στενά τμήματά τους το νερό ρέει με πίεση και μπορεί να κινηθεί και προς τα πάνω.
  - και τα πιο ευρεία ανοίγματα (cavere), οπού το νερό μειώνει την ταχύτητά του, είναι κατευθυνόμενο από την κλίση της υπόγειας μορφής και εδώ παρατηρούμε γρήγορη συσσώρευση του υλικού.

2.2.4. Απόθεση

Στη καρστική εξέλιξη η απόθεση έχει τρεις τύπους:

1. Η καθίζηση.

Το δις όξινο ανθρακικό ασβέστιο $Ca(HCO_3)_2$, έχει ασταθή χημικό συνδυασμό, μεταφέρεται σαν διάλυμα και η αλλαγή της κινητικής ενέργειας της ροής διευκολύνει την διάλυσή του όπου ελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), νερό (H_2O) και ασβεστίτης ($Ca\ CO_3$) που καταρρίπτεται από το διάλυμα και αποτίθεται σαν αδιάλυτος τραβερτίνης (ασβεστολιθικός τόφφος). Οι στρώσεις του αδιάλυτου τραβερτίνη υπάρχουν σε πολλά θραύσματα στις ροές των καρστικών νερών διαμορφώνοντας λεκάνες, μικρούς και μεγάλους καταρράκτες.

2. Η απόθεση των καρστικών υλικών γίνεται στα σημεία όπου έχουμε μείωση της κινητικής ενεργείας της ροής του νερού.

Στις επιφανειακές καρστικές ροές, η συσσώρευση είναι ανάλογη της ποτάμιας εξέλιξης:

- Στο στενό πυθμένα των λεκανών των καρστικών ποταμών συσσωρεύονται επεξεργασμένα, αποστρογγυλωμένα και κοκκομετρικά ταξινομημένα θραύσματα.
- Στα επιμήκη προφίλ των καρστικών κοιλάδων, ανάλογα με την κινητική ενέργεια του νερού, έχουμε αλλαγή των περιοχών όπου συσσωρεύονται τα χοντρόκοκκα και λεπτόκοκκα θραύσματα. Στην ιδία περιοχή, η αλλαγή της κινητικής ενέργειας με τον χρόνο έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του όγκου των θραυσμάτων.
- Οι υπόγειες ροές συσσωρεύουν θραύσματα διαφορετικά από τη συσσώρευση στη επιφάνεια. Υπογείως, σε μικρές αποστάσεις, συμβαίνει ανακάτεμα θραυσμάτων

διαφορετικών όγκων με την αλλαγή του βαθμού αποστρογγυλοποίησής τους. Επίσης, στις συσσωρευμένες υπόγειες αποθέσεις υπάρχουν σημαντικές αποθέσεις του ετερογενούς κολλουβιακού υλικού που δημιουργήθηκε λόγω κατολισθήσεων.

3. Η αποθήκευση των αδιάλυτων συστατικών της μάζας του πετρώματος που έχουν καθυστερήσει μετά την διάλυση. Οι ασβεστολιθικές μάζες των πετρωμάτων δεν είναι πλήρως «καθαρές» και πλήρως διαλυτές, και περιέχουν και μεγάλο ή μικρό ποσοστό των αδιάλυτων συστατικών τα οποία καθυστερούν μετά τις διαλύσεις και συσσωρεύονται επιτόπου (in situ). Το υλικό το οποίο καθυστερεί εξαιτίας του οξειδίου του σιδήρου, έχει πολύ έντονο κόκκινο χρώμα και ονομάζεται κοκκινόχωμα (terra rossa). Το κοκκινόχωμα συσσωρεύεται στην επιφάνεια του εδάφους και στις υπόγειες αίθουσες.

2.2.5. Επικάρστ (epikarst)

Το επικάρστ υποδηλώνει το ανώτερο τμήμα του καρστικού υπεδάφους με μεγάλη περατότητα, που μπορεί να είναι ή γυμνός ασβεστόλιθος ή τα ασβεστολιθικά στρώματα να ξεκινούν κάτω από χαλαρά υλικά, όπως το έδαφος, τα ιζήματα και τα φυτικά υπολείμματα και στην βάση τα ασβεστολιθικά πετρώματα, όπου υπάρχουν μονό ορισμένες κάθετες διακλάσεις και ρωγμές και συμπεριφέρεται σαν ένα στρώμα με ελάχιστη περατότητα (Williams, 2003).

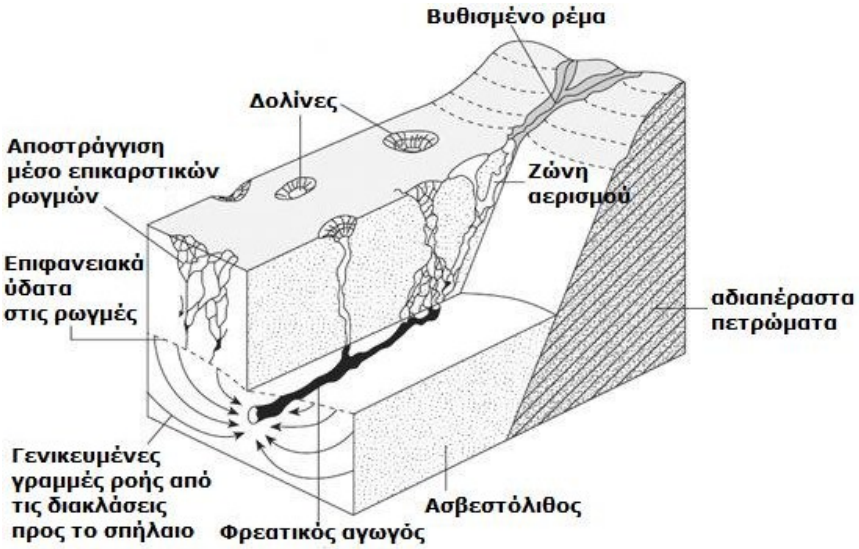
Η υπόγεια καρστικοποίηση του επικαρστικού χαρακτηρίζεται με την καρστική διάλυση, κατείσδυση, χωρική όσο και χρονική κύμανση του περιεχόμενου, καθώς και με την παροχή και το χημικό χαρακτήρα του νερού (Jones, Culiver, Herman, 2003).

Εάν η επικαρστική ζώνη είναι κάτω από εδαφικό ή φυτικό κάλυμμα, τότε η καρστική διάλυση πραγματοποιείται με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς, εξ αιτίας της «οξύτητας» των νερών που κατεισδύουν λόγω της αυξημένης παρουσίας του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που παράγεται από τις ρίζες των φυτών, με αποτέλεσμα να είναι η κύρια ζώνη όπου πραγματοποιείται η διάλυση των ασβεστολίθων. Το νερό που κατεισδύει έρχεται σε άμεση επαφή με το CO_2, οξειδώνεται και διαβρώνει το πέτρωμα (Bakalowicz,1995).

Το επικάρστ αποτελεί μία ζώνη διάλυσης πάχους συνήθως περίπου 10m – 30m στο ανώτερο τμήμα των περισσότερων ανθρακικών εμφανίσεων (Williams, 2003). Στα πρώτα 10m βάθος πραγματοποιείται περίπου το 80 % της διάλυσης του ασβεστόλιθου (Williams, 2003). Η περατότητα στο επικάρστ είναι μεγαλύτερη του 20% ενώ η τιμή της μειώνεται με το βάθος μέχρι

και <2%. Είναι δηλαδή μία έως τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της υποκείμενης μάζας του ανθρακικού πετρώματος (Williams, 2003).

Η διαφορά της περατότητας και της υδραυλικής αγωγιμότητας μεταξύ του επικάρστ και του λιγότερο διαλυμένου υποκείμενού του πετρώματος, έχουν σαν αιτία τη συγκέντρωση του νερού στη βάση του επικάρστ. Η αποστράγγιση του νερού προς την ακόρεστη ζώνη μέσω μεμονωμένων μικρών και μεγάλων διακλάσεων, έχει σαν αποτέλεσμα τη διάλυση του πετρώματος γύρω από αυτούς και κατά συνέπεια τη σταδιακή δημιουργία δολινών στην επιφάνεια (Williams, 1985) (Εικόνα 2.5). Κατά τον ίδιο ερευνητή, η πυκνότητα των δολινών σε μία περιοχή αντιπροσωπεύει την υδραυλική αγωγιμότητα στη βάση του επικάρστ. Το επικάρστ μπορεί να αποθηκεύσει κάποια ποσότητα νερού, όπως και το έδαφος με το οποίο μπορεί να καλύπτεται. Το έδαφος και το επικάρστ αποστραγγίζονται σχεδόν εξολοκλήρου μετά από μεγάλες ξηρές περιόδους, ούτως ώστε στην έναρξη των βροχοπτώσεων, να αποστραγγίζουν το νερό (Williams, 1985).



Εικ.2.5: Η ζώνη του επικάρστ με το σύστημα αποστράγγισης του επιφανειακού ύδατος.

2.2.6. Τα στάδια της εξέλιξης του καρστ

Το καρστικό ανάγλυφο έχει πιο έντονη εξέλιξη σε σχέση με τους άλλους τύπους γεωμορφολογικών κατηγοριών. Η εξέλιξη του καρστ επί της θεωρίας του Petrović, Živago κατανοείται μέσω του υδρογραφικού δικτύου των περιοχών με το ζεστό και υγρό κλίμα.

- **Ι φάση:** Ο προκαρστικός ποτάμιος κύκλος της διάβρωσης των υγρών περιοχών. Η εξέλιξη, στην αρχή της, έχει κανονικό χαρακτήρα σε πρωτογεννή ασβεστολιθικά πετρώματα- «η άνω ζώνη ασβεστόλιθων» - μονίμως υγρή υδρολογική ζώνη. Η επιφάνεια

του εδάφους είναι φυσικά μονίμως υγρή, η φυτική βλάστηση έχει φυσική εξέλιξη, οι ρωγμές δεν υπάρχουν ή είναι πολύ λίγες και καμουφλαρισμένες από τη φυτική βλάστηση και με άλλα αδιάλυτα ιζήματα. Ο υδροφόρος ορίζοντας των υπογείων νερών είναι ρηχός και για αυτό το λόγο έχουμε εμφάνιση των επιφανειακών ποταμών και κοιλάδων.

- **ΙΙ φάση:** Αυτή η φάση αρχίζει με την διάνοιξη των ρωγμών. Οι ρωγμές απορροφούν το μεγαλύτερο ποσοστό του ατμοσφαιρικού και επιφανειακού τρεχούμενου νερού διευκολύνοντας την πιο γρήγορη και βαθύτερη την κυκλοφορία τους. Με αυτό τον τρόπο η καρστική διάβρωση κατεβαίνοντας προς το βάθος του υπόβαθρου γίνεται ορμητική, «η πάνω ζώνη των ασβεστόλιθων» - μονίμως υγρή υδρολογική ζώνη, υποχωρεί προς κάτω και από συνεχώς υγρή ζώνη μετατρέπεται σε μεταβατική ζώνη ή περιοδική υδρολογική ζώνη. Σε αυτή τη φάση οι κοίτες των ποταμών βαθαίνουν και η καρστικοποίηση αρχίζει να είναι εμφανής.

- **ΙΙΙ φάση:** Οι ρωγμές έχουν διευρυνθεί, εμφανίζοντας μικρά κανάλια τα οποία διευκολύνουν τη διαπερατότητα του ατμοσφαιρικού και επιφανειακού τρεχούμενου νερού. Σε αυτή τη φάση ο προκαρστικός ποτάμιος κύκλος της διάβρωσης των υγρών περιοχών υποχωρεί στο ελάχιστο υποχωρεί και η καρστικοποίηση παίρνει τη θέση της. Τα ποταμάκια και τα μικρότερα ποτάμια περιοδικά αποξηραίνονται. Στο γυμνό karst αρχίζουν να εμφανίζονται διαφορετικές γλυφές και δολίνες. Στο βάθος τα υπόγεια νερά ήδη κυκλοφορούν στα διαχωρισμένα συστήματα και στις περιφέρειες των διαλυτών πετρωμάτων έχουμε εμφάνιση των πηγαδιών και μικρότερων κεφαλόβρυσων.

- **IV φάση:** Κατ' αυτό το στάδιο οι ρωγμές έχουν παρά πολύ διευρυνθεί, αποκλείοντας την εμφάνιση οποιασδήποτε επιφανειακής απορροής. Τα ποτάμια δεν φτάνουν μέχρι το στόμιο των εκβολών τους λόγω του ότι τα νερά κατεισδύουν προς τα κάτω μέσω συστημάτων καταβοθρών. Οι καρστικές επιφάνειες έχουν γίνει εμφανώς ξηρές. Στη θέση των επιφανειακών ρευμάτων του νερού κάποια τμήματα των κοιλάδων ή ολόκληρες κοιλάδες μένουν εκτός λειτουργίας και εντελώς αποξηραμένες. Το δίκτυο ρευμάτων έχει υποχώρήσει, ρέοντας υπογείως μέσω καρστικών αγωγών. Στην συνέχεια, από την επιφάνεια προς το βάθος της ασβεστολιθικής μάζας έχουμε μόνιμα ξηρή υδρολογική ζώνη, περιοδική υδρολογική ζώνη και σε σημαντικό βάθος την μόνιμα υγρή υδρολογική ζώνη.

- **V φάση:** Κατά την κατεύθυνση ροής των ύδρορεμάτων, κάτω από τις καταβόθρες, στους πυθμένες των κοιτών, έχουμε εμφάνιση των δολίνων. Παλαιά στόμια ποταμών εμφανίζονται σε σχέση με τον κύριο ποταμό σε μορφή αναβαθμίδων. Στην κατεύθυνση αντίθετα προς το ρέμα, κατά συνέπεια της δυνατής εγχάραξης των υπογείων ποταμών, οι κοιλάδες προοδευτικά μεταβαίνουν σε τυφλές κοιλάδες. Οι καρστικοί αγωγοί τους είναι αρκετά διευρυμένοι, καθώς επίσης και οι κοιλότητες των σπηλιών.

- **VI φάση:** Είναι η τελευταία φάση της εξέλιξης. Στης τυφλές κοιλάδες έχουμε εμφάνιση των καταβοθρών (ponor), οι υπόγειοι ποταμοί έτσι γίνονται ξηροί και αδρανείς. Οι δολίνες της προηγούμενης φάσης ενώνονται μεταξύ τους και γίνονται ουβάλες. Στην ξηρή υδρολογική ζώνη έχουμε συνεχώς έντονη καρστικοποίηση, που λεπταίνει καθέτως, μικραίνει και απομένουν μονό μικρές οάσεις της, ενώ η μονίμως υγρή υδρολογική ζώνη είναι σε μεγάλο βάθος. Οι οροφές των σπηλαίων πέφτουν και κάποια από τα σπήλαια ανοίγονται εντελώς και εκτίθενται τα υπόγεια κανάλια και οι υπόγειες στοές τους στην επιφάνεια. Τα υδρολογικά δίκτυα είναι σε αυτή την φάση παρά πολύ καλά αναπτυγμένα, ενώνονται και καταφθάνουν στο επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα.

- **VII φάση:** Αφορά τη γενική διακοπή της καρστικοποίησης. Οι επιφανειακές καρστικές μορφές μεταμορφώνονται ή καλύπτονται από τα νεότερα ιζήματα, οι υπόγειες μορφές αγκυλώνονται και οι υπόγειοι καρστικοί αγωγοί ενώνονται σε σύνθετους λαβυρίνθους ή και επηρεάζονται από τις διαδικασίες του προηγούμενου προ - καρστικού κύκλου.

2.3. Οι παράγοντες εξέλιξης του καρστ

2.3.1. Οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την εξέλιξη του καρστ είναι:

- Η θέση των διαλυτών πετρωμάτων σε σχέση με την επιφάνεια:
  - στην επιφάνεια
  - κοντά στην επιφάνεια
  - στο βάθος του υποβάθρου.

- Το πορώδες των πετρωμάτων.
  Η χημική διάλυση των καρστικών πετρωμάτων διευκολύνεται από τη συγκέντρωση των υπόγειων νερών κατά μήκος των στρώσεων, διαρρήξεων κατ των διακλάσεων. Εάν το πέτρωμα είναι πολύ πορώδες η ροή του νερού δεν συγκεντρώνεται τοπικά και η ανάπτυξη του καρστ εμποδίζεται. Λόγω του υψηλού πορώδους του πετρώματος στις βάσεις αναπτύσσεται το φτωχό καρστ.

- Η υδρολογική κλίση (h/l) από την απότομη τοπογραφία ή τους εγκιβωτισμένους ποταμούς. Το κινούμενο νερό διαβρώνει πολύ πιο γρήγορα τον ασβεστόλιθο από το στάσιμο νερό. Επομένως, σε μια υψηλή υδραυλική κλίση η ροή του νερού είναι πιο γρήγορη και η διάβρωση πιο έντονη.

- Υψηλές βροχοπτώσεις:
  Περισσότερο ποσοστό του νερού = περισσότερη διάλυση.

- Θερμοκρασία του νερού:
  - Υψηλή θερμοκρασία: Αυξάνει τη βιοχημική δραστηριότητα έτσι ώστε δημιουργείται περισσότερο CO_2 και οργανικά οξέα.
  - Χαμηλή θερμοκρασία: Το κρύο νερό έχει μεγαλύτερη δυνατότητα να γίνει πιο όξινο.
  - Το νερό σε θερμοκρασία 10°C διαλύει 2 φορές περισσότερο CO_2 από ότι το νερό σε θερμοκρασία 30°C.
  - Το νερό σε θερμοκρασία 0°C διαλύει 3 φορές περισσότερο CO_2 από ότι το νερό σε θερμοκρασία 30°C.

Στις κρύες περιοχές η διάλυση είναι λιγότερο έντονη επειδή υπάρχει λιγότερο CO_2 διαθέσιμο για να διαλυθεί στο νερό λόγω της χαμηλής βιοχημικής δραστηριότητας. Στις περιοχές με παγωμένο έδαφος το νερό είναι παγωμένο, το όξινο νερό είναι περιορισμένο στο ανώτερο ενεργό στρώμα, και το κρύο νερό έχει μεγαλύτερο ιξώδες.

- Το νερό υπό πίεση:
  - Το νερό υπό πίεση μπορεί να διαλύσει περισσότερο CO_2 και επομένως να συγκρατήσει περισσότερο $CaCO_3$ στη διάλυση.
  - Η απελευθέρωση της πίεσης θα οδηγήσει στην απόθεση $CaCO_3$ από το νερό υπό την υδραυλική πίεση (π.χ. τραβερτίνης).

- Ανάμειξη των νερών:
  - Δύο ανόμοιες μάζες νερού που είναι εμπλουτισμένες με $CaCO_3$ αναμειγνύονται με συνέπεια να παράγεται ένα κατώτερο μείγμα που μπορεί να επιτεθεί πιο δραστικά στα ανθρακικά πετρώματα λόγω της μη γραμμικής σχέσης μεταξύ του ασβεστίου Ca++ και CO_2.

- Υψηλή βιολογική δραστηριότητα – «φυτοκάρστ»:

  Τα φυτά, τα φύκια, και οι λειχήνες όχι μόνο εκκρίνουν οξέα αλλά είναι υπεύθυνα και για την αύξηση του ποσού ανθρακικού οξέος που κυκλοφορεί με το σύστημα των υπόγειων νερών. Τα γαλαζοπράσινα φύκια δημιουργούν χαρακτηριστική καρστική διάβρωση της επιφάνειας και ένα αιχμηρό σπογγώδες δικτυωτό πλέγμα αιχμών και πυραμίδων.
  - Χούμους: Το αποσυντεθειμένο οργανικό υλικό αυξάνει την οξύτητα του νερού με την αύξηση της αναλογίας του CO_2 στα εδάφη. Το χούμους απελευθερώνει επίσης τα χουμικά οξέα.
  - Φύκια: δημιουργούν το «φυτοκάρστ» (μια περίπλοκα κοίλη τοπογραφία αιχμηρών ακρών που σχηματίστηκε λόγω της διάλυσης των ασβεστόλιθων από τους όξινους διαλύτες που παράγονται από τα φύκια.
  - Οργανική σπατάλη: Το γκουανό παρατηρείται ως συσσώρευση περιττώματων των νυχτερίδων στα διάφορα σπήλαια και στα εξ αυτών προερχόμενα διάφορα λιπάσματα, (γκουανό νυχτερίδων, γκουανό πουλιών, κ.λπ.). Το γκουανό αποτελεί μείγμα αλάτων ασβεστίου, μαγνησίου και αμμωνίου με διάφορα οξέα κυρίως φωσφορικό, καθώς και χλωριούχων και θειικών αλάτων. Το φωσφορικό άλας του πετρώματος που παράγεται από την αντίδραση του γκουανό και του ασβεστόλιθου πληρώνει τις κοιλότητες του καρστ.

2.3.2. Γεωγραφικό πλάτος, κλίμα και καρστικοποίηση

Η ένταση και η ταχύτητα της καρστικοποίησης των ασβεστολιθικών πετρωμάτων εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα. Λόγω της διαφοροποιημένης έντασης της καρστικοποίησης των ασβεστολιθικών πετρωμάτων διακρίνονται τέσσερις κύριες διαδοχικές φάσεις διαμόρφωσης των καρστικών:

- Πολικές περιοχές: εδώ το καρστ είναι ελάχιστα ανεπτυγμένο λόγω των χαμηλών βροχοπτώσεων, των περιορισμένων διαποτίσεων του παγωμένου εδάφους και των σύντομων εποχών των απορροών. Οι θερμοκρασίες του νερού είναι πολύ χαμηλές, οπότε και έχουμε χαμηλή βιοχημική δραστηριότητα. Ακόμα κι αν τα υπόγεια νερά μπορεί να έχουν μεγάλα ποσά CO_2, αυτό δεν είναι ιδιαίτερα επιθετικό.

- Περιοχές με Υγρό και Κρύο Κλίμα: Καλά αναπτυγμένο καρστ που χαρακτηρίζεται από το μεγάλο ποσοστό των επιφανειακών καρστικών γεωμορφών. Οι λόγοι της καλής ανάπτυξης του καρστ και μεγαλύτερη βιοχημική δραστηριότητα σε αυτές τις περιοχές οφείλεται στις: πολλές βροχοπτώσεις που προκαλούν τον κορεσμό του εδάφους σε νερό και διαλυμένο CO_2, καθώς και σε περισσότερα οργανικά οξέα.

- Η περιοχές με ημι - υγρό και ημί-ξηρό κλίμα: είναι οι περιοχές των στεπών και σαβαννών όπου έχουμε ελάχιστη ή καμία ανάπτυξη του καρστ. Ο λόγος της κακής ανάπτυξης του καρστ σε αυτές τις περιοχές οφείλεται στις πολύ λίγες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια των θερμών περιόδων ξηρασίας όπου τα υπόγεια νερά τείνουν να κινηθούν προς τα πάνω και να αποθέσουν τα ανθρακικά άλατα παρά να τα διαλύσουν.

- Τροπικές περιοχές: είναι οι περιοχές των τροπικών δασών που έχουμε καλά αναπτυγμένο καρστ που χαρακτηρίζεται από τους υπολειμματικούς λόφους. Οι λόγοι της καλής ανάπτυξης του καρστ σε αυτές τις περιοχές είναι: οι πολλές βροχοπτώσεις, υψηλές θερμοκρασίες και η πυκνή βλάστηση που προκαλούν υψηλή συγκέντρωση των οργανικών οξέων και του CO_2. Τα υπόγεια νερά είναι πολύ δραστικά στη χημική διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων.

2.3.3. Οι κύριοι γεωμορφολογικοί παράγοντες

Οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν για την εξέλιξη του καρστικού τοπίου είναι:

- Λιθολογία: εναλλαγή των στρωμάτων διαλυτών και αδιάλυτων πετρωμάτων.
- Επίπεδο διακύμανσης θαλάσσιας στάθμης: προκαλούμενο από την τεκτονική δραστηριότητα ή τις αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας (δηλ. ευστατικό χαμήλωμα κατά τη διάρκεια της περιόδου των παγετώνων).
- Δομή: η διάλυση εκμεταλλεύεται τα συστήματα θραυσμάτων και άλλων επιπέδων, της αδυναμίας τους που ελέγχονται δομικά.
- Στρωματογραφία: πάχος του ασβεστόλιθου και διαπερατότητα των διπλανών μονάδων.
- Γεωλογική ιστορία: εάν το καρστικό τοπίο είναι ενεργό, υπολειμματικό ή θαμμένο.

Εκτός των ενεργειών, της ύπαρξης των κρύων νερών και δραστικών νερών με υψηλό περιεχόμενο διοξειδίου του άνθρακα, η ένταση της καρστικής εξέλιξης εξαρτάται επίσης και από τη γεωλογική (λιθολογική) δομή του εδάφους. Ο όρος για τη καρστική εξέλιξη είναι η ύπαρξη των χοντρών μαζών των διαλυτών πετρωμάτων. Πιο συχνά αυτές οι μάζες είναι ασβεστόλιθοι. Σε περίπτωση όπου το πέτρωμα είναι «καθαρό», δηλαδή περιέχει λιγότερα αδιάλυτα συστατικά, τότε η εξέλιξη θα είναι πιο γρήγορη. Τα μονό-ορυκτά πετρώματα παρουσιάζουν πιο γρήγορη και πιο πλήρη διάλυση από τα πολύ-ορυκτά πετρώματα. Ο ασβεστόλιθος είναι πιο αδιάλυτος από το δολομίτη. Τα νερά επιδρούν στα αδιάλυτα πετρώματα τα οποία με το καιρό εγχαράσσονται. Με αυτό το τρόπο έρχονται σε επαφή με τους υποκείμενους ασβεστόλιθους όπου και αρχίζει η καρστικοποίηση. Η εξέλιξη της καρστικοποίησης είναι ενεργή μέχρι να διαλυθεί η ασβεστολιθική μάζα και να εμφανιστεί το αδιάλυτο πέτρωμα κάτω από αυτή.

Η τεκτονική δραστηριότητα, δηλαδή οι ηπειρογενετικές και οι ορογενετικές κινήσεις, έχουν σαν συνέπεια τις αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας. Στο θαλάσσιο πυθμένα παρατηρείται ιζηματογένεση των ανθρακικών ορυκτών. Στη συνέχεια με την ανύψωσή του δημιουργείται ηπειρωτικό τμήμα το οποίο εκτίθεται σε διεργασίες καρστικοποίησης. Η καρστικοπίηση σταματάει και αρχίζει η ιζηματογένεση των νέων ανθρακικών ορυκτών ή κλαστικών υλικών.

Πολύ σημαντικός παράγοντας για τη καρστική εξέλιξη είναι και η δομή των πετρωμάτων. Τα πετρώματα που παρουσιάζουν στρώσεις είναι πολύ πιο ευδιάλυτα από τα συμπαγή (άστρωτα) πετρώματα. Οι διαρρήξεις είναι μηχανικές ασυνέχειες μέσα στις οποίες το νερό εισχωρεί γρήγορα και η καρστική διάλυση συνεχίζεται από την επιφάνεια στα βαθύτερα στρώματα της μάζας του πετρώματος. Στα διαρρηγμένα στρώματα των πετρωμάτων η καρστικοποίηση προχωρά ακόμα πιο γρήγορα. Χαράκωση (κόψιμο) και διασταύρωση πολλών ρωγμών είναι η

περιοχή που έχουμε συνεχή, επιτακτική διάλυση. Οι μάζες των πετρωμάτων είναι κομματιασμένες (θρυμματισμένες) και το νερό εύκολα εισχωρεί και έρχεται σε επαφή με τις μεγάλων εκτάσεων επιφάνειες των μπλοκ των πετρωμάτων ή μικρότερων στρογγυλωμένων τεμαχίων. Το ίδιο φαινόμενο έχουμε και στα χαράγματα των επιφανειών με τα στρώματα των πετρωμάτων.

Εκτός της γεωλογικής δομής πολύ σημαντικός παράγοντας για την καρστικοποίηση είναι και το αρχικό (κληρονομημένο) ανάγλυφο. Στα επίπεδα τμήματα της επιφανείας το νερό εκτίθεται για περισσότερο χρονικό διάστημα και έχει τη δυνατότητα να εισχωρεί μέσου των ρωγμών στο εσωτερικό της μάζας των πετρωμάτων.

2.4. Τύποι του καρστ

2.4.1. Ιστορική ανασκόπηση των τύπων του καρστ (Jovan Cvijić 1926)

Ο Jovan Cvijić (1926) έχει πρώτος ορίσει τους τοπικούς τύπους του καρστ. Η κύρια παράμετρος της τυπολογίας του Cvijić είναι η διαφορετική φυσιογνωμία των καρστικών περιοχών όπου οι παράγοντες και οι συνθήκες για την εξέλιξη του καρστ εξαρτώνται και αλλάζουν από περιοχή σε περιοχή. Στις διαφορετικές ζώνες, ο συνδυασμός των διαφορετικών παραγόντων, ειδικά με την επιρροή των διαφορετικών κλιματικών χαρακτηριστικών, έχει ως αποτέλεσμα τη μεταποίηση και εξέλιξη των καρστικών περιοχών και των υπαρχόντων επιφανειακών και υπογείων καρστικών μορφών. Υπάρχουν περιοχές με εντατικά εξελιγμένο βαθύ καρστ όπου αναπτύσσονται πλούσιες επιφανειακές και υπόγειες καρστικές μορφές. Αντίθετα, υπάρχουν και περιοχές με σπάνια εμφάνιση επιφανειακών μορφών και με αλλουβιακό εκπλυμένο έδαφος που καλύπτει την ασβεστολιθική βάση με πολλές ρηχές και μονωμένες υπόγειες μορφές. Ανάμεσα σε αυτούς τους δυο ακραίους τύπους του Ολο-καρστ και Μέρο-καρστ έχουμε πολλούς μεταβατικούς, από τους οποίους οι δυο πιο χαρακτηριστικοί είναι οι τύποι Κόσοβου και Ιούρας.

2.4.2. Ολο-καρστ

Ο τύπος του Ολο-καρστ σημαίνει ολοκληρωμένο καρστ, δηλαδή είναι οι περιοχές που έχουν καταλληλότερα χαρακτηριστικά για την εξέλιξη όλων των τύπων των επιφανειακών και υπογείων καρστικών μορφών.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της ύπαρξης του Ολο-καρστ, συνήθως είναι:

- μέχρι 98 % καθαρές ασβεστολιθικές περιοχές,
- παχύ-στρωματώδεις ασβεστόλιθοι,
- λόγω της ύπαρξης μεγάλου ποσοστού του ατμοσφαιρικού κατάλοιπου έχουμε επιθετική κυκλοφορία του υπογείου νερού στα μεγάλα βάθη του πετρώματος,
- παρατηρείται σε μεγάλα υψόμετρα,
- είναι ανοιχτές επιφάνειες με μεγάλη έκταση εμφάνισής τους,
- είναι γυμνές ή μη-φυτό καλυμμένες περιοχές,

- βαθιά πτυχώμενες και τεκτονικά διαρρηγμένες με διαφορετικές ρωγμές και ρήγματα, όπου στα βάθη τους παρατηρείται ελεύθερη και συνεχής ροή των υπογείων νερών.

Οι περιοχές του Ολο-καρστ αποτελούνται από πλούσιες επιφανειακές και υπόγειες καρστικές γεωμορφές, με συνέπεια την εμφάνιση:

- των διαφορετικών τύπων γλυφών,
- των δολινών,
- των ουβαλών,
- των καρστικών πολγών,
- σπανίων επιφανειακών ροών που συνήθως είναι οι αλλόχθονες ποταμοί, (ξεκινούν στις μη καρστικές περιοχές και στη συνεχεία ρέουν προς τις καρστικές περιοχές που μορφολογικά αλλάζουν),
- των μικρών και μεγάλων φαραγγιών,
- των διαφορετικών τύπων καρστικών κοιλάδων,
- των καταβοθρών,
- όλων των τύπων υπόγειων καρστικών μορφών,
- όλων των τύπων υπόγειων καρστικών μορφών με την υδρολογική λειτουργία τους.

2.4.3. Τύπων Κοσόβου

Ο μεταβατικός τύπος Κόσοβου οφείλει την ονομασία του στο όρος Κος (Causes) του Κεντρικού Ορεινόυ όγκου της Γαλλίας. Τα μορφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του είναι παρόμοια με αυτά του τύπου Ολο-καρστ.

Τα κυρία χαρακτηριστικά του είναι:

- έντονα τεκτονικά διαρρηγμένες περιοχές,
- ύπαρξη υψηλών ασβεστολιθικών και δολομιτικών οροπεδίων τα οποία είναι χωρισμένα από βαθιά φαράγγια όπου οι πυθμένες τους φτάνουν μέχρι την αδιαπέρατη βάση του ασβεστολίθου συνήθως τη μάργα και τον άργιλο,
- στις επιφάνειες επιπεδώσης των οροπεδίων το νερό είναι σπάνιο ή δεν υπάρχει ενώ στα χαμηλότερα υψόμετρα η επιφανειακή απορροή είναι πλούσια.

2.4.4. Μέρο-καρστ

Ο τύπος του Μέρο-καρστ σημαίνει ημί-καρστ (η φράση «ημί-καρστ» χρησιμοποιήθηκε από ο Grund <<Halbkarst>>).

Μέρο-καρστ συνήθως παρατηρείται στις περιοχές:

- των λεπτό-στρωματωδών ασβεστολίθων ή όταν τα στρώματα του ασβεστόλιθου είναι μαργαϊκά, δολομιτικά, αμμούχα ή βιτουμινούχα, δηλαδή σε πετρώματα που είναι συνήθως πιο πρόσφατης γεωλογικής ηλικίας (πετρώματα νεογενούς ηλικίας).
- με καλυμμένο καρστ ή περιοδικά με καλυμμένο καρστ από την παχιά φυτική κάλυψη των δασών ή των λιβαδιών,
- όπου το ασβεστολιθικό υπόβαθρο είναι διαχωρισμένο σε ζώνες περατών αδιαπέραστων πετρωμάτων, και εναλλαγές στο υπολειμματικό έδαφός του,
- εκεί όπου τα στρωματά του ασβεστόλιθου είναι διαχωρισμένα σε εμφανή και ασύνδετα μονωμένα μπλοκ.

Οι περιοχές του Μέροκαρστ χαρακτηρίζονται από:

- μη ύπαρξη γλυφών,
- ύπαρξη «αλλουβιακών» δολινών που λειτουργούν σαν μικρές λίμνες και δεξαμενές του ατμοσφαιρικού νερού,
- σπάνιες ουβάλες, ρηχές που στον πυθμένα τους είναι εμφανής ύπαρξη πολλών δολινών,
- μη ύπαρξη καρστικών πολγών,
- ύπαρξη επιφανειακών ροών που είναι πολύ πιο πλούσιες από αυτές του Ολο-κραρστ,
- καρστικές ροές που ρέουν στις αδιαπέρατες επιφάνειες του καρστικού ανάγλυφου,
- σπάνια ροή υπόγειων υδάτων,
- σπάνιες στον αριθμό και ρηχά καρστικά φρέατα (jama) και καταβόθρες που είναι φραγμένες με το υπολειμματικό έδαφος,
- ατμοσφαιρικά νερά τα οποία όταν διαπεράσουν υπόγεια το Μέρο-καρστ δημιουργούν πλούσια, συνεχή ροή του νερού όπου εύκολα συμπεραίνεται και παρακολουθείται μέχρι τα καρστικά πηγάδιά της,
- σπάνια εμφάνιση σπηλαίων λίγο αναπτυγμένων.

2.4.5. Τύπων Ιούρας

Ο μεταβατικός τύπος Ιούρας πήρε το όνομα από την Οροσειρά Ιούρα που αναπτύσσεται στα Γάλλο-Ελβετικά σύνορα και έχει κύρια χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά του τύπου Μέρο-κάρστ.

Τα κυρία χαρακτηριστικά του είναι:

- τα στρώματα του ασβεστόλιθου εναλλάσσονται με τις στρώσεις των μαργαϊκών η άλλων αδιαπέρατων πετρωμάτων. Αν αυτή η αλλαγή των πετρωμάτων έχει κατακόρυφο χαρακτήρα τότε οι ασβεστόλιθοι εναλλάσσονται με τις στρώσεις των διαφορετικών μη ασβεστολιθικών πετρωμάτων.
- υπάρχει πτύχωση των στρωμάτων αλλά δεν είναι δυνατή η διάρρηξή τους.
- σπάνια ή ανεπαρκής ύπαρξη των γλυφών,
- η ύπαρξη ρηχών δολινών,
- η ύπαρξη ρηχών ουβάλων, οι οποίες εξελίσσονται μονό με την ένωση των δολινών που υπάρχουν στην σειρά στον πυθμένα των ξηρών κοιλάδων.
- η απουσία καρστικών πολγών,
- οι υπόγειες καρστικές μορφές υπάρχουν αλλά είναι συνήθως απομονωμένες,
- παρατηρείται ύπαρξη των σπηλαίων αλλά με μικρό μήκος και όχι σε μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη,
- οι συνεχείς αλλαγές της διαπερατότητας και των χαρακτηριστικών των ανθρακικών πετρωμάτων έχουν ως αποτέλεσμα την εξέλιξη των υπόγειων μορφών σε διαφορετικά επίπεδα βάθους,
- λόγω της γεωλογικής δομής του ανάγλυφου τύπου Ιούρα είναι δυνατή η δημιουργία πυκνών μικρών υδρογραφικών δικτύων και με μεμονωμένων επιφανειακών και υπογείων ροών. Επίσης εξαιτίας του σχηματισμού των στρωμάτων η ροή του νερού σε αυτά τα σημεία μπορεί να είναι αργή.

2.4.6. Η σύγχρονη τυπολογία των τύπων του καρστ (Alexander Klimchouk, Derek Ford; 2000)

Με τις σύγχρονες θεωρίες για την τυπολογία των τύπων του καρστ, σχετικά με τους ασβεστόλιθους, έχουν ασχοληθεί οι γεωμορφολόγοι Ivanov (1956), Quinlan (1978), επίσης έχουν υπάρξει και νεότερες συζητήσεις των Bozák, Ford and Glazek (1989), Palmer and Palmer (1989), και άλλων όπως και ο Klimchouk (1996) για τη γύψο.

Οι τύποι του καρστ παρακολουθούν και εξηγούν ολόκληρο τον κύκλο της εξέλιξης ενός γεωλογικού καρστικού σχηματισμού, από την ιζηματογένεσή του (συγγενετικό καρστ), μέσω του βαθιού ενταφιασμού, μέχρι την έκθεσή του και την απογύμνωσή του.

Τα κυρία χαρακτηριστικά τα οποία επιδρούν στην τυπολογία του καρστ των περιοχών των ασβεστόλιθων, των δολομιτών και των γύψων είναι:

- αργή καθίζηση ή η άνοδος των πλατφορμών τους,
- οι ευστατικές και οι παγετό-ευστατικές αλλαγές της στάθμης της θάλασσας.

Η πιο σύγχρονη και ιστορικά συγκεντρωμένη τυπολογία των τύπων του καρστ από τους Klimchouk και Ford (2000) και είναι:

- Συνγγενετικό καρστ (Syngenetic karst)
- Ενδο-στρωματικό καρστ (Intrastratal karst)
  - Βαθύ καρστ (Deep - seated karst)
  - Υποκείμενο καρστ (Subjacent karst)
  - Περιχαρακωμένο (οχυρωμένο) καρστ (Entrenched karst)
  - Απογυμνωμένο καρστ (Denuded karst)
- Εκτεθειμένο καρστ (Exposed karst)
  - Ανοικτό καρστ (Open karst)
  - Γυμνό καρστ (Denuded karst)
  - Αποκαλυμμένο καρστ (Exhumed karst)
    - Καλυμμένο καρστ (Mantled karst)
    - Ενταφιασμένο καρστ (Buried karst)
      - Παλαιοκάρστ (Paleokarst)

2.4.7. Συνγενετικό καρστ (Syngenetic karst)

Το συνγγενετικό καρστ έχει ταξινομηθεί από τον Jennings (1968).

Συνγγενετικό καρστ είναι το καρστ όπου τα ιζήματα των ρηχών πυθμένων των θαλασσών ή ωκεανών ενώνονται σχηματίζοντας πορώδεις βράχους ανθρακικών πετρωμάτων και σχεδόν ταυτόχρονα ή αμέσως μετά την απόθεση και ανύψωσή τους καρστικοποιούνται εξελίσσοντας τους καρστικούς σχηματισμούς. Η γρήγορη ανάπτυξη και εξέλιξη των υπογείων καρστικών μορφών στα νέα ανθρακικά ιζήματα προκαλείται από τις αντιδράσεις του γλυκού/θαλάσσιου νερού, καθώς και του υπόγειου νερού. Μετά από τον επόμενο ενταφιασμό του, το συγγενετικό καρστ θα εξελίσσεται στο τύπο του παλαιοκάρστ. Στην παρούσα εποχή οπού η στάθμη της θάλασσας είναι εξαιρετικά υψηλή, η ύπαρξη του συγγενετικού καρστ δεν είναι διαδεδομένη.

2.4.8. Ενδο-στρωματικό καρστ (Intrastratal karst)

Ενδο-στρωματικό καρστ είναι στο καρστ στον οποίο τα καρστικά πετρώματα βρίσκονται και αναπτύσσονται σε κάποιο βάθος με εναλλαγή αδιάλυτων πετρωμάτων. Κυριαρχική σημασία για την εξέλιξη του ενδο-στρωματικού καρστ έχουν οι υπόγειες ροές των νερών και οι κάθετα διασταυρωμένες επικοινωνίες τους. (Klimchouk, 1994, 1997; Töth, 1995).

Τα στάδια της καρστικής εξέλιξης του ενδο-στρωματικού καρστ είναι:

- Βαθύ καρστ (Deep-seated karst) δεν είναι εμφανές στην επιφάνεια, είναι ο τύπος του Ολο-καρστ που υπάρχει στις ασβεστολιθικές περιοχές όπου οι ασβεστόλιθοι έχουν μεγάλο πάχος, τοποθετούνται βαθιά και τα διαλυτά πετρώματα τους δεν εκτίθενται.
- Υποκείμενο καρστ (Subjacent karst) είναι το καρστ το οποίο βρίσκεται και αναπτύσσεται κάτω από τα αδιάλυτα στρώματα αλλά επίσης οι πάνω στρώσεις τους είναι εκτεθειμένες σε κάποια σημεία στην επιφάνεια σαν καρστικές μορφές όπως καρστικές πηγές ή κατακρημνισμένες οροφές των σπηλαίων.
- Περιχαρακωμένο καρστ (Entrenched karst) είναι εκεί όπου οι ποταμίσιες κοιλάδες έχουν περιχαρακώσει ολόκληρο το πάχος των στρωμάτων και των ενδιάμεσα αδιάλυτων πετρωμάτων.
- Απογυμνωμένο καρστ (Denuded karst) είναι όπου τα πετρώματα του καλύμματος των ασβεστολιθικών πετρωμάτων έχουν διαλυθεί ή διαβρωθεί.

  Σε μερικές περιπτώσεις, τα βαθιά καρστικά πετρώματα, όπως η γύψος και το ορυκτό άλας, μπορούν να αφαιρεθούν εξ ολοκλήρου λόγω διάλυσης πριν από οποιαδήποτε έκθεση της. Τέτοια διαλυτική αφαίρεση αφήνει χαρακτηριστικά λατυποπαγή καρστ που αποτελείται από

τα αδιάλυτα ή λιγότερο διαλυτά υπολείμματα ενδιάμεσων στρωμάτων (συνήθως ανθρακικών), καθώς και θραύσματα από τα υπερκείμενα πετρώματα.

Η ροή του νερού είναι μικρότερη και αρκετά ασταθής στο απογυμνωμένο καρστ, ενώ οι υπόγειοι καρστικοί αγωγοί κληρονομούνται κατά ένα μεγάλο μέρος από τα αρχικά στάδια. Τα περιορισμένα συστήματα της κυκλοφορίας του νερού «απελευθερώνουν» τη φρεατική ροή κατά τη μετάβαση από τα βαθιά εδραιωμένα σε περιχαρακωμένα και εκτεθειμένα στάδια εξέλιξης του καρστ, με συνέπεια την ανάπτυξη του υδροφόρου ορίζοντα και της αβαθούς ζώνης (vadose zone).

2.4.9. Εκτεθειμένο καρστ (Exposed karst) και Αποκαλυμμένο καρστ (Exhumed karst)

1. **Εκτεθειμένο καρστ** είναι το καρστ όπου στην επιφάνεια των πετρωμάτων δεν υπάρχουν υπολείμματα καλύμματος. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις της εξέλιξης και ύπαρξής του:
   - **Απογυμνωμένο καρστ** (Denuded karst) χαρακτηρίζεται από τη συνύπαρξη των καρστικών μορφών που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της εκτεθειμένης φάσης και εκείνων που κληρονομήθηκαν από την προηγούμενη φάση. *Τα* τελευταία μπορεί να είναι σε μεγάλο βαθμό υπολειμματικά και προσαρμόζονται σε διαφορετικό βαθμό στις νέες υδρολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες.
   - **Ανοικτό καρστ** (Open karst) είναι το καρστ που τα πετρώματά του δεν έχουν θαφτεί ποτέ κάτω από τα άλλα πετρώματα.
   - **Καλυμμένο καρστ** (Mantled karst) και **Ενταφιασμένο καρστ** (Buried karst) είναι τα καρστ που εκτέθηκαν και στην συνέχεια θάφτηκαν - καλύφθηκαν από μη σταθεροποιημένα ιζήματα. Η διαφορά τους είναι στο πάχος του καλύμματός τους. Το «Καλυμμένο καρστ» έχει πιο λεπτό πάχος καλύμματος και η υπόγεια καρστικοποίηση των καλυμμένων ασβεστολιθικών στρωμάτων δεν έχει σταματήσει. Το «ενταφιασμένο καρστ» έχει πιο παχιά στρώματα καλύμματος και το κάλυμμα έχει γεμίσει όλα τα ανοίγματα και σπηλιές και δεν υπάρχει υπόγεια καρστικοποίηση. Ο πιο ευκρινής τύπος του «Θαμμένου καρστ» είναι:
     - **Παλαιοκάρστ (Paleokarst)** Με τον όρο «παλαιοκάρστ» εννοούμε το απολιθωμένο καρστ όπου το υδρολογικό σύστημά του είναι αποσυνδεμένο από το σύγχρονο υδρολογικό σύστημα σε αντίθεση με το υπολειμματικό σύστημα που ισχύουν εντός του σύγχρονου συστήματος, αλλά έχουν εκτοπιστεί από το περιβάλλον στο οποίο σχηματίστηκαν (Ford, Williams. 1989). Κάθε καρστική μικρό ή μέγα μορφή που αναγνωρίζεται σήμερα μπορεί να υπήρξε στο παρελθόν στην επιφάνεια ή υπογείως

και μέσω της απομόνωσης με ταφή διατηρήθηκε από τη διάβρωση στο γεωλογικό αρχείο ενώ διακρίνονται από τα υπολείμματα των καρστικών ορυκτών. Η μεταφορική λειτουργία του νερού αυτού του καρστικού υδρολογικού συστήματος χάνεται και είναι άγνωστη ή δύσκολα αναγνωρίσιμη η υπόγεια κυκλοφορία του. Σε ακραίες συνθήκες τα καρστικά πετρώματα του τύπου Παλαιοκάρστ μπορεί να διαλυθούν εξ ολοκλήρου και να αντικατασταθούν στην επιφάνεια από τα υπολειμματικά ιζήματα που συσσωρευτήκαν στις θέσεις των καρστικών μορφών, όπως των δόλινων. Το παλαιοκάρστ μπορεί να αναγνωριστεί ακόμα και όταν δευτερεύοντα πετρώματα πλέον δεν υπάρχουν. Αυτό είναι ένα σημείο ιδιαίτερης σπουδαιότητας για την ερμηνεία του ενδοσωματικού καρστ της γύψου. Τα συστήματα του καρστ, ή τα συστατικά τους, μπορούν να απολιθωθούν σε οποιαδήποτε από τα στάδια ανάπτυξης που περιγράφονται πιο πάνω. Η απολίθωση είναι σχεδόν μοιραία όταν θάβεται το συγγενετικό καρστ. Στα βαθιά στρωματά του θειικού άλατος το καρστικό σύστημα μπορεί να αναπτυχθεί πλήρως και να αποσυντεθεί έπειτα, ενδεχομένως καθ' όλη την έκταση της διάλυσης των στρωμάτων της γύψου. Τα στρώματα των λατυποπαγών του καρστ παρουσιάζονται κυρίως στις ακολουθίες του θειικού-ανθρακικού άλατος και είναι αυτά που αντιπροσωπεύουν το ενδο-στρωματικό παλαιοκάρστ. Εν τούτοις, η επανεμφάνιση του βαθιού καρστ μεμονωμένα, δεν δείχνει συνθήκες του παλαιοκάρστ. Ενεργή καρστικοποίηση εμφανίζεται συνήθως σε περιβάλλοντα όπου μπορεί να αναπτυχθεί περιοδικά, κατά τη διάρκεια των μακροχρόνιων περιόδων που δυσκολεύει την διάκριση μεταξύ του ενδο-στρωματικού καρστ και του παλαιοκάρστ (Palmer και Palmer; 1989, p337).

2. **Αποκαλυμμένο καρστ (Exhumed karst)** είναι το ενδο-στρωματικό καρστ που εκτέθηκε και εξελίχτηκε σε αποκαλυμμένο. Ο ενταφιασμός των ασβεστολιθικών ιζημάτων πραγματοποιείται σχεδόν αμέσως μετά από την απόθεσή τους. Το πιο διαδεδομένο αυτής της μορφής είναι αυτό που δημιουργείται από τα υπολείμματα του καθαρού ασβεστόλιθου και του δολομίτη και μπορεί να έχει σημαντικό πάχος. Η συσσώρευση αυτών των ιζημάτων συνεχίζεται με την εξέλιξη του καρστ.

   Μεταξύ του ανοικτού και αποκαλυμμένου τύπου του καρστ μπορούν να υπάρξουν ιδιαίτερες διαφορές όσον αφορά στους μηχανισμούς ανάπτυξης τους και στα σχήματα των μορφών τους.

   - Το αποκαλυμμένο καρστ προτάθηκε από τον Quinlan (1978) για να προσδιορίσει το υποκείμενο ή περιχαρακωμένο καρστ που εκτέθηκε από την αφαίρεση της κάλυψής του.

Χαρακτηρίζεται από τη συνύπαρξη των μορφών που διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια του εκτεθειμένου σταδίου και εκείνων που κληρονομηθήκαν από τα προηγούμενα στάδια. Τα τελευταία μπορούν να είναι κατά ένα μεγάλο μέρος υπολείμματα ή προσαρμοσμένα με ποικίλους βαθμούς στο νέο υδρολογικό και υδρογεωλογικό υπόβαθρο. Οι κληρονομημένοι σχηματισμοί των σπηλαίων επηρεάζουν πολύ την ανάπτυξη του καρστικού τοπίου και την υδρολογία του.

- Το ανοικτό καρστ είναι το καρστ πού αναπτύσσεται κατά ένα μεγάλο μέρος ή εξ ολοκλήρου κατά τη διάρκεια της έκθεσής του. Κατά αυτό το τρόπο είναι αμιγές και ελεγχόμενο μόνο από τους παράγοντες της επιφανείας και ρηχής υπο-επιφάνειας χωρίς να έχουν κληρονομήσει τίποτα από τα προηγούμενα στάδια του καρστ. Αυτός ο τύπος του καρστ είναι κυρίαρχος στις μεγάλες καρστικές περιοχές με δολίνες και στις πύργο-ορεινές (cockpit) περιοχές των τροπικών περιοχών. Παρατηρείται συχνά εκεί όπου οι εβαπόριτες ή οποιαδήποτε διαλυτή λιθολογία εκτίθενται στις περιοχές με πολύ χαμηλό ανάγλυφο, με τους σχιστόλιθους που απαγορεύουν την κάθετη ροή των υπόγειων νερών μεταξύ των σχηματισμών. Υπερισχύει επίσης στα τροπικά νησιά και τις ακτές όπου τα πρόσφατα ανθρακικά πετρώματα βρίσκονται σε συνεχή έκθεση.
- Το αποκαλυμμένο καρστ είναι εκείνο που εκτέθηκε μετά τη διάβρωση των ιζημάτων που αρχικά ήταν θαμμένο (Quinlan, 1978; Bosak, Ford, Glazek, 1989). Αυτή η μορφή που αντιπροσωπεύει το εκτεθειμένο καρστ, μπορεί επανειλημμένως να λάβει τα χαρακτηριστικά του κατά τη διαδικασία ενός ενταφιασμού και να επιστρέψει πάλι σε μία ενεργή κατάσταση με την αποκάλυψή του. Συνέπεια όλων αυτών, είναι το εκταφόμενο καρστ να χαρακτηρίζεται από μια πολυφασική κληρονομιά και να υιοθετεί πολλές μορφές του παλαιοκάρστ. Οι μορφές του εκτεθειμένου καρστ στα ασβεστολιθικά πετρώματα δημιουργούν σπηλιές με δενδροειδή περάσματα, ενώ στα πετρώματα από θειικά άλατα δημιουργούν γραμμικά διακλαδωμένα σχέδια. Τα σχέδια των σχισμών, του ανάγλυφου, και του πάχους της αβαθούς ζώνης, μπορούν να κυμανθούν ευρέως. Το απογυμνωμένο καρστ μπορεί να παρουσιάσει μια ευρεία έκθεση των διαφορετικών σχεδίων των σπηλιών που κληρονομούνται από τα προηγούμενα στάδια, που χρησιμοποιούνται στις ποικίλες εκτάσεις από τα ενεργά συστήματα.

Οι τυπικές επιφανειακές καρστικές μορφές

2.5. Οι γλυφές

Οι γλυφές είναι οι μικρότερες καρστικές μορφές. Ο σχηματισμός τους (Εικόνα 2.6) οφείλεται στη χρόνια διάλυση των γυμνών επιφανειών των ασβεστόλιθων ή γύψων.

Εικ.2.6: Ο σχηματισμός και εξέλιξη των γλυφών (Rillenkarren ή Firstrillenkarren) βασισμένο στον Leser (1995)

Λόγω της προοδευτικής διάλυσης της επιφάνειας του πετρώματος (Π), που εκτείνονται από τη κατακόρυφη-βαθμιαία διάλυση στην οριζόντια διάλυση, έχουμε δημιουργία χασμάτων των γλυφών (Γ). Στα επεκτεινόμενα αυλάκια των γλυφών συλλέγεται το υλικό (Υ) της διάλυσης, όπου διατηρείται και μόνιμη υγρασία που βοηθά ώστε η διάλυση να προχώρα σε βάθος. Οι συνεχόμενες γλυφές δημιουργούν καρστικούς διαδρόμους και μόνο τα τμήματα του μη διαλυμένου ασβεστόλιθου παραμένουν.

Η γενική ονομασία αυτών των κοίλων μικρό-μορφών είναι οι γλυφές - Ελληνικά ή Karren - Γερμανικα; clints - Αγγλικά; Lapis - Γαλλικά; škrapari - Σέρβο-Κροατικά. Στη διεθνή καρστική γεωμορφολογική βιβλιογραφία, για την ονομασία των μορφών των γλυφών, πιο συχνά χρησιμοποιούνται οι γερμανικές φράσεις που περιγράφουν με περισσότερη λεπτομέρεια τις όψεις αυτών των μορφών στα διαφορετικά στάδια της εξέλιξης τους, καθώς επίσης και οι Αγγλικές ονομασίες όπως clints (Flachkarren) για κορυφές και grykes (Kluftkarren) για τα κανάλια.

Σε αυτά τα πετρώματα οι γλυφές σχηματίζονται σαν διαφορετικοί κοιλώδεις σχηματισμοί που ποικίλλουν σε βάθος από μερικά χιλιοστά μέχρι περισσότερο από μέτρο:

- μικρό γλυφές: < 1cm,
- γλυφές: από 1cm μέχρι 10m,
- πεδίο γλυφών: πάνω από 10.

Η εμφάνιση και ο σχηματισμός των γλυφών εξαρτάται από:

- την λιθολογία και γεωγραφική θέση του καρστικού υπόβαθρου που σχηματίζονται,
- την κλίση της πλαγιάς του καρστικού υπόβαθρου που σχηματίζονται,
- την κατεύθυνση της ροής του νερού που οδηγείται από τη δύναμη της βαρύτητας,
- την βλάστηση και τη βιολογική δραστηριότητα.

Οι γλυφές σχηματίζονται και εκτίθενται, μετά από την επίδραση του νερού, στις παρακάτω αναφερόμενες θέσεις:

- στις επιφάνειες του εδάφους (επιφανειακά ελεύθερες και γλυφές υπό φυτική κάλυψη),
- στις κάθετες στρώσεις,
- στο επίπεδο του στρώματος,
- στις μεγάλες πετρώδεις κορυφογραμμές,
- στις σπηλιές,
- στην ζώνη θραύσης των θαλάσσιων κυμάτων.

Μια καρστική περιοχή που κυριαρχούν οι γλυφές ονομάζεται «πεδίο γλυφών», το οποίο εμφανίζεται ως απογυμνωμένο καρστ αλλά μπορεί επίσης να είναι μισό-εκτεθειμένο και περιστασιακά καλυμμένο. Η έκταση του «πεδίου γλυφών» κυμαίνεται από μερικά εκτάρια έως μερικές εκατοντάδες τετραγωνικά μέτρα.

2.5.1. Επιφανειακά ελεύθερες γλυφές

Επιφανειακά ελεύθερες γλυφές ή εκτεθειμένες γλυφές είναι οι γλυφές που δημιουργηθήκαν με την επίδραση της ελεύθερης εκροής του νερού στην γυμνή επιφάνεια του ασβεστολιθικού πετρώματος:

- **Kamenica – κοίλες γλυφές**

  Kamenica (Εικόνα 2.7) είναι μια μικρή κοιλότητα με γενικά επίπεδη λεκάνη. Ο όρος προέρχεται από τη σερβική λέξη "kamenica" και σημαίνει κυριολεκτικά "η λίμνη σχηματισμένη στην πέτρα". Οι διαστάσεις της κυμαίνονται από μερικές δεκάδες των χιλιοστά (mm) ως μερικά μέτρα σε πλάτος και φτάνουν από 10mm έως 1m σε βάθος. Σχηματίζεται σε επίπεδα ή σχεδόν επίπεδα καρστικά πετρώματα, με την διάλυση αυτών των πετρωμάτων από την επίδραση του πρώτου στάσιμου νερού που συλλέγεται μεταξύ μικρών πτυχών και κατακλάσεων.

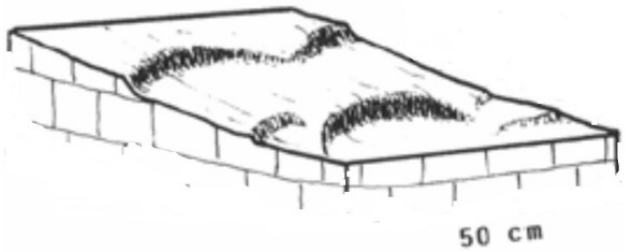
  Οι απότομες πλευρές αυτών των μικρό-μορφών προκαλούν την καθοδική ροή του νερού προς τα κάτω όπου οι ίδιες μικρό μορφές, σε σημεία που διασταυρώνονται, διευρύνονται σε λεκάνες, λακκούβες. Τα ιζήματα και τα πετρώματα συλλέγονται συχνά στον ομαλό πάτο τους εκεί παρατηρείται περαιτέρω διάλυση με την ενεργοποίηση του pH του νερού.

Εικ.2.7: Kamenica, περιοχή μελέτης του Ξηρόμερου (Veni, 2010)

- **Trittkarren – ημικυκλικές κλιμακωτές γλυφες**

  Οι γλυφές τύπου Trittkarren (Εικόνα 2.8) μοιάζουν με το αποτύπωμα ενός τακουνιού και ο σχηματισμός τους είναι ημικυκλικός-κλιμακωτός. Δημιουργούνται στα πρανή καρστικών πετρωμάτων και σχηματίζονται στην επιφάνεια. Τα περισσότερα Trittkarren δημιουργούνται στα κατωτέρα άκρα ενός gryke. Στις απότομες κλίσεις, στο κοίλο μέρος

με τον ρηχό χοανοειδή σχηματισμό των Trittkarren γλυφών, συγκεντρώνεται το νερό και για μεγάλο χρονικό διάστημα το χιόνι.

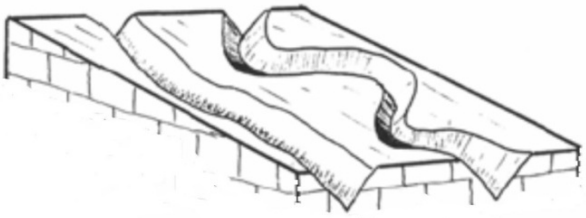


Εικ.2.8: Trittkarren

- **Rinnenkarren – αυλακοειδείς γλυφές και Mäanderkarren – μαιανδρικές γλυφές**

  Τα Rinnenkarren (Εικόνα 2.9: Α) είναι οι γλυφές σε σχήμα αυλακιών με απότομα τοιχώματα και με επίπεδο πυθμένα στον οποίο συλλέγεται το τρεχούμενο νερό. Όταν υγραίνεται η επιφάνεια του πετρώματος των Rinnenkarren, τότε διευρύνονται και εμβαθύνονται πιο πολύ σε βάθος. Αυτό το φαινόμενο τα διακρίνει από τις άλλες παρόμοιες μορφές των γλυφών. Όταν η κλίση του πετρώματος είναι μικρή δημιουργούνται σπειροειδείς γλυφές, ενώ με την αύξηση της κλίσης ευθείες. Σπάνια αναπτύσσονται κάτω από την εδαφική κάλυψη. Στις περιοχές με ξηρό κλίμα, σήμερα, τα Rinnenkarren υπάρχουν ως κατάλοιπα του παρελθόντος.

- **Οι Mäanderkarren** (Εικόνα 2.9: Β) είναι επίσης γλυφές σε σχήμα αυλακιών, ελικοειδείς γλυφές, που κόβονται άμεσα στην επιφάνεια του πετρώματος. Το εύρος και το βάθος τους είναι μερικά εκατοστά και παραμένει το ίδιο ή μειώνεται με την κλίση. Εμφανίζονται συχνά στα κατώτατα σημεία των μεγαλύτερων αυλακιών όπως Rinnenkarren.



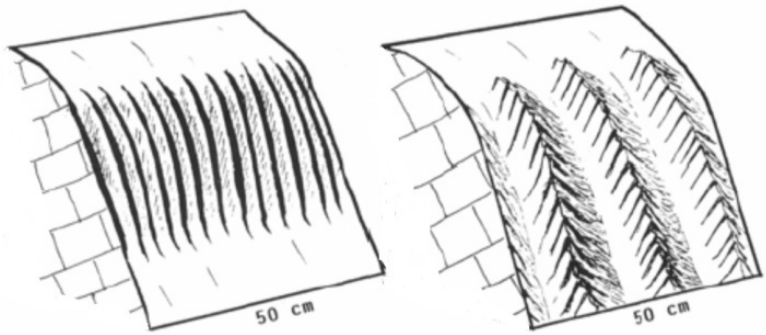
Α. **Β.**

Εικ.2.9: Α =Rinnenkarren και Β = Mäanderkarren

- **Rillenkarren** ή **Firstrillenkarren – ρηχές αυλακοειδείς γλυφές**

  Τα Rillenkarren και Firstrillenkarren (Εικόνα 2.10: Α, Β) είναι ρηχά αυλάκια, κανάλια, που χωρίζονται από τις απότομες κορυφογραμμές που δημιουργούνται από την ενεργεία

του νερού των βροχοπτώσεων. Δημιουργούνται μόνο στους απόκρημνους βράχους (με κλίση από 40° μέχρι 80°). Το μήκος τους εξαρτάται και διευρύνεται από την κλίση του πετρώματος, την θερμοκρασία και την βροχόπτωση, φθάνοντας από 50cm μέχρι 1m και το πλάτος τους από 1cm έως 3cm. Έχουν επαναλαμβανόμενο σε σειρά χαρακτήρα και οι κορυφογραμμές που τα χωρίζουν χαμηλώνουν βαθμιαία σχηματίζοντας μια ομαλή επιφάνεια με ύψος περίπου 1 cm.

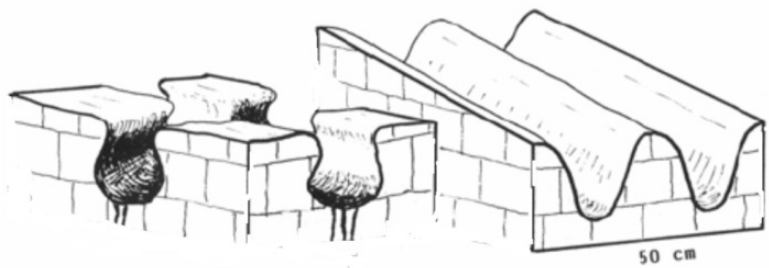


A. Rillenkarren **B.** Firstrillenkarren

Εικ.2.10: Έντονα κομμένες και απότομες επιφάνειες του πετρώματος

- **Rundkarren – συραγγοειδείς γλυφές**

Οι γλυφές Rundkarren (Εικόνα 2.11, Β.) μοιάζουν σαν μεγάλες σήραγγες που χωρίζονται με στρογγυλευμένες κορυφογραμμές και βρίσκονται κάτω από την επιφανειακή οργανική κάλυψη του εδάφους όπως στην άμμο των καλλιεργειών, την τύρφη ή άλλων χωμάτων ή κάτω από φυτοκάλυψη. Η στρογγυλευμένη υφή τους δημιουργείται από την επίδραση του νερού που δεν μπορεί να ρεύσει ελεύθερα και διαβρώνει έτσι όλες τις άκρες και τα σημεία αυτών των γλυφών. Το εύρος και βάθος τους είναι περίπου 50-500mm.

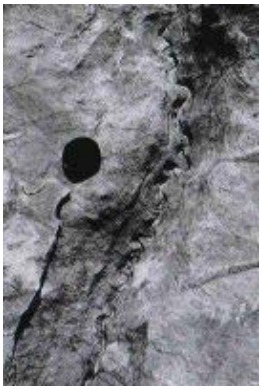


A. **B.**

Εικ.2.11: Δυο τύποι των Rundkarren (Α.- σταυρωτό, Β. - σήραγγα)

2.5.2. Γλυφές με φυτική κάλυψη ή καλυμμένες γλυφές

Καλυμμένες γλυφές (Subkutane, Subcutaneous) (Εικόνα 2.12) δημιουργούνται και αναπτύσσονται στο υπέδαφος, κάτω από ένα φυτόχωμα ή καλύπτονται από βλάστηση. Πάνω, στην επιφάνεια του εδάφους, απλώνονται τα βρυόφυτα όπου εκεί αποθηκεύεται εμπλουτισμένο νερό το οποίο με την επίδραση του CO_2 επιτίθεται και σχηματίζει τις γλυφές στην ύπαιθρο κάτω από την κάλυψη της βλάστησης. Στις κοιλότητες των γλυφών αυτών δημιουργούνται τα «μαξιλάρια» των φυτοχωμάτων, τα οποία αυξάνουν το μέγεθος των κοιλοτήτων. Επιφανειακά καλυμμένες γλυφες είναι οι εξής:



A.

B

Εικ.2.12: Α. Καλυμμένες γλυφές; Β. Καλυμμένες μαιανδρικές γλυφές (Arbeitsgemeinschaft Höhle & Karst Grabenstetten e.V.; 1996-2007)

2.6. Οι δολίνες

Σαν αποτέλεσμα της εμβάθυνσης του ασβεστολιθικού εδάφους λόγω της διάλυσης, κατάρρευσης, κατακλυσμού, περιφερειακής καθίζησης και διεύρυνσης των ρωγμών ή σχιστών έχουμε την δημιουργία των δολινών.

Ο όρος «**δολίνη**» έχει τις ρίζες του στην Σέρβο-κροατική λέξη «dolina» που σημαίνει «κοιλάδα» και χρησιμοποιείται για τις κοιλάδες των ποταμών και τις καρστικές πόλγες ή το οποιαδήποτε κοίλωμα, ανοικτό και κλειστό. Στην διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία τον όρο «δολίνη» πρώτος χρησιμοποιούσε ο Morlot (1848) για το κλειστό κυκλικό κοίλωμα και στην συνέχεια ο Cvijić (1895) εισήγαγε τον ορό για τα κλειστά κυκλικά κοιλώματα του καρστικού τοπιού σε αντίθεση με τον τοπικό όρο vrtača.

Στην Ευρώπη η λέξη "**dolina**" χρησιμοποιείται ως μια κυρίως περιγραφική σημασία. Στην Βόρεια Αμερική η λέξη **sinkhole** έχει κυρίως "μορφογενετική" σημασία και χρησιμοποιείται συνήθως για την περιγραφή των κοιλωμάτων στα οποία τα ρεύματα του νερού βυθίζονται υπόγεια και στην Ευρώπη περιγράφονται από τον όρο «καταβόθρα» (ponor).

Στην παγκόσμια καρστική γεωμορφολογική ορολογία η λέξη δολίνη καλύπτει μια πολύ ευρεία έννοια η οποία για κάθε κατηγορία έχει την εξής σημασία:

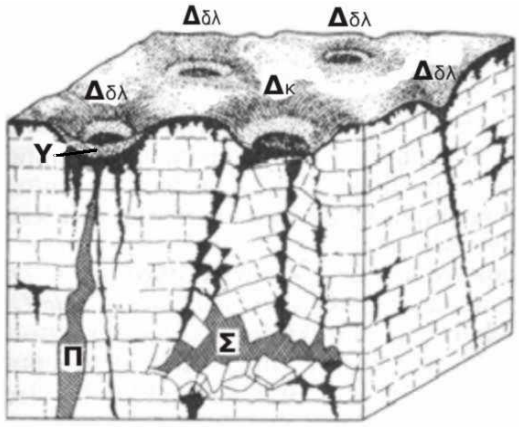
- **Μορφολογικά χαρακτηριστικά δολίνων:** κλειστό κυκλικό κοίλωμα με υπόγεια αποστράγγιση σε μια καρστική περιοχή. Το μέγεθος του κοιλώματος μετριέται σε μέτρα ή σε δεκάδες μέτρων. Συνήθως έχει χοανοειδή μορφή. Η διάμετρος των κοιλωμάτων των δολινών ποικίλλει μεταξύ μερικών λίγων μέτρων (m) και 1000m, με βάθος μέχρι 100m (Cvijić, 1893). Οι κλίσεις των τοιχωμάτων των δολινών κυμαίνονται από ήπιες έως κατακόρυφες ενώ το χαμηλότερο σημείο τους είναι συχνά κοντά στο κέντρο τους αλλά μπορεί να είναι και κοντά στις πλευρές τους.

- **Υδρολογικά χαρακτηριστικά δολίνων:** Η αποστράγγιση παρέχεται μέσω των υπόγειων καναλιών που μπορούν να διευρυνθούν από την κατάρρευση βραχοσκεπών.

Ο Nicod (1967) ανακάλυψε ότι οι δολίνες σε ασβεστολιθικό πέτρωμα δεν συνέχονται σε μεγάλο βάθος αλλά οι δολίνες οι οποίες είναι κάτω από το χώμα συνεχίζουν ακόμα και σήμερα να αναπτύσσονται.

Το μέγεθος της δολίνης κυμαίνεται από το μικρό, μεσαίο, μεγάλο.

Οι δολίνες μπορούν να εμφανίζονται μεμονωμένες είτε να διαμορφώνονται σε επίπεδα πεδία δολινών. Στα καρστικά τοπία η αποστράγγιση των επίπεδων πεδίων των δολινών είναι υπόεδαφικη (Εικόνα 13).



Εικ. 2.13: Το σύστημα της υπόγειας αποστράγγισης των διαλυσιγενενών δολινών συμφώνα με Cvijić (1926)

(Δδλ = Δολινα διάλυσης, Δκ = Δολινές κατάρρευσης, Σ = Σπηλιά,
Υ = Υπολειμματική πήλινή-από αποσάθρωση)

2.6.1. Η ταξινόμηση των τύπων των δολινών

Οι δολίνες σπάνια ταξινομούνται με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Υπάρχουν διαφορετικές απόψεις για τα χαρακτηριστικά τους και για την ταξινόμηση τους, όπως:

1. **<u>Η λιθολογία</u>**

   Βάσει της λιθολογίας οι δολίνες μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

   - αλατούχες δολίνες,
   - δολίνες ασβεστόλιθων οι οποίες είναι πιο συχνά εμφανείς.
   - δολίνες γύψου,
   - δολίνες δολομιτών.

   Υπάρχουν επίσης και οι δολίνες επαφών δηλαδή οι σαν μερικές δολίνες που αναπτύσσονται στα σημεία επαφής μεταξύ ασβεστόλιθου και μη διαλυτού πετρώματος όπως ο βασάλτης. Σε κάποια γεωλογικά και κλιματολογικά περιβάλλοντα είναι, επίσης, δυνατό να εμφανιστούν οι δολίνες σε λιγότερο διαλυτά πετρώματα όπως οι χαλαζιακοί ψαμμίτες.

2. **<u>Ο τύπος των γεωλογικών στρωμάτων</u>** (η διεύθυνση, κλίση, πάχος) **<u>και οι τεκτονικές παραμορφώσεις του εδάφους</u>** (τον τύπο της ζώνης ρήγματος: σύνθλιψη, σπασμό, σχισμή, κατεύθυνση, βύθιση, κτλ.) συμφώνα με Čar J. (2001):

- **«Στρωματοειδείς δολίνες» (Stratification doline)** αναπτύσσονται σε λεπτά γεωλογικά στρώματα τα οποία έχουν ήπιες κλίσεις των πλαγιών τους και εξελίσσονται από τη διάβρωση των σειρών των στρωμάτων. Εάν το στρώμα έχει οριζόντια κατεύθυνση τότε το σχήμα των δολινών είναι σχεδόν κυκλικό ή στενόμακρο, είναι μεγάλες και ρηχές με το βαθύτερο μέρος τους να βρίσκεται σχεδόν στη μέση του πυθμένα τους. Με την αύξηση της κλίσης του στρώματός τους διαμορφώνεται ανάλογα το σχήμα τους.

- **«Διαρρηγμένες δολίνες» ή «δολίνες στις ζώνες διάρρηξεις» (Fissure dolines, dolines in fissured zones)** υπάρχουν στις μέσο - πυκνές ζώνες διαρρήξεις. Η μορφή τους είναι πολύ ανώμαλη και προσαρμόζεται στις γεωλογικές δομές, επίσης είναι καλυμμένη με γλυφές. Το ασβεστολιθικό στρώμα τους έχει κλίση μέχρι 20° και επιμηκύνονται στην κατεύθυνση της βύθισης στρωμάτων ενώ έχουν περίπου την ίδια κλίση με αυτούς. Ο πυθμένας αυτών των δολινών είναι ρηχός με ένα ή περισσότερα χαμηλότερα σημεία.

- «**Στρωματοειδείς διαρρηγμένες δολίνες» (Bedded-fissured dolines)** Οι ασβεστόλιθοι έχουν μέσο πάχος (από 10 έως 100 cm) και η κλίση των τοιχωμάτων τους κυμαίνονται από 20° σε 60°. Οι πυθμένες τους έχουν ανώμαλο σχήμα και οι κορυφογραμμές είναι ορθογώνια επιμηκυμένες, ενώ γενικά είναι σχετικά στενές και βαθιές. Τα χαμηλότερα σημεία των δολινών επιμηκύνονται προς την κλίση των στρωμάτων. Συχνά, στο κατώτατο σημείο των δολινών, απαντώνται βραχοσκεπές ή σπηλαιώσεις με διάφορα μεγέθη και αναπτυγμένες σύμφωνα με την κατεύθυνση του στρώματος.

- **«Ρηξιγενείς δολίνες» ή «δολίνες στις ρηξιγενείς ζώνες» (Broken dolines, dolines in broken zones)** είναι πολύ μεγάλες και αναπτύσσονται κανονικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι κορυφογραμμές τους έχουν κυκλικό σχήμα και μπορεί να απλωθούν από την μια στην άλλη άκρη της σπασμένης ζώνης. Στο ανώτερο τμήμα οι κλίσεις των τοιχωμάτων των δολινών είναι πιο απότομες και στο χαμηλότερο πιο ομαλές οπού οι κλίσεις είναι γενικά χωρίς προεξοχές ή γλυφές και εμφανίζονται κατά τόπος με βράχους ή είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου καλυμμένες με κλαστικό υλικό. Το βάθος των δολινών εξαρτάται από την κάθετη κατεύθυνση του στρώματος μέσα στη σπασμένη ζώνη. Τα

κατώτατα σημεία των δολινών είναι συνήθως επιμηκυμένα στην κατεύθυνση της ρηξιγενούς ζώνης.

- **«Δολίνες κοντά σε ρήγμα» (Near-fault dolines, dolines near the fault zone)** είναι οι δολίνες όπου σε μια πλευρά τους συνορεύει με ρήγμα. Σε περίπτωση που υπάρχει μόνο ένα ρήγμα σε μια μόνο πλευρά, τα τοιχώματα της δολίνης έχει απότομη κλίση όπου από κάτω είναι λίγο ή καθόλου κατακερματισμένη από το ρήγμα. Εάν έχουμε ζώνη ρηγμάτων των συνοδευμένων ρηγμάτων τότε έχουμε διαβαθμισμένο σχήμα των πλαγιών των δολινών. Μπορούμε να παρατηρήσουμε διάφορα απότομα ρήγματα με ενδιάμεσες επίπεδες προεξοχές. Οι λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι δεν παρουσιάζουν τέτοια δομή. Σε αυτή την περίπτωση οι πλαγίες των δολινών είναι απότομες και καλυμμένες με τα μικρότερα ή μεγαλύτερα σπασμένα κομμάτια του πετρώματος. Η κατεύθυνση της εξέλιξης αυτού του τύπου των δολινών συνήθως ακολουθεί την κατεύθυνση του ρήγματος ή της ζώνης των ρηγμάτων. Ο πυθμένας, επίσης, κατευθύνεται κατά μήκος της ζώνης των ρηγμάτων και καλύπτεται συνήθως από ένα παχύ στρώμα του κλαστικού υλικού. Αυτός ο τύπος των δολινών τίθεται συχνά σε μια σειρά ενώ η κατεύθυνση και το πάχος των στρωμάτων έχουν δευτερεύουσα σημασία.
- **«Ρηγματογενείς δολίνες» ή «οι δολίνες στις ζώνες ρήγματος» (Fault dolines, dolines in fault zones)** αναπτύχθηκαν εξ ολοκλήρου στην ζώνη των ρηγμάτων ακολουθώντας στη σειρά κατά μήκος την κατεύθυνση των ρηγμάτων. Το επίπεδο ρήγμα ή ζώνη των επίπεδων ρηγμάτων περιλαμβάνουν την ευρεία κομματιασμένη εσωτερική ζώνη όπου κατά συνέπεια το πέτρωμα είναι σπασμένο σε διαφορετικά μεγέθη και το βασικό στρώμα δεν είναι πλέον ορατό. Το χαρακτηριστικό αυτού του τύπου δολινών είναι ότι υπάρχουν ρηχές δολίνες με ομαλές κλίσεις και πολύ βαθιές δολίνες με απότομες κλίσεις, επίσης, τα ενδιάμεσα χάσματα μεταξύ των δολινών μπορεί να είναι πολύ χαμηλωμένα ή ελαφρώς χαμηλωμένα σε σχέση με την περιβάλλουσα έκταση. Το εξωτερικό πλαίσιο των δολινών είναι ανώμαλο και το κατώτατο σημείο μπορεί να είναι είτε ανώμαλο είτε καλυμμένο από ένα παχύτερο στρώμα κλαστικού υλικού. Η μορφολογία και το βάθος των δολινών εξαρτάται από την δομή, και τον βαθμό του σπασίματος της εξωτερικής ζώνης ρηγμάτων, και τη μορφολογία και την κατεύθυνση των ρηγμάτων.

- **«Δολίνες γεωλογικής επαφής» (Contact dolines, dolines at geological contacts)** ή δολίνες που αναπτύσσονται στην επαφή δυο διαφορετικών γεωλογικών στρωμάτων είτε

δυο ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθος με δολομίτη) ή ανθρακικά με μη-ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθος με φλύσχη). Σε σχέση με την επαφή των διαφορετικών στρωμάτων οι δολίνες μπορούν να είναι κανονικού τύπου και τύπου διάβρωσης, λόγω ρηγμάτων και όλων των ειδών των σπασμένων ζωνών (σχισμένες, σπασμένες, συντριμμένες).

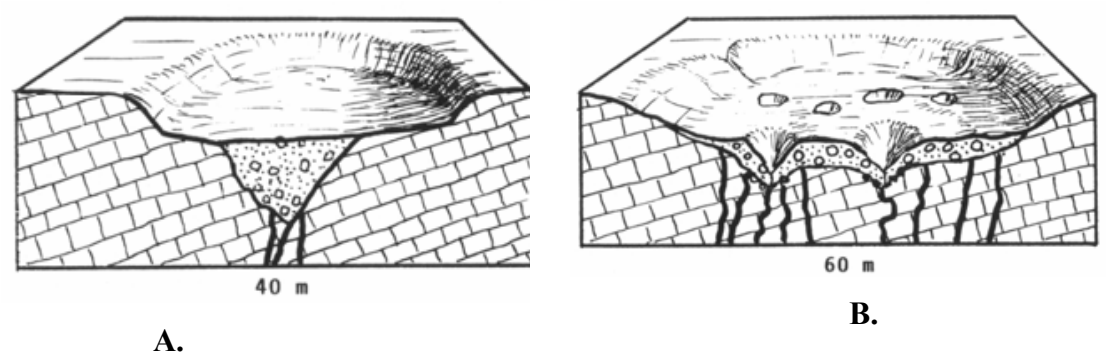
- **«Δολίνες επαναλαμβανόμενες» (Reproduced dolines, repeated dolines; dolines reproduced from the base foot-wall)** χρειάζονται ειδικές συνθήκες για την αναπαραγωγή τους στο κατώτερο τμήμα του επίπεδου ρήγματος του ασβεστολιθικού πετρώματος. Στη βάση του υποβάθρου είναι απαραίτητη η ύπαρξη πετρωμάτων που καρστικοποιούνται όπως λ.χ. διαφορετικοί ασβεστόλιθοι, και στην συνέχεια, από πάνω τους τα αδιαπέραστα (που είναι τεκτονικά σπασμένα) ή κλαστικά πετρώματα όπου στην επιφάνεια τους δημιουργούνται οι δολίνες λόγω καρστικοποίησης. Στα χαμηλότερα στρώματα είναι απαραίτητη η ύπαρξη μικρότερης ή μεγαλύτερης καρστικής σπηλιάς για «να απορρόφησει» το υλικό από τα ανώτερα στρώματα. Τα ανώτερα στρώματα δεν πρέπει να είναι πάρα πολύ πυκνά ώστε να αποτρέψει την κατάρρευση και τη μεταφορά του υλικού. Το πάχος τους εξαρτάται από το μέγεθος και την ένταση καρστικοποίησης της βάσης και από το βαθμό σπασίματος το πετρώματος στο λιθολογικό χαρακτήρα των ανώτερων στρωμάτων.

3. **<u>Ο σχηματισμός της δολίνης</u>** ο όποιος αναφέρεται σε:

- αντικείμενα (κύπελλο, χοάνη, κοίλωμα),
- γεωμετρική μορφή της δολίνας (ημισφαιρική, κωνική, κυλινδρική)
- σχήμα του επιπέδου της εμφάνισης της δολίνας (πολυγωνικό, αστεροειδές διαμορφωμένο, ανώμαλο, κ.λπ.)’

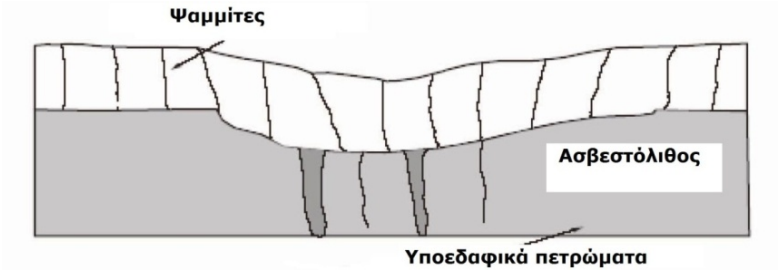
Στην καρστικη γεωμορφολογία η ταξινόμηση των δολίνων σε σχέση με το εσωτερικό τους σχήμα ακολουθεί ακόμα και σήμερα την πρόταση του J.Cvijić (1893):

- **Δισκοειδείς δολίνες** (Εικόνα 2.14): πρόκειται για δισκοειδείς διαμορφωμένες δολίνες στις οποίες η ακτίνα τους είναι πολλές φορές μεγαλύτερη από το βάθος τους έτσι ώστε να έχουν μια σχέση με της μορφής 10:1, με μια κλίση των τοιχωμάτων τους από 10° – 15°.



Εικ.2.14: Οι δισκοειδείς δολίνες (Α.,Β.), γεμισμένες με τις αποθέσεις του παγετώνα-μορένες, εξελισσόμενες σε μορφή ουβάλας (Β.)

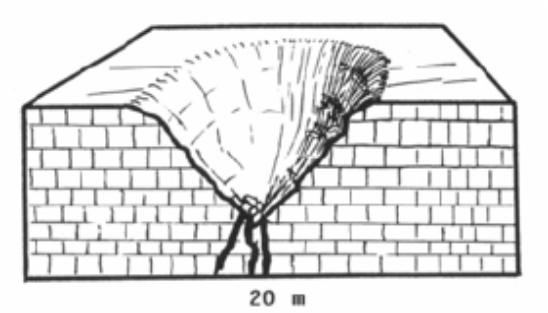
Ο πυθμένας τους είναι συνήθως επίπεδος και καλυμμένος με αδιάλυτα πετρώματα, όπως τα κοκκινοχώματα (terra rossa), τα ιζήματα του ψαμμίτη, του αλλούβιου, του παγετώδους ιζήματος ή ασβεστούχου πηλού. Εάν καλύπτεται από το υλικό των αποθέσεων των παγετώνων, η καρστικοποίηση συνεχίζεται στο ασβεστολιθικό πέτρωμα και κατόπιν αναπτύσσεται η καθίζηση της επιφάνειας - **οι δολίνες καθίζησης** (subsidence dolines)(Εικόνα 2.15). Αυτός ο τύπος των δολινών δημιουργείται και εξελίσσεται στους λίγο διαλυτούς ασβεστόλιθους όπως είναι οι δολομίτες ή στους ασβεστόλιθους (πχ. πυρόλιθοι). Επίσης είναι πιθανή και η πολύ-γενετική εμφάνισή τους. Οι δολίνες αυτού του τύπου εκκενώνονται και γρήγορα ή βαθμιαία καθιζάνουν προς τα κάτω μέσω των διαβρωμένων, διευρυμένων σωλήνων του βασικού διαλυτού ασβεστολιθικού πετρώματος του ενδοσωματικού καρστ.



Εικ.2.15: Οι δολίνες καθίζησης - Subsidence dolines
(Sauro, 2003)

- **Χοανοειδείς διαμορφωμένες δολίνες** (Εικόνα 2.16) είναι οι δολίνες στις οποίες η ακτίνα τους έχει περίπου παρόμοιο μέγεθος με το βάθος τους, προκύπτει έτσι μια σχέση της μορφής 1:1 στην περίπτωση της διαμέτρου και του βάθος. Έχουν τη μορφή χοανών, που είναι είτε συμμετρική είτε ασύμμετρη, με μια γωνία των τοιχωμάτων τους μεταξύ 30° και 40°. Αυτός ο τύπος των δολινών αποτελείται συνήθως από χαλαρό υλικό και εμφανίζεται στους πολύ καλά διαλυμένους, τεκτονικά ταραγμένους ασβεστόλιθους. Στα

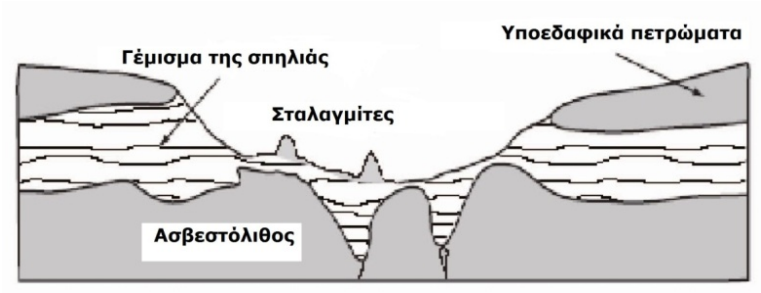
ασβεστολιθικά πετρώματα αυτών των δολινών παρατηρούνται συνήθως εξελιγμένες γλυφές με ξηρό ανάγλυφο στο βάθος των οποίων συνήθως υπάρχει καταβόθρα (ponor), όπου εξαφανίζονται οι ροές του νερού.



Εικ.2.16: Η χοανοειδείς διαμορφωμένες δολίνες, βυθισμένες με την διάλυση τους

- **Εγκατακρεμνησιγενείς δολίνες** (collapse dolines) (Εικόνα 2.17) είναι διαμορφωμένες με μορφή φρεατίου και η διάμετρός τους σε σχέση με το βάθος είναι ισορροπημένη 1:1 ή τις περισσότερες φορές μικρότερη από το βάθος τους. Ο συγκεκριμένος τύπος των δολινών δημιουργείται στις τομές δυο ή περισσοτέρων καθέτων ή υπό-καθέτων ρηγμάτων. Έχουν σχεδόν καθέτους τοίχους και σχετικά επίπεδο έδαφος του πυθμένα. Ο τύπος αυτός προκύπτει από την κατάρρευση της οροφής ή από μια διαδικασία διάλυσης, εάν η οικοδόμηση των στρωμάτων είναι ακριβώς κάθετη. Στο καρστικό τοπίο, που υπάρχουν οι δολίνες κατάρρευσης, συνήθως στο υπόγειο τους παρατηρείται το σύστημα των σπηλιών επίσης αυτές οι δολίνες αποτελούν την μορφική μετάβαση προς την υπόγεια καρστική γεωμορφή - jama. Οι κατευθύνσεις των καταρρεύσεων μπορεί να ακολουθήσουν επίσης τις υπόγειες διαδρομές που κατευθύνονται κάθετα στο βάθος. Ακόμα, υπάρχει περίπτωση κατάρρευσης της οροφής της σπηλιάς απορροφώντας προς τα κάτω τον πυθμένα της δολίνης με τον όποιο γεμίζονται τα κενά της ίδιας, και εξελίσσονται με την διάβρωση. Συμφώνα με την άποψη σπηλαιολόγων, αυτές οι μορφές μπορούν να ονομαστούν και "άστεγες σπηλιές" (Mihevc, 2001). Με αυτό το τρόπο δημιουργούνται ανοίγματα τα οποία ονομάζονται "καρστικά παράθυρα" μεταξύ του υπόγειου και του εξωτερικού περιβάλλοντος ή **δολίνες διατομής** (inception doline).

Α.



Β.

Εικ.2.17: Οι εγκατακρημνισμενείς δολίνες (Α.,Β.)
(Β. με γεμισμένα κενά της σπηλιάς) (Sauro, 2003)

4. <u>Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της δολίνης.</u>

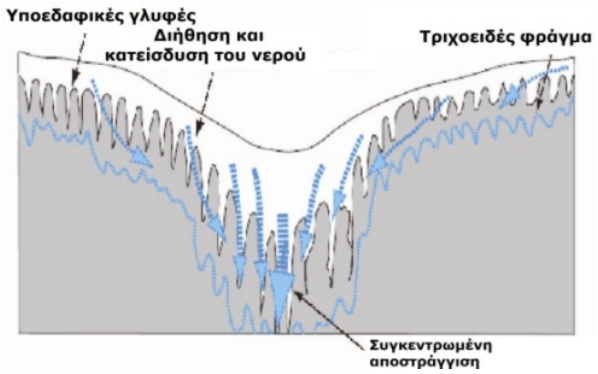
Η βροχή και το χιόνι είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που συντελούν στην διάβρωση. Η εμβάθυνση των δολινών πραγματοποιείται λόγω τις διεύρυνσης και βύθισης των ρωγμών ή σχισμών του βασικού πετρώματος ή φραγμών και εδαφολογικών σχηματισμών. Κατά την διάρκεια της εξέλιξης των δολινών μέσω διαβρωμένων ρωγμών ξεπλένεται και το λεπτό υλικό, όπως η άμμος και οι πέτρες. Η υπόγεια εξαφάνιση του νερού γίνεται στα σημεία στα οποία τα τοιχώματα των δολινών ή των μεγαλύτερων καρστικών κοιλοτήτων (ουβάλα, πόλγες) βυθίζονται και ονομάζονται **καταβόθρες** (ponor, sinking river, sinking stream).

- **Οι λιμνό-δολίνες** είναι καρστικές λίμνες, ή κλειστές κοιλότητες ή δολίνες που υπάρχουν σε ένα στεγανό στρώμα όπως στα κοκκινοχώματα. Οι πυθμένες αυτών των αδιάλυτων ιζημάτων συνήθως είναι ασβεστολιθικοί. Ο όρος «λιμνό δολίνες» υπονοεί ότι η δολίνη είναι κοντά στο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

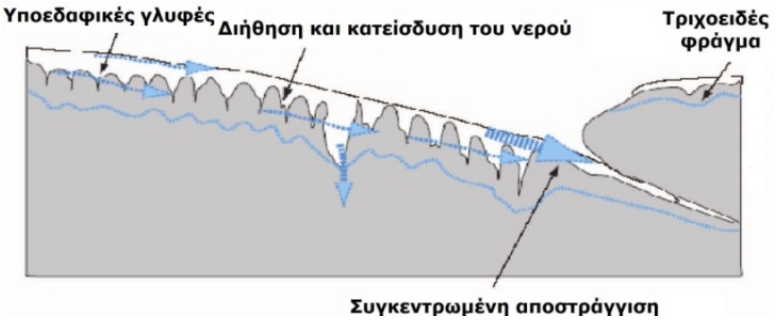
Οι τύποι των δολινών οι οποίοι διαμορφώνονται όταν διαλύεται ο ασβεστόλιθος που είναι στην επιφάνεια ή κάτω από το στρώμα χώματος το οποίο καλύπτει μικρές ή διάπλατες ρωγμές του ασβεστολιθικού πετρώματος είναι (Terzaghi, 1913):

- **Διαλυσιγενείς δολίνες ή "κανονικές" ή δολίνες διάλυσης** (**solution dolines**) (Εικόνα 2.18) είναι οι δολίνες που σχηματίζονται με επιταχυνόμενη χημική διάβρωση - διάλυση και διεύρυνση υπεδαφών γλυφών του βασικού πετρώματος αυξάνοντας τη διαπερατότητα τους. Το νερό της αποστράγγισης συγκεντρώνεται στα βαθύτερα σημεία

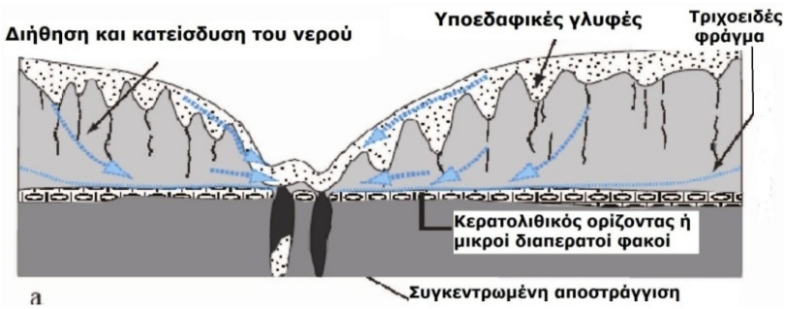
αυτών των δολίνων που επιταχύνει τη διαδικασία διάλυσης και διεύρυνσης πιο πολύ σε σχέση με τα περιφερειακά σημεία. Η μεγαλύτερη μάζα του πετρώματος των δολινών αφαιρείται πιο πολύ από τα κέντρα σημεία τους σε σχέση με τα περιφερικά σημεία τους, με αποτέλεσμα την διάνοιξη με δίκτυο των υπόγειων νερών. Σε «υγρή περίοδο» το ρηχό υπό-εδαφικό σύστημα των δολινών είναι διαποτισμένο με νερό.



Α. Ο εμφανιζόμενος τύπος των διαλυσιγενών δολινών ονομάζεται drawdown doline (Ford, Williams; 1989)



Β. Διαλυσιγενείς δολίνες ή «point recharge doline» ονομάζονται οι δολίνες που έχουν στο πιο χαμηλότερο σημείο του πυθμένα τους την ενισχυμένη επαναφόρτιση του νερού και επανερχομένη επίθεση της διάβρωσης (Ford, Williams; 1989)

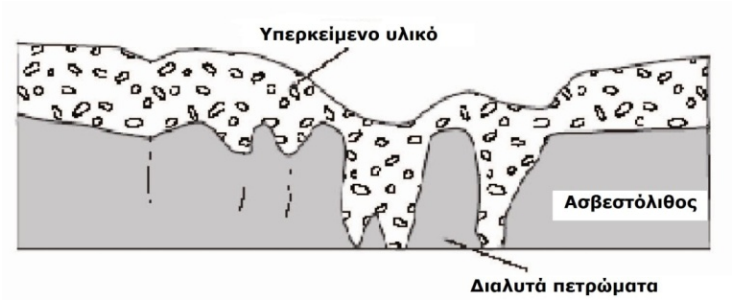


Γ. Διαλυσιγενείς δολίνες που κάτω από τον πυθμένα τους έχουν αδιαπέρατα πετρώματα (πχ. κερατόλιθους φακούς) και η αποστράγγισή τους γίνεται μέσω ενός χάσματος παρουσιάζοντας χαμηλότερη ικανότητα αποθήκευσης του νερού ονομάζονται inception doline (Sauro; 2005).

Εικ.2.18: Οι υποκατηγορίες των Διαλυσιγενών δολινών (**Α., Β., Γ.**) (Sauro, 2003)

5. **<u>Οι καλυμμένες δολίνες</u>** (Coverd dolines)

Οι αποκαλούμενες "αλλούβιακές δολίνες" (Williams, 1969)(Εικόνα 2.19), διαμορφώνονται σαν συνέπεια της απορρόφησης των μη σταθεροποιημένων κλαστικών ιζημάτων ανάμεσα σε κοιλότητες και σωλήνες που αναπτύχθηκαν σε βασικό διαλυτό ασβεστολιθικό πέτρωμα του ενδοσωματικού καρστ. Κατά συνέπεια οι αλλουβιακές δολίνες αποτελούν ένα ενδιάμεσο τύπο μεταξύ των δολινών διάλυσης και των δολινών καθίζησης (Wait).



Εικ.2.19: Οι δολίνες κάλυψης - Coverd dolines (Sauro, 2003)

6. **<u>Οι ανθρωπογενείς δολίνες</u>** (anthropogenic dolines).

Εάν η διάκριση είναι βασισμένη στην κλειστή μορφή κοιλοτήτων ή/και στη λειτουργία της μορφής τότε μερικές αντίστοιχες τεχνητές μορφές μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως δολίνες (Sauro). Σαν παράδειγμα έχουμε τους κρατήρες των βομβών, μερικά λατομεία ή σπασμένα πετρώματα (Celi, 1991). Επίσης με την εκμετάλλευση του υδροφόρου στρώματος του καρστ χαμηλώνει η στάθμη του υπογείου νερού και με την κατάρρευση των σκεπών τους δημιουργούνται οι δολίνες. Επίσης, λόγω των σεισμικών μετακινήσεων ενεργοποιούνται κατά μήκος κάποια «sink» δημιουργώντας τις χοανοειδείς σεισμικές δολίνες.

7. **<u>Δολίνες με βάση το κλιματικό περιβάλλον που αναπτύσσονται</u>**

Οι δολίνες μπορούν να διακριθούν επίσης βάσει του κλιματολογικού περιβάλλοντος στο οποίο διαμορφώνονται:

- οι τροπικές δολίνες οι οποίες απαντώνται σε σχήμα αστεριού ή σε πολυγωνικό σχήμα,
- οι δολίνες οι οποίες παρατηρούνται συνήθως στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη και έχουν κυκλικό σχήμα,
- cenotes, ή "δολίνες του σταθερού νερού" που είναι χαρακτηριστικές των τροπικών περιοχών, και οι μπλε λακκούβες ή υποβρύχιες δολίνες.

2.7. Οι ουβάλες

Από γεωμορφολογικής άποψης, οι ουβάλες είναι ξεχωριστός σχηματισμός του επιφανειακού καρστικού ανάγλυφου. Οι ουβάλες είναι μεγάλα βυθίσματα με περίπλοκο σχήμα και περίγραμμα.

Το μήκος και το πλάτος των ουβαλών εκτείνεται από μερικές δεκάδες μέτρα μέχρι χιλιόμετρα, ενώ οι διαστάσεις του βάθους τους είναι από μερικές δεκάδες μετρά μέχρι εκατό μετρά. Οι μεγαλύτεροι άξονες των ουβαλών είναι συνήθως παράλληλοι με τις κατευθύνσεις των στρωμάτων τους και πολύ σπάνια έχουν σχέση με τις κατευθύνσεις των γλυφών τους.

Οι ουβάλες εξελικτικά υποδηλώνουν ένα μεταβατικό στάδιο ανάμεσα στις δολίνες και τις πόλγες. Το σχήμα τους διαμορφώνεται με την ένωση των δολινών. Στον πυθμένα των ουβαλών μπορεί να υπάρχουν και χαμηλά κερατοειδούς μορφή βουνά τα οποία είναι σχηματισμένα από το βασικό ασβεστολιθικό πέτρωμα. Αυτά τα κερατοειδούς μορφής βουνά σχηματίζονται λόγω της μείωσης του χάσματος που υπήρχε στις χωρισμένες δολίνες. Καθώς τα χωρίσματα των δολινών διαβρώνονται, μειώνεται το ύψος τους ενώ οι πυθμένες των διαφόρων δολινών οι οποίοι τώρα είναι κοινοί, έχουν συνήθως κυματοειδές σχήμα (πολλές μικρές δολίνες) ενώ λίγες φορές είναι επίπεδοι. Ο πυθμένας αυτός καλύπτεται από κοκκινοχώματα με πάχος κάποιες δεκάδες εκατοστά.

Ουβάλες πολύ συχνά συναντούμε στους πυθμένες των ξηρών κοιλάδων των ποταμών του καρστ. Με την ροη του νερού στους πυθμένες των καρστικών κοιλάδων ξεκινά η διάβρωση προς σχηματισμό δολινών και στην συνεχεία η διάβρωση αυτή εξαπλώνεται προς τα χωρίσματα ανάμεσα στις σχηματισμένες δολίνες. Επίσης έχουμε την δημιουργία ουβαλών και στις τυφλές ποτάμιες κοιλάδες του καρστ. Όταν η ροή η οποία έχει δημιουργήσει την τυφλή κοιλάδα αρχίζει πάλι, στην αρχή αυτής της κοιλάδας, να κατευθύνεται υπόγεια, τότε δημιουργείται ένα ξηρό κλειστό κοίλωμα που έχει τις διαστάσεις και το σχήμα της ουβάλας. Αυτό το βύθισμα με την πάροδο του καιρού παρουσιάζει μεγέθυνση στις διαστάσεις του.

2.8. Οι πόλγες

Οι καρστικές πόλγες είναι μεγάλες τοπικές κοιλότητες που βρίσκονται στις καρστικές περιοχές. Ο ορός πόλγη (polje) έχει Σέρβο-Κροατικές ρίζες και έχει το ίδιο νόημα όπως και στην διεθνή καρστική γεωμορφολογική βιβλιογραφία.

Η γένεση των καρστικών πολγών δεν είναι αποτέλεσμα της καρστικής εξέλιξης ή χημικής διάβρωσης διότι η εξέλιξή τους απαιτεί τις περίπλοκες και μακροχρόνιες διαδικασίες που ακόλουθουν τη δημιουργία των πολύ-γενετικών και πολυμορφικών μορφών.

Ένας από τους συνηθισμένος ορισμούς της πόλγης είναι: "οι πόλγες είναι μεγάλες κλειστές λεκάνες του καρστ με επίπεδο πυθμένα, με απότομες κλίσεις στις πλαγιές τους και με αποστράγγιση των επιφανειακών νερών " (Gams, 1974, 1978).

Οι πόλγες είναι ευρείες, επιμηκυμένες και κλειστές ή μισόκλειστες καρστικές μορφές και η ύπαρξή τους συνήθως οφείλεται στην ενδογενή δυναμική. Στους πυθμένες των πολγών υπάρχουν χώματα από την διάλυση των πολύ απότομων πλαγιών τους. Το μήκος και το πλάτος τους μπορεί να φτάσει τις δεκάδες χιλιόμετρα και το βάθος τους μέχρι δεκάδες μέτρα.

Ο ομαλός πυθμένας των πολγών μπορεί να είναι σχηματισμένος από τους ασβεστόλιθους, το κλαστικό υλικό (μη-πλημυρισμένο) ή από διπλά στρώματα, πού έχουν ως βάση τον ασβεστόλιθο, και ως υπερκείμενα στρώματα που προέρχονται από την συσσωρεμένη κάλυψη των πλαγιών τους και τα οποία προσδίνουν στον πυθμένα τη επίπεδη εμφάνιση του. Το πάχος του συσσωρεμένου υλικού του πυθμένα ποικίλλει από μηδέν μέχρι εκατοντάδες μετρά. Η προέλευση του κλαστικού υλικού στους πυθμένες των πολγών είναι διαφορετική κάθε φορά. Στην επιφάνεια μπορεί να υπάρχουν κοκκινοχώματα, με πλάτος στρώσης που φτάνει τα μερικά δεκάμετρα. Στα όρια των πολγών, στους πρόποδες των αποτόμων πλαγιών τους μπορούμε να παρατηρήσουμε διασκορπισμένα κολλουβιακά ιζήματα, φτωχά μετάλλευμα, υπολείμματα, κλαστικά υλικά και σπάνια κατάπτωση πετρωμάτων των ιδίων πλαγιών. Επίσης, εάν ο ποταμός, σε όλο το μήκος του ή μονό σε κάποιο τμήμα του, ρέει στην επιφάνεια του πυθμένα, στην κοίτη του ποταμού και στο ρηχό πυθμένα της κοιλάδας του, θα έχουμε συσσώρευση των ποταμίων ιζημάτων. Το μεγαλύτερο ποσοστό του κλαστικού υλικού στους πυθμένες των καρστικών πολγών έχει λιμναία προέλευση.

Οι πόλγες στο παρελθόν τους, πριν την επιτακτική καρστικοποίηση τους, μέχρι να ανοίξουν οι καταβόθρες, αποτελούσαν κλειστά κοιλώματα υπό συνθήκες λιμνών. Το ποσοστό και το πάχος του κλαστικού υλικού αυξάνεται με το περιοδικό τεκτονικό βύθισμα της κοιλότητας της πόλγης που προκαλεί ενδυναμωμένη συσσώρευση της ιδίας. Σε κάποιες καρστικές πόλγες,

παρατηρείται σήμερα, εκμετάλλευση του κλαστικού υλικού όπως του κάρβουνου, το οποίο έχει δημιουργηθεί στις αναβαθμίδες του κάποτε λιμναίου περιβάλλοντος. Με την αλλαγή του κλίματος της παγετώδους εποχής, στις υψηλότερες πόλγες, με υψόμετρο επάνω από τη στάθμη της θάλασσας, ρέουν πλούσιες ποσότητες νερού που έχουν δημιουργηθεί από την τήξη των παγετώνων. Αυτά τα νερά μεταφέρουν τις μεγάλες ποσότητες των αποθέσεων του παγετώνα που συσσωρεύονται στον πυθμένα των κοιλωμάτων. Το παγετώδες-λιμναίο υλικό έχει δέκα-μετρικό πάχος με την χαρακτηριστική ρυθμική αλλαγή του υψηλού και ογκώδους υλικού των αποθέσεων. Αυτές τις αποθέσεις εκμεταλλεύονται σαν οικοδομικό υλικό. Στους πυθμένες κάποιων πολγών υπάρχουν και σήμερα παγετώδη-λιμναία ριπίδια.

Οι κατευθύνσεις των πολγών ακολουθούν καθ όλη την έκταση τους, τις τοπικές κατευθύνσεις των κύριων ρηγμάτων, των στρωμάτων και τους άξονες των πτυχών και των μπλοκ.

Ο πυθμένας και οι πλαγιές των πολγών είναι επιτακτικά καρστικοποιημένοι και παρατηρείται η εξέλιξη των διαφορετικών τύπων των γλυφών, των δολινών και των ουβαλών. Στο κέντρο των πυθμένων των πολγών μπορούν να υπάρχουν και απομονωμένα βουναλάκια τα οποία αποκαλούνται χουμ (hum). Επίσης, πολύ συχνά έχουμε και ύπαρξη καταβοθρών, οι οποίες είτε είναι ανοιχτές και η κυκλοφορία του νερού γίνεται υπόγεια είτε είναι φραγμένες και έτσι το νερό δεν διαπερνά στο βάθος το πυθμένα των πολγών, διαμορφώνοντας έτσι λίμνες.

2.8.1. Οι γεωμορφολογική παράγοντες της πόλγης

Οι κυρίοι παράγοντες που επηρεάζουν και ελέγχουν την εξέλιξη των καρστικών πολών είναι:

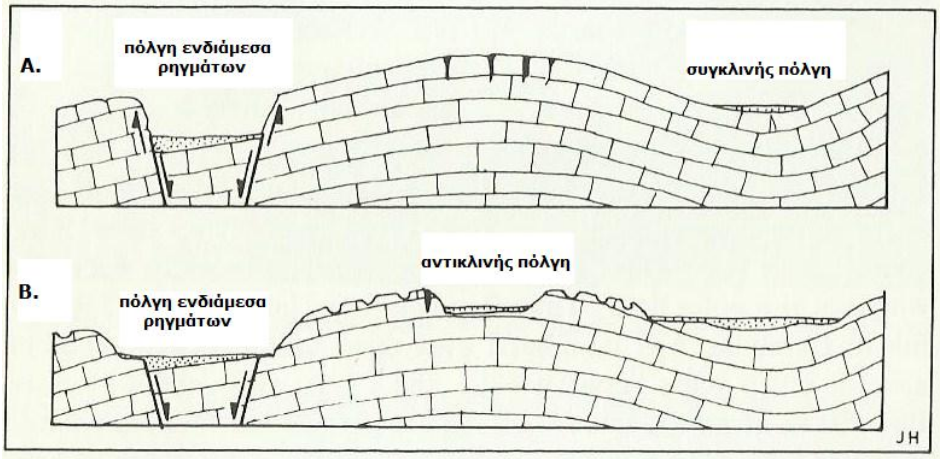
1. **η ενεργή τεκτονική**: ύπαρξη ρηγμάτων, επαφή των ρηγμάτων, πεδίο ρηγμάτων, πιθανώς αδιαπέρατες περιοχές και ποικιλία των επιφανειακών και υπογείων καρστικών μορφών, ιδιαίτερα η κίνηση των εγκάρσιων ρηγμάτων και των παραγόντων της ανάπτυξης του δικτύου των υπόγειων νερών.

   Το τεκτονικό βύθισμα των πολγών έχει αρχίσει πριν από την επιτακτική καρστική εξέλιξη ενώ συνεχίστηκε με πολύ αργό ρυθμό στο μικρό γεωλογικό παρελθόν και εξακολουθεί μέχρι και σήμερα. Σαν αποτέλεσμα της ενεργής εμβάθυνσης του κατώτατου σημείου της πόλγης, κάτω από τις αλλουβιακές ή κολλουβιακές αποθέσεις, είναι η δημιουργία αναβαθμίδων του επίπεδου της διάβρωσης.

   Σε μερικές μεγάλες πόλγες, η υδρογεωλογική εξέλιξη ακολουθεί την νεοτεκτονική δραστηριότητα, ιδιαίτερα με τα εκτεινόμενα ή/και τα οριζόντια ρήγματα.

Σπάνια παρατηρούμε ότι έχει χαμηλώσει το κοίλωμα στα σημεία συνάντησης των πυθμένων με τις πλαγιές των καρστικών πολγών, εκεί δηλαδή οπού έχουμε τοπικά ρήγματα ή σύστημα ρηγμάτων. Στις περισσότερες πόλγες τα οριακά ρήγματα των πυθμένων τους δεν υπάρχουν. Η ταξινόμηση των πολγών σε σχέση με την εξέλιξη των διαφορετικών λεκανών είναι η εξής:

- **Τεκτογενείς πόλγες** (Εικόνα 2.20)**:** Οι πόλγες ήταν εκτεθειμένες στην πλευρική διάβρωση και καρστικοποίηση, όπου από την επίδραση της δευτερεύουσας διάβρωσης οι διακλάσεις και τα ρήγματα που ήταν αρχικά παρόντα στις άκρες του πυθμένα κινηθήκαν εντούτοις προς το κέντρο.



Εικ.2.20: Τεκτογενείς πόλγες (Jennings, 1971)

- **Πόλγες ενδο-ορεινές πόλγες:** εξελίσσονται στης παλαιές επιφάνειες διάβρωσης σαν συνέπεια της αποσυρόμενης διάβρωσης και οδηγούν στη καρστικοποίηση του τοπίου.
- **Πόλγες τροπικών περιοχών** ή επίσης των περιοχών των μουσώνων: είναι λεκάνες που εξελίσσονται σαν συνέπεια της ανάπτυξης και ένωσης των πυθμένων του cockpit karst δολίνων. Η υψηλή βροχόπτωση προκαλεί μεγάλη προσφορά νερού η οποία σε συνδυασμό με το CO_2 που δημιουργείται από την πλούσια βλάστηση, προκαλεί την διάβρωση του εδάφους με «κωνικό καρστ». Το καρστικό τοπίο αναπτύσσεται σε σχήμα κώνου. Οι μεικτοί ασβεστόλιθοι που υπάρχουν και είναι έντονα ξεπλυμένοι, έχουν ως αποτέλεσμα μη διαλυτά μέρη των λεκανών να εμφανίζονται στην επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται και ακραία πλευρική διάβρωση.

2. <u>πρόσφατη και παρούσα υδρολογία</u>

Από υδρολογικής άποψης οι πόλγες μπορούν να είναι ξηρές, περιοδικώς πλημμυρισμένες ή συνεχώς πλημμυρισμένες. Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των πολγών εξαρτώνται από τη

στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ βαθιά, κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα της πόλγης τότε η πόλγη είναι συνεχώς ξηρή. Ο υδροφόρος ορίζοντας, ο οποίος συνεχώς κυμαίνεται κοντά στην επιφάνεια του πυθμένα της πόλγης δημιουργεί περιοδικές πλημμύρες στις πόλγες. Στις υδρολογικά ενεργές πόλγες παρατηρείται:

- εισροή από τις πηγές ή τους παραποτάμους,
- ελικοειδές ρεύμα στα κατώτατα σημεία τους,
- εκροή του νερού από τις καταβόθρες
- εσταβέλες που είναι μεγάλες οπές - πηγές στους ασβεστόλιθους από τις οποίες εκτοξεύεται ή σταματά το νερό κατά εναλλαγή του πιεζομετρικού επιπέδου του υπογείου νερού,
- υπερχείλιση του πυθμένα, ή τμήματος του πυθμένα, από την υπερβολική συνεχή εισροή ή την περιοδική εκροή των καταβοθρών ή σε κάποια περίπτωση από την θετική λειτουργία των εσταβέλων,
- εποχιακές-περιοδικές λίμνες και έλη, μόνιμες λίμνες, ιδιαίτερα στην παράκτιες περιοχές, σύμφωνα με την στάθμη της θάλασσας.
- το βασικό επίπεδο της πόλγης που είναι ελεγχόμενο από τον υδροφόρο ορίζοντα στη κατώτερη μονάδα της καρστικής πόλγης, και οι διακυμάνσεις του είναι μια λειτουργία που εξαρτάται από τις εποχιακές κλιματολογικές συνθήκες.
- αν η πόλγη είναι κοντά στην ακτή, το βασικό επίπεδό της εξαρτάται κυρίως από τη στάθμη της θάλασσας. Στο παρελθόν, λόγω των συχνών αλλαγών των μορφοκλιματικών γεγονότων και των εναλλαγών της στάθμης της θάλασσας, παρατηρήθηκε επίσης αναβαθμίδικη εξέλιξη του επιπέδου της διάβρωσης.

Σχετικά με τα παραπάνω υδρολογικά χαρακτηριστικά μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν:

- **Λιμνογενείς πόλγες:** πόλγες που έχουν δημιουργηθεί από την λιμναία εξέλιξη.
- **Φραγματογενείς πόλγες:** για μικρό χρονικό διάστημα, συνήθως στην περίοδο της άνοιξης, η στάθμη της περιοδικής λίμνης της πόλγης ανεβαίνει και έτσι χύνεται το νερό. Αργότερα, η στάθμη κατεβαίνει είτε ολοκληρωτικά ή στο μεγαλύτερο μέρος της.
- **Ποταμογενείς πόλγες:** το υπόγειο νερό μιας σπηλιάς αυξάνεται ή ανέρχεται προς την επιφάνεια της πόλγης, οπού εκεί ρέει μέχρι πάλι να εξαφανιστεί υπόγεια σε κάποια άλλη σπηλιά.
- **Εισαγωγενείς πόλγες:** είτε το νερό εισρέει στη λίμνη είτε ένας ποταμός εξαφανίζεται σε μια λίμνη.

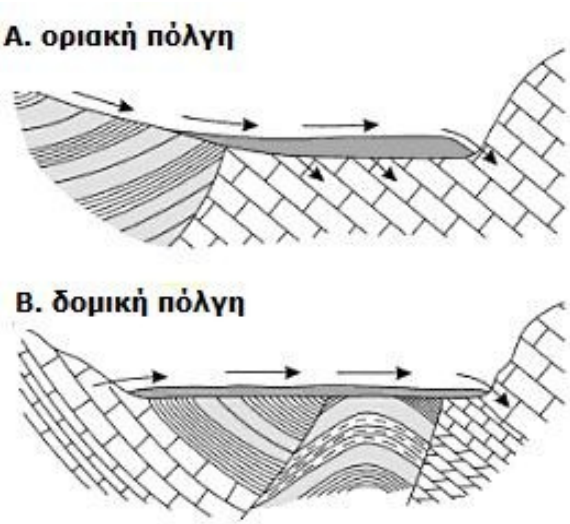
- **Υπερχειλίζουσες πόλγες**: το νερό εμφανίζεται σε μια καρστική πηγή, ρέει στην επιφάνεια του πυθμένα της πόλγης και λόγω της διαπερατότητας ή ημι-διαπερατότητας των πετρωμάτων του πυθμένα της πόλγης η εκροή του νερού εξαφανίζεται πάλι σε μια καταβόθρα ή σε μια από τις σπηλιές της πόλγης.

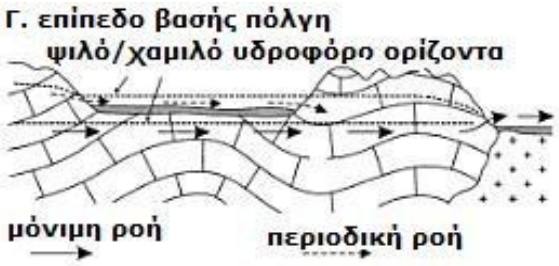
Η ταξινόμηση των πολγών των Ford και Williams (1989) (Εικόνα 2.21) βασίζεται σε γεωμορφολογικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά και είναι:

- «Πόλγες ορίων ή επαφής» ή «border polje» (Εικόνα 2.21, Α), είναι οι πόλγες που βρίσκονται στις μεταβατικές περιοχές μεταξύ των καρστικών και μη-καρστικών πετρωμάτων. Η επαναφόρτιση νερού γίνεται μέσω του συστήματος των επιφανειακών απορροών και καταβόθρων.
- «Δομικές πόλγες» ή «structural polje» (Εικόνα 2.21, Β), στο πυθμένα τους υπάρχουν τα αδιαπέρατα πετρώματα που ενεργούν ως φράγμα αναγκάζοντας τα επιφανειακά και υπόγεια νερά να ρέουν επιφανειακά και ο υδροφόρος ορίζοντάς τους να είναι κοντά στην επιφάνεια λόγω της χαμηλής διαπερατότητας του περίκλειστου εδάφους.

  Εάν αυτές οι δομικές πόλγες είναι τοποθετημένες στους πρόποδες των ψηλών βουνών, και το πάχος του κολλουβιακού ή του αλλουβιακού καλύμματος που πληρώνουν τον πυθμένα τους είναι αρκετά μεγάλο ονομάζονται «piedmont polje» (Gams, 1994). Το νερό ρέει επιφανειακά προς την άλλη πλευρά των πολγών εισρέοντας στο βάθος μέσω καταβοθρών, κτλ..

  Εάν οι πρόποδες των βουνών είναι χαμηλοί με μικρή κλίση και το πάχος του κολλουβιακού και αλλουβιακού καλύμματος που γεμίζει τον πυθμένα αυτών των πολγών είναι λεπτό ονομάζονται περιφερειακές πόλγες (Peripheral polje) (Gams, 1994). Σε αυτή την περίπτωση, τα πετρώματα νεότερης ηλικίας είναι σαν κάλυμμα του αδιαπέρατου πυθμένα όπου τα πετρώματα του αποτελούνται εξ ολοκλήρου από καρστικά πετρώματα (inlier) που το νερό ρέει φυγοκεντρικά του «inler» προς την περιφέρεια της πόλγης μεγαλώνοντας τη υδροστατική κλίση εισρέοντας προς το βάθος μέσω καταβοθρών, κτλ.…
- «Επίπεδο βάσης» πόλγες ή «base-level polje» (Εικόνα 2.21, Γ). Οι πόλγες των οποίων οι πυθμένες τους είναι εξ ολοκλήρου στα καρστικά πετρώματα και το υπόγειο νερό του υδροφόρου ορίζοντα τους ανεβαίνει κατά τη διάρκεια μεγάλων βροχοπτώσεων ως συνέπεια να πλημμυρίζει επιφάνεια τους.





Εικ.2.21: Οι τύποι των πολγών (Α, Β, Γ) (Ford, Williams, 1989)

3. Η χημική διάλυση, η διάβρωση και η συσσώρευση του διαβρωμένου υλικού. Οι μικρές πόλγες έχουν εξελιχθεί με την διάβρωση/ταπείνωση των υψωμένων χωρισμάτων ανάμεσα στις κοντινές ουβάλες. Επίσης, οι τυφλές κοιλάδες αποτελούν τη βάση για το αρχικό στάδιο της εξέλιξης των πολγών που συνήθως εξελίσσονται σε υπορειακές πόλγες.

4. Οι μόρφο-κλιματικές συνθήκες. Οι περισσότερες πόλγες είναι διαμορφωμένες σε προ-πλειστοκαινικές περιόδους και αναπτύσσονται αρχικά στις συνθήκες του τροπικού καρστ. Αυτές οι πόλγες έχουν γεμίσει με διάφορες αποθέσεις που αποτελούνται από λιθωνικό, κρυοκλαστικό ή και εύφορο έδαφος και από τα φερριτικά χώματα των κοντινών πλαγιών σύμφωνα με τα επεισόδια των μορφο-κλιματικών αλλαγών ή από μεταφερόμενο και συσσωρεμένο υλικό του υποτελούς ρεύματος. Σε μερικές περιπτώσεις, οι αλλογενείς πυριτικές αποθέσεις μπορούν να γεμίσουν το κατώτατο σημείο των πολγών και να διαδραματίσουν έτσι σημαντικό ρόλο στις διαδικασίες της κρυπτό-διάβρωσης.

Πόλγες των τροπικών περιοχών ή επίσης των περιοχών του μουσώνα: είναι λεκάνες που εξελίσσονται σαν συνέπεια της ανάπτυξης και ένωσης των πυθμένων του cockpit karst δολίνων. Η υψηλή βροχόπτωση προκαλεί μεγάλη προσφορά νερού η οποία σε συνδυασμό με το CO_2, δημιουργεί πλούσια βλάστηση, που προκαλεί την διάβρωση του εδάφους. Το καρστικό τοπίο αναπτύσσεται σε σχήμα κώνου. Οι μεικτοί ασβεστόλιθοι που υπάρχουν και είναι έντονα ξεπλυμένοι, έχουν ως αποτέλεσμα τα μη διαλυτά μέρη των λεκανών να εμφανίζονται στην επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται και ακραία πλευρική διάβρωση.

2.9. Οι επιφανειακές καρστικές μορφές και η υδρολογική λειτουργία τους

Στις καρστικές συνθήκες έχουμε επικράτηση μόνο των μεγαλύτερων απορροών με μεγάλη κινητική ενέργεια. Οι περισσότερες επιφανειακές απορροές του καρστ είναι αλλογενείς (allogenic) απορροές που εξελιχθήκαν στα αδιάλυτα πετρώματα και συνεχίστηκαν στο καρστικό ανάγλυφο. Σπανίζουν οι ποταμοί που πηγάζουν και ρέουν σε όλο το μήκος τους πάνω στο καρστικό ανάγλυφο.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της ποτάμιας διάβρωσης είναι:

- η επίδραση της κινητικής ενεργείας της ροής,
- η χημική διάλυση και εξέλιξη η οποία δημιουργεί σημαντικές αλλαγές.

Στις μορφές της ποτάμιας διάβρωσης του καρστικού ανάγλυφου υπάρχουν αλλαγές σε όλα τα στοιχεία των ποτάμιων κοιλάδων τους: στις πήγες, στην εγκάρσια τομή και στη επιμήκη τομή των κοιλάδων καθώς και στο σύστημα αποστράγγισης σε ολόκληρη την περιοχή τους.

2.9.1. Καρστικές πηγές

Οι πηγές στις καρστικές περιοχές εμφανίζονται διασκορπισμένες. Οι καρστικές πηγές υπάρχουν:

- στους πυθμένες των βαθέων σχηματισμένων κοιλάδων,
- στις βάσεις των πλαγιών των βουνών,
- στα όρια των καρστικών πολγών ή
- στα σημεία οπού τα ρήγματα ή οι ρωγμές φτάνουν στο βάθος του υπεδάφους μέχρι τις δυνατές και συνεχείς υπόγειες ροές.

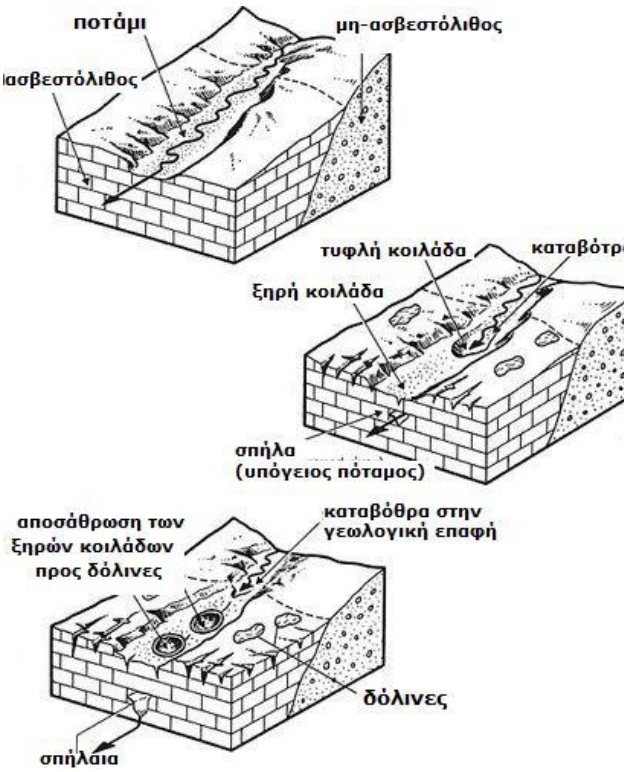
Οι εκβαθύνσεις των καρστικών πηγαδιών είναι χωνοειδώς σχηματισμένες και κατευθύνονται με το ρεύμα του νερού (προς τα κάτω - με το νομό της βαρύτητας) σταδιακά στενεύοντας και βαθαίνοντας στις εκβαθύνσεις τους. Αυτές οι ροές διαπερνούν το υπόβαθρο οπού ρέουν ελεγχόμενες με τις μηχανικές ασυνέχειες, συλλέγοντας τα νερά τους σε μια ροή. Αυτή η ροή πηγάζει στην επιφάνεια ως ήδη διαμορφωμένη ροή συνήθως από τα σπηλαία που είναι δημιουργημένα διαμέσω του μήκους του μεγαλύτερου ρήγματος. Η ροή βγαίνει στην καρστική επιφάνεια με τη μορφή ημικυκλικών βυθισμάτων με ανοίγματα στην μια πλευρά και με

απότομες μέχρι και κάθετες πλαγιές. Στις εξόδους τους κάποιες από τις ροές επίσης δημιουργούν και μικρές λιμνούλες.

2.9.2. Καρστικές κοιλάδες

Το κύριο χαρακτηριστικό του εγκάρσιου προφίλ των καρστικών κοιλάδων είναι οι απότομες πλαγιές των κοιλάδων και ο σχηματισμός κλεισουρών και φαραγγιών.

Με την επιρροή και την επίδραση της μηχανικής διάβρωσης και της χημικής διάλυσης της ροής του νερού έχουμε βάθυνση των κοιλάδων όπου οι πλαγιές τους γίνονται περισσότερο απότομες. Λόγω της διάβρωσης των πλαγιών των κοιλάδων δημιουργούνται περισσότερο απότομες κλίσεις. Η βροχόπτωση και το χιόνι κυρίως διαπερνούν στο εσωτερικό της μάζας του πετρώματος. Στην σταδιακή εξέλιξη της καρστικής επιφάνειας έχουμε τη δημιουργία των δολινών στην επαφή μεταξύ ασβεστόλιθου και μη ασβεστολιθικού πετρώματος και στην συνέχεα την εξέλιξη μιας κοιλάδας μέσω της εξέλιξη των δολινών. (Drew, 1985; πρωτότυπο του Hanwell) (Είκονα 2.22).



Εικ.2.22: Η σταδιακή εξέλιξη του συστήματος αποστράγγισης (Drew, 1985; πρωτότυπο του Hanwell)

Στα ασβεστολιθικά πετρώματα οι τεκτονικές κινήσεις συμμετέχουν στη διαμόρφωση των κλεισουρών και φαραγγιών. Οι ασβεστολιθικές μάζες αντιπροσωπεύουν τα χωρίσματα ανάμεσα στις τεκτονικές εκβαθύνσεις και στα ευρύχωρα λεκανοπέδια. Αυτές οι τεκτονικές εκβαθύνσεις

συνεχίζουν το βύθισμα τους. Αυτό σημαίνει ότι τα ασβεστολιθικά χωρίσματα υψώνονται ανάμεσά τους και οι ποταμοί διαβρώνουν έντονα η και κατά βάθος (antecedence = προ-γενετικός ποταμός, προγενετική κοιλάδα) διαμορφώνοντας με αυτό το τρόπο κλεισούρες, φαράγγια.

Το κύριο χαρακτηριστικό του επίμηκους προφίλ των καρστικών κοιλάδων είναι η ύπαρξη των πολλών ραγισμάτων, των ρωγμών και των ρηγμάτων από τα οποία διαπερνά ένα ποσοστό του νερού μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την κινητική ενέργεια της ροής του και κατά επέκταση την διάβρωση.

Οι τύποι των κοιλάδων και η εξέλιξη των κυρίων μορφών τους σχετικά με τα στάδια εξέλιξης και του επιμήκους προφίλ τους είναι στην συνεχεία:

- **«Κρεμαστή κοιλάδα (κρεμαστή)»** (hanging valley) (Εικόνα 2.23)

  Όταν η μείωση της κινητικής ενεργείας και της κάθετης διάβρωσης λόγω της υπόγειας διαπέρασης και απώλειας του νερού προκαλεί την μείωση της ταχύτητας ροής του νερού, τότε ή ροή του παραπόταμου στο σημείο ενώσεις με μια κύρια κοιλάδα δεν μπορεί πλέον να ακολουθεί την ένταση της κατά βάθος διάβρωσης και στο στόμιό της δημιουργεί μια απότομη πτώση, μικρούς ή μεγάλους καταρράκτες μέσω των οποίων συνδέεται με την κύρια ροή. Το επίμηκες προφίλ αυτής της ροής του ποταμού στο καρστ ονομάζεται «κρεμασμένη κοιλάδα».

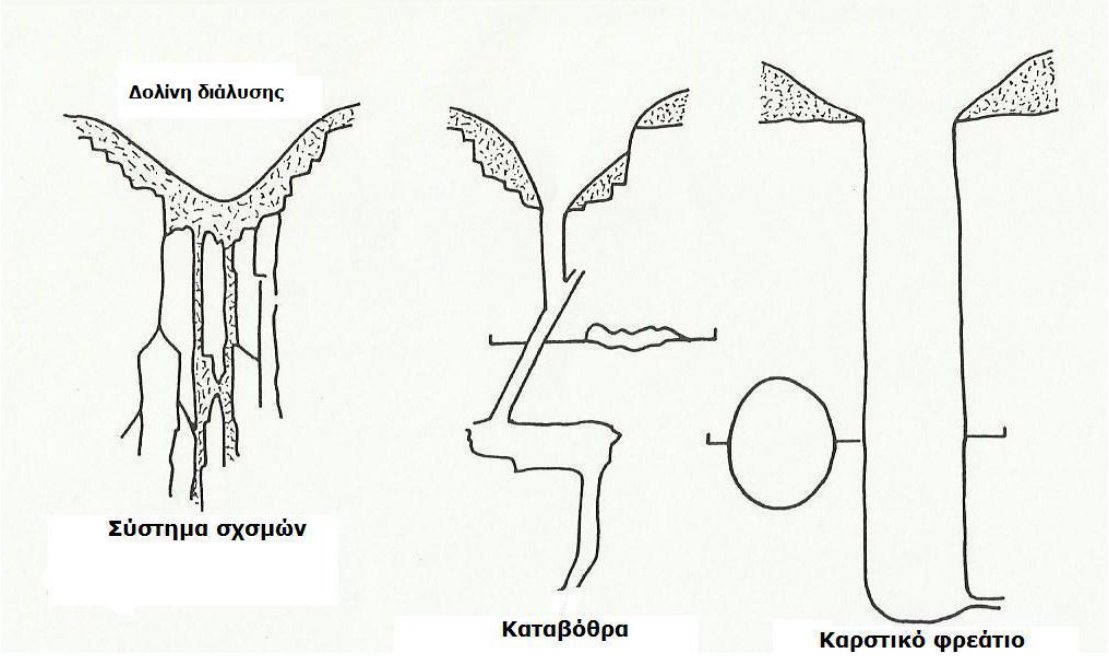
Εικ.2.23: Δημιουργία κρεμαστής κοιλάδας ως αποτέλεσμα της παγετώδους διάβρωσης. (Renton, 1994)

Οι κρεμαστές κοιλάδες που συνήθως σχηματίζονται σε σχήμα U, προκύπτουν από ένα παραπόταμο παγετώνα που έχει εισρεύσει σε κύριο παγετώνα του μεγαλύτερου όγκου. Ο

παγετώνας κύριας κοιλάδας διαβρώθηκε σε μια βαθειά κοιλάδα σχήματος U με σχεδόν κάθετες πλευρές, ενώ ο παραποτάμιος παγετώνας, με μικρότερο όγκο πάγου, διαμόρφωσε μια ρηχή κοιλάδα σε σχήμα U.

- **Καταβόθρα** (ponor)

  Στο επίμηκες προφίλ της κοιλάδας της προαναφερόμενης ροής το νερό διαπερνά τα ρήγματα και τα ογκώδη ραγίσματα διαλύοντας τα τοιχώματα της. Με αυτό τον τρόπο, τα ανοίγματα διευρύνονται, μεγεθύνονται και έτσι το νερό περνάει υπογείως με μεγαλύτερη ένταση και ταχύτητα. Υπάρχουν, βέβαια, και τα ανοίγματα στα οποία χάνεται όλη η ποσότητα του νερού που έρχεται από το πηγάδι. Αυτό το άνοιγμα ονομάζεται καταβόθρα (Εικόνα 2.24).



Εικ.2.24: Τρεις φάσεις της εξέλιξης της κλειστής καρστικής κοιλότητας (White,1988)

- **«Ξηρή κοιλάδα»** (dry valley)

  Συνεχίζοντας την εξέλιξη της κρεμαστής κοιλάδας της προαναφερόμενης ροής, στην κατεύθυνση προς τα κάτω από την καταβόθρα (με το ρεύμα του νερού), η ροή του νερού πλέον δεν υπάρχει. Η κρεμαστή κοιλάδα τώρα είναι εγκαταλειμμένη και για αυτό τον λόγο ονομάζεται «ξηρή κοιλάδα».

  Στην ξηρή κοιλάδα η ποτάμια διάβρωση σταματάει, ενώ και οι επόμενες μεταμορφώσεις οφείλονται στην καρστική εξέλιξη. Στο βάθος του πυθμένα της κοιλάδας δημιουργούνται πολλά κλειστά βυθίσματα που ονομάζονται δολίνες (Εικόνα 2.22).

Στις περισσότερες περιπτώσεις η ξηρή κοιλάδα μπορεί μορφολογικά να ανακατασκευασθεί με την ανάλυση των: αεροφωτογραφιών, τοπογραφικών χαρτών ή με την άμεση παρατήρηση της υπαίθρου. Σε σπάνιες περιπτώσεις μακροχρόνιας ή συνεχούς ενέργειας της καρστικοποίησης, το επίμηκες προφίλ της ξηρής κοιλάδας μπορεί να μεταποιηθεί σε μεγάλο βαθμό σε καρστικές μορφές, δολίνες, οι γλυφές, κτλ., όπου η ανακατασκευή αυτής της ξηρής κοιλάδας είναι πλέον υποθετική.

Ογκώδεις μεταμορφώσεις γίνονται στο επίμηκες προφίλ της ροής και αντίθετα στο ρεύμα του ποταμού, προς τα πάνω από την καταβόθρα. Με την ροή του νερού μεγαλώνει η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στη πηγή και το στόμιο της ροής με ταυτόχρονη μείωση του μήκους της ροής. Το ολικό υδρολογικό ποσοστό για το ίδιο ποσοστό νερού της ροής είναι σημαντικά αυξημένο και αυτό προκαλεί την αύξηση της συνολικής κινητικής ενεργείας και ενίσχυση της κάθετης διάβρωσης.

- **«Τυφλή κοιλάδα»** .(Blind valley)

  Αντίθετα στο ρεύμα του ποταμού έχουμε τώρα ενίσχυση της διάβρωσης και χάραγμα της ροής. Ταυτόχρονα, προς τα κάτω από την καταβόθρα, σε εγκαταλειμμένο τμήμα της κοιλάδας, διακόπτεται η διάβρωση. Αυτά τα φαινόμενα προκαλούν στη θέση της καταβόθρας το σχηματισμό των κατηφορικών, σχεδόν κάθετων πλαγιών του επιμήκους προφίλ. Αυτές οι απότομες πλαγιές έχουν διαστάσεις από μερικές δεκάδες μέχρι εκατοντάδες μέτρα. Επομένως, προς τα πάνω από την καταβόθρα, η κοιλάδα τελειώνει «τυφλά» - «τυφλή κοιλάδα» (Εικόνα 2.22). Αυτές οι πλαγιές είναι απότομες και στους πρόποδές τους υπάρχει καταβόθρα.

- **«Πολύ-επίπεδη τυφλή κοιλάδα»**

  Κατά την εξέλιξη της τυφλής κοιλάδας συνεχίζεται η ροή του νερού με κατεύθυνση αντίθετα στο ρεύμα, πάνω από την καταβόθρα, και αν κάπου εκεί δημιουργηθεί καινούργια καταβόθρα, τότε το τμήμα ανάμεσα στις δυο καταβόθρες γίνεται αυτόματα ξηρή και τυφλή κοιλάδα. Τότε και πάλι, προς τα πάνω από την καινούρια καταβόθρα έχουμε ενίσχυση της κάθετης διάβρωσης και σχηματισμό των καινούριων τυφλών κοιλάδων. Το φαινόμενο της επίπεδης εξέλιξης της καρστικής κοιλάδας ονομάζεται «Πολύ-επίπεδη τυφλή κοιλάδα».

2.9.3. Το σύστημα της αποστράγγισης των καρστικών περιοχών

Στα διαλυτά πετρώματα έχουμε διαπέραση του νερού στον πυθμένα του κύριου ρεύματος και των παραποτάμων του. Λόγω της απώλειας μερικού ή πλήρους ποσοστού του νερού, οι παραπόταμοι καθυστερούν πίσω από την κύρια ροή και συνδέονται με αυτήν μέσω καταρρακτών ή πολύ αποτόμων πλαγιών. Ως συνέπεια αυτού του φαινόμενου αποτελεί η διάλυση του συστήματος της αποστράγγισης. Κάποτε, το μοναδικά ενωμένο σύνολο των ροών διαλύεται σε μεμονωμένες ροές οι οποίες τελειώνουν με τις καταβόθρες και έτσι δημιουργούνται τυφλές κοιλάδες. Παρακολουθώντας τις συνέχειες αυτών των ροών οι οποίες μορφολογικά είναι ξηρές κοιλάδες, μπορούμε να ανακατασκευάσουμε το παλαιό σύστημα αποστράγγισης.

Στις καρστικές περιοχές, στο σύστημα αποστράγγισης, υπάρχουν μονό οι ροές με το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού δηλαδή τη μεγαλύτερη κινητική ενέργεια. Τα ρεύματα των μικρών ποταμιών ή των παραποτάμων συνήθως είναι ξηρά. Τα μεγαλύτερα συστήματα αποστράγγισης είναι πολύ σπάνια και έχουν συνήθως βαθμό έχουν $3^{ης}$ ή $4^{ης}$ τάξης.

Στις καρστικές περιοχές, η ζώνη της αποστράγγισης διαλύεται, το νερό διαπερνάει και ρέει μέσω υπόγειων καναλιών. Οι κατευθύνσεις των υπόγειων νερών είναι ανεξάρτητες από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της υπαίθρου ενώ εξαρτώνται από την λιθολογία και τη δομή του υπεδάφους. Για τον λόγο αυτό, στις καρστικές περιοχές, η γραμμή του υδροκρίτη (υποτιθέμενη γραμμή πάνω στις υψηλότερες κορυφές μιας περιοχής η οποία ξεχωρίζει τα ρέοντα νερά σε διαφορικά συστήματα αποστράγγισης) δεν είναι σίγουρη γραμμή διαχωρισμού των νερών.

Οι τυπικές υπόγειες καρστικές μορφές

2.10. Οι υπόγειες καρστικές μορφές της διάβρωσης

Το κύριο χαρακτηριστικό του καρστ είναι η καρστικοποίηση του καρστικού πετρώματος από την επιφάνεια προς το υπόγειο τμήμα του. Τα επιφανειακά νερά λόγω της βαρύτητας διαπερνούν υπόγεια και μέσω των κατακλάσεων και διακλάσεων των πετρωμάτων, προκαλούν την διάβρωση και διάλυσή τους, σχηματίζοντας έτσι τις ρωγμές και τα ρήγματα. Στις υπόγειες καρστικές μορφές παρατηρείται εκτός από την χημική διάλυση και μηχανική διάβρωση, εμφάνιση του κολλούβιου, κατολίσθηση και κατάρρευση του υπογείου εδάφους.

Η υπόγεια καρστική εξέλιξη έχει επίσης και επιφανειακό χαρακτήρα. Η εξέλιξη συνεχίζεται πάντα προς τα υπόγεια έτσι ώστε τα υψηλοτέρα επίπεδα να μένουν με το καιρό εγκαταλειμμένα με συνέπια την συγκέντρώση συσσωρευμένου υλικού στην ξηρά.

Υπάρχει – αλλά όχι απαραίτητα - σχέση των υπογείων καρστικών μορφών με την επιφάνεια τους. Συνήθως στο 98% των περιπτώσεων οι υπόγειες μορφές δεν έχουν εμφανή σχέση - εμφανές άνοιγμα – με την επιφάνεια του εδάφους.

Οι υπόγειες καρστικές μορφές της διάβρωσης είναι οι εξής:

- **καρστικά φρέατα**,
- **σπήλαια,**
- **καρστικοί αγωγοί.**

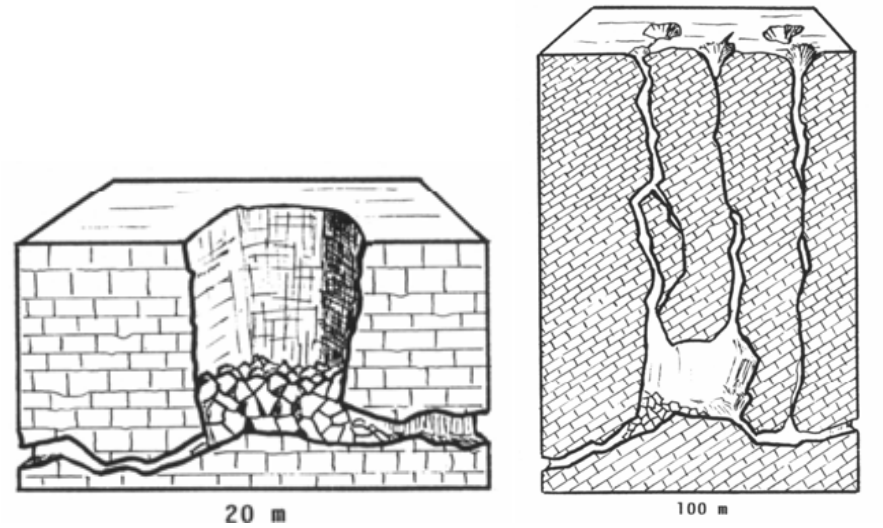
Οι υπόγειες καρστικές μορφές της συσσώρευσης είναι οι εξής:

- **σπηλαίο λιθωματικοί σχηματισμοί (διάκοσμος),**
- **αποθέσεις τραβερτίνη (όνυξ σπηλαίων),**
- **αποθέσεις των συσσωρευμένων κορημάτων ,**
- **κοκκινοχώματα.**

Το κομμάτι της καρστικοποίησης που ασχολείται και διερευνά το σχηματισμό και εξέλιξη των υπογείων καρστικών μορφών ονομάζεται σπηλαιολογία.

2.10.1. Καρστικά φρέατα (Jama)

Καρστικά φρέατα (Εικόνα 2.25) είναι κάθετοι ή υπό-κάθετοι υπόγειοι χώροι οι οποίοι ξεκινούν με ανοίγματα στην επιφάνεια του εδάφους και απότομα κατευθύνονται «σωληνωτά» στο βάθος προς το υπέδαφος φτάνοντας μέχρι 100m ή και σε βάθος που ξεπερνά τα χίλια μετρά. Το εγκάρσιο προφίλ των καρστικών φρεάτων είναι ανώμαλο, άστατο και συνήθως τεθλασμένο. Στο βάθος των καρστικών
φρεάτων υπάρχουν και αλλά βαθιά συστήματα.



A. **B.**

Εικ.2.25: Α: Σαν φρεάτιο διαμορφωμένες δολίνες
με το υλικό της κατάρρευσης των δολινών; Β: Καρστικά φρέατα

Τα καρστικά φρέατα σχηματίζονται κάτω από τις φρεατιοειδείς δολίνες. Η διάμετρός τους ανέρχεται σε αναλογία με το βάθος στο 1:1000. Η κάθετη ή υπό-κάθετη τομή δυο ή περισσοτέρων ρωγμών ή ρηγμάτων σχηματίζουν τα καρστικά φρέατα. Τα καρστικά φρέατα είναι πρώην καταβόθρες ή περιοχές από τις οποίες έχει διαπεράσει νερό στο παρελθόν. Με αυτόν τον τρόπο τα καρστικά φρέατα αποτελούν το μεταβατικό στάδιο ανάμεσα στις επιφανειακές και υπόγειες μορφές. Οι επιφανειακές μορφές, παρόμοιες με εκείνες των καρστικών φρεάτων, είναι εγκατακρημνησιγενείς δολίνες και δεν υπάρχουν αυστηρά όρια ανάμεσα τους.

Η επιρροή της χημικής διάλυσης και μηχανικής διάβρωσης του νερού και κολλουβιακά φαινόμενα έχουν ρόλο στην εμβάθυνση και διεύρυνση των καρστικών φρεάτων. Σε σχέση με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των καρστικών φρεάτων υπάρχουν οι εξής κατηγορίες:

- ρηχά καρστικά φρέατα στα οποία ο πυθμένας τους τελειώνει με το οριζόντιο άνοιγμα έτσι ώστε κατά την πτώση πέτρας να προκαλείται δυνατός ήχος σαν κρότος.
- βαθιά καρστικά φρέατα με κάθετο κατηφορικό κανάλι που ο πυθμένα τους συνεχίζεται με στενά και απροσπέραστα ρήγματα τα οποία ονομάζονται bezdan.
- καρστικά φρέατα που σχηματίστηκαν στους θόλους των μεγαλύτερων υπογείων στοών όπου στα επιφανειακά ανοίγματα του υπόγειου τμήματος φτάνει το φως.

2.10.2. Σπήλαια

Τα σπήλαια είναι υπόγειοι οριζόντιοι χώροι οι οποίοι ξεκινούν από την επιφάνεια και συνεχίζουν στο εσωτερικό της γης. Τα μήκη των σπηλαίων φτάνουν εκατοντάδες χιλιόμετρα και οι κατευθύνσεις τους ακολουθούν τις κατευθύνσεις των μεγάλων ρηγμάτων.

Από υδρολογική άποψη, σπηλιές είναι τα σημεία όπου στο παρελθόν είχαν εισβάλλει οι επιφανειακές ροές (σαν καταβόθρες) ή τα σημεία στα οποία πηγάζουν οι υπόγειες ροές στην επιφάνεια του εδάφους.

Η εξέλιξη των σπηλαίων έχει σχέση με τη χημική διάλυση της καρστικοποίησης. Λόγω της οριζόντιας τοποθεσίας τους πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των σπηλαίων παίζει η μηχανική διάβρωση καθώς και η κατολίσθηση ή η καθίζηση που προκαλείται από αύτη. Οι θόλοι και τα ταβάνια των σπηλαίων είναι συνήθως ψηλά και οι χώροι τους πολύ ευρύχωροι. Τα σπηλαία μπορεί να έχουν ένα ή περισσότερα κανάλια που μπορεί να είναι είτε σε οριζόντια θέση είτε το ένα πάνω στο άλλο.

Η διάταξη των καναλιών των σπηλαίων εξαρτάται από το γεωλογικό-τεκτονικό σχηματισμό της υπαίθρου που υπάρχει και παρακολουθούν τις κύριες ρωγμές και τα ρήγματα της περιοχής.

Τα σπήλαια έχουνε και υπό-οριζόντια θέση αλλά το επίμηκες προφίλ στον πυθμένα τους δεν έχει συνεχή κλίση προς μια κατεύθυνση. Λόγω της χημικής διάλυσης και διάβρωσης στον πυθμένα αυτού του τύπου των σπηλαίων μπορεί να εμφανιστούν και δολίνες ή κάποιες φορές καταβόθρες. Οι υπόγειες ροές διατηρούνται λόγω των περιοδικά στενών θέσεων των υπογείων καναλιών που το νερό ρέει με την πίεση και υπερνικάει (ξεπερνά) τις αντίθετες κλίσεις. Όταν η ροή του νερού είναι μεγάλη ο πυθμένας της σπηλιάς μένει στεγνός ενώ το νερό κατεβαίνει στα χαμηλότερα επίπεδα σχηματίζοντας ένα καινούριο κανάλι τύπου σπηλιάς.

Όταν συζητάμε για καρστικά φρέατα και σπήλαια πρέπει οπωσδήποτε να παρατηρήσουμε κάποιες διαφορές που υπάρχουν στην τεχνική ορολογία. Στην τεχνική ορολογία η διαφορά ανάμεσα στα καρστικά φρέατα και στα σπήλαια αφορά στον τύπο και στον τρόπο τοποθεσίας τους. Στην τεχνική ορολογία της Σλοβενίας οι υπόγειοι χώροι ονομάζονται καρστικά φρέατα.

2.10.3. Καρστικοί αγωγοί

Όλοι οι υπόγειοι χώροι που συνδέονται με σπήλαια και καρστικά φρέατα ονομάζονται καρστικοί αγωγοί και είναι συνήθως μπερδεμένοι δρόμοι κυκλοφορίας των υπογείων νερών με διαφορετικές τοποθεσίες και διαστάσεις. Όταν το νερό ρέει προς τα υπόγεια τμήματα, τα ψηλότερα επίπεδα του δικτύου των καρστικών αγωγών παραμένουν ξηρά εφόσον τα χαμηλότερα είναι διαποτισμένα. Το κύριο χαρακτηριστικό των καρστικών αγωγών είναι η συνεχής αλλαγή της διαμέτρου του εγκαρσίου προφίλ τους. Η διεύρυνση των χώρων τους ποικίλλει από εκατό-μετρικές μέχρι δέκατο-μετρικές διαστάσεις με τα ευρύτερα ανοίγματά τους να ονομάζονται καρστικά έγκοιλα (cavern, kaverna). Λόγω της χημικής διάλυσης του υποβάθρου δημιουργούνται καρστικοί αγωγοί που εξελίσσονται σε καρστικά έγκοιλα (εξαιτίας της μηχανικής διάβρωσης από την ροή των υπογείων νερών με μεγάλη κινητική ενεργεία) και κολλούβια που υπόκεινται σε κατολίσθηση, καθίζηση του εδάφους ή κατάρρευση των οροφών των καρστικών αγωγών. Εκεί οπού οι καρστικοί αγωγοί είναι στενοί, το νερό ρέει υπό μεγάλη πίεση και αυτό κάνει δυνατό το νερό να ρέει προς τα επάνω. Σε αυτές τις θέσεις αυξάνεται η κινητική ενεργεία του νερού και με τον καιρό αυτές οι στενές θέσεις περιοδικά ευρύνονται και βαθαίνουν.

2.10.4. Οι υπόγειες καρστικές μορφές συσσώρευσης

Στην καρστική εξέλιξη έχουμε διάβρωση, μεταφορά και συσσώρευση σημαντικού ποσοστού της ύλης του βασικού πετρώματος. Κάποιο ποσοστό της ύλης αυτής μεταφέρεται με μορφή διαλύματος και συσσωρεύεται με την πτώση ή έκκριση. Τα μηχανικά διαβρωμένα υλικά, που δημιουργηθήκαν με την επιρροή της κινητικής ενεργείας του νερού και σε μεγαλύτερο ποσοστό με την κατολίσθηση έχουν μεταφερθεί με το νερό. Τα διαβρωμένα υλικά είναι επεξεργασμένα και η στρογγυλότητά τους σχετίζεται άμεσα με το μήκος της μεταφοράς τους. Αυτά τα υλικά τελικά συσσωρεύονται όταν μειώνεται η κινητική ενέργεια του νερού. Στο τέλος, το υπόλοιπο της διάλυσης, τα κοκκινοχώματα (terra rossa), μένουν στη θέση τους σαν αλλουβακό – πλυμένο έδαφος ή μεταφέρονται λόγω της δύναμη της βαρύτητας, γλιστρώντας ή/και ρέοντας.

2.10.5. Η επικάλυψη των τοιχωμάτων

Το νερό το οποίο είναι κορεσμένο με το δις όξινο ανθρακικό ασβέστιο αποστραγγίζεται μέσω πολλών κατακλάσεων και ρηγμάτων είτε ρέοντας κατά μήκος των τοιχωμάτων των υπογείων χώρων με όψη λεπτού καλλύματος-μεμβράνη. Κατά μήκος αυτής της ροής εκκρίνεται διοξείδιο του άνθρακα. Στις επιφάνειες των τοιχωμάτων όπου εκρεόταν το νερό τώρα έχει μείνει η ασβεστιτική επικάλυψη. Το πάχος αυτής της κάλυψης συνήθως δεν ξεπερνάει μερικά χιλιοστά του μέτρου. Αυτή η κάλυψη ενδυναμώνει τα τοιχώματα και εμποδίζει την εξέλιξη του κολλούβιου, δηλαδή την κατάρρευση και κατολίσθηση των τοιχωμάτων.

Καθώς εξαρτάται από το ανάγλυφο της επιφανείας του τοιχώματος η επικάλυψη μπορεί να φτάσει το δέκατο-μετρικό πάχος ή να σχηματίσει πολύ εντυπωσιακές μορφές όπως:

Η μίξη του σιδηρού ή των άλλων μετάλλων με το διοξείδιο του άνθρακα δίνουν στις μορφές αυτές διαφορετικούς σχηματισμούς και χρώματα.

2.10.6. Οι σπηλαιολιθωματικοί σχηματισμοί

Οι σπηλαιολιθωματικοί σχηματισμοί ή υπόγειος διάκοσμος είναι σταλακτίτες, σταλαγμίτες και στήλοι.

- **Σταλακτίτες** σχηματίζονται και κρέμονται στις οροφές των υπογείων χώρων. Το νερό το οποίο είναι κορεσμένο με δις όξινο ανθρακικό ασβέστιο στραγγίζεται μέσω των τριχοειδών αγγείων στο θολό της οροφής της σπηλιάς. Στην έξοδο του τριχοειδούς αγγείου, από το πέτρωμα εκκρίνεται διοξειδίο του άνθρακα σε σχήμα λεπτού ή πιο χοντρού καλαμιού. Δια αυτού του καλαμιού, στην εσωτερική επιφάνεια του ανοίγματός του, συνεχίζεται το φιλτράρισμα του νερού ενώ εκκρίνεται ξανά το διοξείδιο του άνθρακα στην άκρη του ιδίου. Η διάμετρος του εσωτερικού του καλαμιού είναι συνήθως περίπου 5 χιλιοστά. Αυτό το καλάμι που ονομάζεται σταλακτίτης μεγαλώνει σε μήκος με κατεύθυνση από το ταβάνι προς πάτωμα της σπηλιάς. Το μήκος του σταλακτίτη ποικίλλει από εκατοστά του μέτρου μέχρι μερικά μέτρα. Το νερό ρέει και στην εξωτερική επιφάνεια του σταλακτίτη μεγαλώνοντας ταυτόχρονα το σταλακτίτη και σε φάρδος. Στην εξωτερική επιφάνεια του σταλακτίτη μαζεύεται σκόνη, γύρω από τα σωματίδια της οποίας παρατηρείται ιζηματογένεση διοξειδίου του άνθρακα και δημιουργούνται καινούριες μορφές που παίρνουν διαφορετικούς σφαιροειδείς σχηματισμούς.

- **Σταλαγμίτες** είναι υπόγειες κολώνες που μεγαλώνουν σε ύψος από το πάτωμα προς την οροφή του σπηλαίου. Από το νερό που φιλτράρεται δια των σταλακτιτών εκκρίνεται ένα ποσοστό διοξείδιο του άνθρακα στην άκρη του ιδίου ενώ το υπόλοιπο της διάλυσης πέφτει σαν σταγόνες στον πυθμένα του σπηλαίου. Κατά την πτώση της σταγόνας στο πάτωμα απελευθερώνεται το διοξειδίο του άνθρακα από το νερό και δημιουργούνται μικρές κολώνες. Σε αντίθεση με τους σταλακτίτες η κολώνα του σταλαγμίτη είναι ογκώδης. Το σχήμα και το χρώμα του σταλαγμίτη εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που πέφτει από το ταβάνι, από το ύψος από το οποίο πέφτει, από το πλάτος της διαμέτρου της διασκόρπισης της σταγόνας, από το ποσοστό του κορεσμένου δις ανθρακικού ασβεστίου στο νερό και από την μείξη των διαφορετικών συστατικών.

- **Στήλοι της σπηλιάς** δημιουργούνται από την ένωση των σταλακτιτών με τους αντιστοίχους σταλαγμίτες. Το σχήμα, χρώμα και το μέγεθός τους εξαρτώνται επίσης από τους πιο πάνω αναφερόμενους παράγοντες. Οι στήλοι, επίσης, δυναμώνουν τον κούφιο σχηματισμό των σπηλαίων και εμποδίζουν την εξέλιξη του κολλούβιου, δηλαδή την κατάρρευση και κατολίσθηση των ταβανιών των σπηλαίων.

2.10.7. Οι αποθέσεις τραβερτίνη ή όνυξ των σπηλαίων

Οι υπόγειες ροές είναι επίσης κορεσμένες με το διαλυμένο και άστατο δις όξινο ανθρακικό ασβέστιο. Με την αλλαγή της κινητικής ενεργείας του νερού που ρέει υπόγεια, απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα από το νερό, και το κατάλοιπο ανθρακικό ασβέστιο εκκρίνεται με μορφή αποθέσεων του τραβερτίνη. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται τα υπόγεια κοιλώματα – υπόγειες λεκάνες με μετρικές διαστάσεις. Αυτή η εξέλιξη του τραβερτίνη που δημιουργείται υπόγεια είναι παρόμοια της εξέλιξης του τραβερτίνη που δημιουργείται στις επιφανειακές καρστικές ροές. Σε υπόγεια σημεία που δημιουργείται και εξελίσσεται ο τραβερτίνης έχουμε γοργούς, μικρούς και μεγάλους καταρράκτες.

2.10.8. Οι αποθέσεις των συσσωρευμένων μηχανικών ερειπίων

Οι υπόγειες ροές μετακινούνται και μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες των μηχανικά διαβρωμένων υλικών. Το μικρότερο ποσοστό αυτών των υλικών δημιουργήθηκε με την άμεση ή έμμεση μηχανική διάβρωση της ροής σε σχέση με την κινητική ενέργεια της ιδίας ροής. Το

μεγαλύτερο ποσοστό των μηχανικά διαβρωμένων υλικών δημιουργήθηκε σαν συνέπεια του κολλούβιου, με την κατάρρευση και κατολίσθηση των υπογείων ταβανιών και τοίχων.

Το ποσοστό της επεξεργασίας, στρογγυλέματος και ταξινόμησης του υλικού του μηχανικού ερειπίου εξαρτάται από την κινητική ενεργεία της ροής, το υδραυλικό σύστημα και το μήκος του διαδρόμου της ροής. Στους υπογείους χώρους το υδραυλικό σύστημα αλλάζει συχνά και γρήγορα. Η επιρροή της σιγανής ροής στα καρστικά έγκοιλα μειώνει την ταχύτητα και την κινητική ενεργεία της ροής που δημιουργήθηκε στα στενά σημεία των υπογείων χώρων. Στις περιπτώσεις αυτές, το νερό δεν προλαβαίνει να στρογγυλοποιήσει και να ταξινομήσει το υλικό σε σχέση με τον όγκο του. Εν μέρει, επεξεργαζόμενα και στρογγυλευμένα μηχανικά υπολείμματα διάβρωσης συσσωρεύονται συνήθως στα ευρύχωρα τμήματα των καρστικών εγκοίλων, «cavernous», των καρστικών αγωγών. Επίσης, στους υπόγειους χώρους παρατηρούνται συνεχώς μη-στρογγυλοποιημένα υλικά του ετερογενούς όγκου που σχηματίστηκε με την κατολίσθηση και κατάρρευση αφού από αυτά δεν έχουν περάσει υπόγειες καρστικές ροές και δεν έχουν καταφέρει να μετακινηθούν.

2.10.9. Τα κοκκινοχώματα

Στα πολλά κλάσματα, ρήγματα και τις ρωγμές που υπάρχουν στις πλευρές των οροφών των υπογείων χώρων έχουμε έντονη διάλυση. Το αδιάλυτο συστατικό που μένει στην θέση του είναι τα κοκκινοχώματα. Όταν τα κλάσματα, τα ρήγματα και οι ρωγμές έχουν απότομη κλίση, ειδικά όταν είναι στα υπόγεια ταβάνια, παρατηρείται τριβή των κοκκινοχωμάτων και πολύ συχνά ροή αυτού του υλικού. Στα κλάσματα φιλτράρεται το νερό το οποίο διαποτίζει τις μικρές αποθέσεις των κοκκινοχωμάτων σε μέγεθος άμμου. Το δυνατά διαποτισμένο υλικό αρχίζει να ρέει στα τοιχώματα των υπογείων χώρων και να συσσωρεύεται στους πυθμένες των μεγαλύτερων υπόγειων αιθουσών. Ο όγκος των ιζημάτων των κοκκινοχωμάτων μπορεί να φτάσει και μετρικές διαστάσεις.

2.11. Οι υπόγειες καρστικές μορφές με την υδρολογική λειτουργία τους

Ο ορός καρστ περιλαμβάνει ιδιαίτερες γεωμορφολογικές διαδικασίες, φαινόμενα και μορφές καθώς και συγκεκριμένα υδρολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας και του υπεδάφους. Στο καρστ, το νερό διαπερνάει υπόγεια και επανέρχεται στην επιφάνεια, έτσι ώστε οι υπόγειες και επιφανειακές μορφές και λειτουργίες τους να είναι πολύ συνδεδεμένες. Όλες οι καρστικές μορφές σε κάποια περίοδο της εξέλιξής τους έχουν υδρολογικό χαρακτήρα.

2.11.1. Καταβόθρες (ponor, swallow hols)

Οι καταβόθρες είναι καρστικές μορφές που σχηματίστηκαν στις θέσεις όπου το επιφανειακό νερό διαπερνάει υπογείως. Υπάρχουν ως απότομοι, υπό-κάθετοι και κατακόρυφοι υπόγειοι χώροι οι οποίοι ξεκινούν από την επιφάνεια και κατεβαίνουν βαθιά στο εσωτερικό της γης. όπου και συνεχίζουν με το δίκτυο των καρστικών καναλιών τους. Ονομάζονται και καρστικά φρέατα εφόσον είναι δυνατή η ανθρώπινη κατάβαση. Οι καταβόθρες τελειώνουν είτε οριζόντια είτε με κλίση και αν δεν υπάρχει ή είναι αμελητέα η ροή του νερού ονομάζονται σπηλαία.

Όταν υπάρχει η ροή στην επιφάνεια του εδάφους και ένα τμήμα χάνεται υπόγεια και ξαναβγαίνει στην επιφάνεια, έχουμε την δημιουργία των «ponornica». Με την χημική και μηχανική επιρροή και τις πολύ σημαντικές ενέργειες του κολλουβίου ή «ponornica» δημιουργείται το δίκτυο των υπόγειων καρστικών καναλιών. Αυτά τα κανάλια έχουν διαφορετική διάμετρο που ποικίλλει από δέκα-μετρικές μέχρι εκατό-μετρικές διαστάσεις (καρστικά στενά και cavern). Η αλλαγή του φάρδους της διαμέτρου αυτών των καναλιών κατά μήκος της υπόγειας ροής τους είναι αιτία για το ιδιαίτερο υδρολογικό σύστημα.

Η διαδρομή των υπογείων ροών είναι πιο συχνά ελεγχόμενη από την γεωλογικό-τεκτονική δομή της υπαίθρου. Τα καρστικά κανάλια σχηματίζονται στις θέσεις των τεκτονικών ασυνεχειών σαν ενδιάμεσα των ιζημάτων και πολύ συχνά είναι κάθετα σε σχέση με τα στρώματα της υπαίθρου. Πολύ σημαντικό ρόλο παίζουν και οι λιθολογικές αλλαγές της υπαίθρου. Τα αδιάλυτα πετρώματα σχηματίζουν τα τοιχώματα που αλλάζουν την κατεύθυνση των υπογείων ροών.

Υπόγεια οι ροές μπορούν να διοχετεύσουν το νερό τους μέσω του δικτύου των αγωγών σχηματίζοντας έτσι περισσότερες μικρότερες ροές με διαφορετικές κατευθύνσεις, συνδεόμενες στην συνεχεία με κάποια υπόγεια σημεία και βγαίνοντας στην επιφάνεια του εδάφους σε μια ή περισσότερες μακρινές θέσεις. Το μήκος των υπογείων ροών εξαρτάται από τη διάταξη της ασβεστολιθικής μάζας, από τις λιθολογικές αλλαγές στη μάζα αυτή και από την δομή της ιδίας

μάζας. Όπου υπάρχει μεγάλη ρωγμή που βγαίνει στην επιφάνεια του εδάφους ή ακολουθεί την επαφή των διαλυτών και αδιάλυτων πετρωμάτων η υπόγεια ροή βγαίνει στη επιφάνεια του εδάφους σε ένα ή περισσότερα σημεία.

2.11.2. Καρστικές πηγές

Τα νερά που ρέουν στους υπόγειους καρστικούς αγωγούς ενώνουν τις μικρότερες ροές τους σε μια μεγάλη ροή και έτσι πηγάζουν στην επιφάνεια της γης σαν καρστικές πηγές. Το φαινόμενο είναι με την λειτουργία της «ponornica».

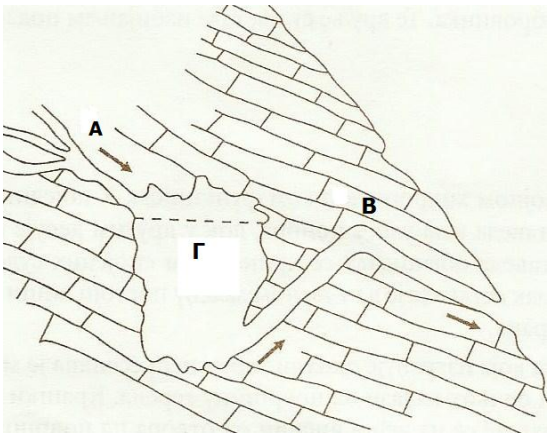
Οι καρστικές πηγές χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη μεγάλου ποσοστού νερού που εκρέει ως ποταμός στην επιφάνεια της γης. Οι καρστικές πήγες έχουν μορφή κοιλώματος σε σχήμα αμφιθεάτρου που έχει απότομες σχεδόν κάθετες πλευρές.

Το νερό εκρέει από τις σπηλιές που έχουν σχηματιστεί, συνήθως κατά μήκος των τεκτονικών ή γεωλογικών κλασμάτων που αναγνωρίζονται στις απότομες πλευρές όπου το νερό πηγάζει.

2.11.3. Περιοδική καρστική πηγή (Potajnica, Intermittent spring)

Περιοδικές καρστικές πηγές είναι περιοδικά λειτουργικές πηγές από όπου νερό ρέει περιοδικά και είναι περιορισμένο στην χρονική περίοδο λεπτών ή κάποιων ωρών. Μετά την διακοπή της ροής η πηγή ξηραίνεται για μια χρονική περίοδο και αργότερα πάλι λειτουργεί σαν πηγή. Σε κάποιες περιπτώσεις η πηγή δεν χάνει την λειτουργία της, η ροή του νερού είναι συνεχής αλλά η ποσότητα του νερού που πηγάζει αλλάζει περιοδικά το όγκο: δυνατή εκροή του νερού με φτωχή διαρροή.

Η λειτουργία της περιοδικής καρστικής πηγής σαν περιοδική καρστική πηγή βασίζεται στη θεωρία της υδροστατικής πίεσης για τα συγκοινωνούντα δοχεία (Εικόνα 2.26).



Εικ.2.26: Τρόπος λειτουργίας της περιοδικής καρστικής πηγής (Petrović, 1977)
(Α. τροφοδοτικός αγωγός, Β. διοχετευτικός αγωγός, Γ. καρστικό έγκοιλο)

Στην ασβεστολιθική μάζα έχει σχηματίσει καρστικό έγκοιλο (Γ) που έχει τροφοδοτικό (Α) και διοχετευτικό (Β) αγωγό. Το τροφοδοτικό κανάλι έχει μικρότερη διάμετρο από το διοχετευτικό κανάλι. Το διοχετευτικό κανάλι έχει καμπύλη σε σχήμα αγκώνα στο ύψος του πάνω μέρους των καρστικών εγκοίλων. Μετά από αυτή την καμπύλη το κανάλι βγαίνει στην επιφάνεια του εδάφους.

Το νερό ρέει στο τροφοδοτικό κανάλι και γεμίζει το καρστικό έγκοιλο έτσι ώστε σε αυτή την περίοδο να μην παρατηρείται εισροή του νερού από το καρστικό έγκοιλο στο διοχετευτικό κανάλι. Το καρστικό έγκοιλο γεμίζει με το νερό μέχρι το σημείο ανάκαμψης της καμπύλης του διοχετευτικού καναλιού και τότε το νερό αρχίζει να ξεχύνεται και να εισρέει στην επιφάνεια του εδάφους. Σε αυτή τη φάση η περιοδική καρστική πηγή αρχίζει να λειτουργεί σαν πηγή.

Το παροχετευτικό κανάλι είναι ευρύτερο από το τροφοδοτικό κανάλι και για το λόγο αυτό από το καρστικό έγκοιλο εισρέει η ποσότητα του νερού που είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα που έρχεται από το τροφοδοτικό κανάλι οπού έχουμε βαθμιαίο άδειασμα του καρστικού έγκοιλου. Το νερό εισρέει μέχρι την στιγμή που φτάνει στο σημείο ανάκαμψης της καμπύλης του διοχετευτικού καναλιού, και η υπό-πίεση, που δημιουργείται στην καμπύλη του διοχετευτικού καναλιού, σπρώχνει το νερό προς την επιφάνεια ακόμη και για την περίοδο που η υπό-πίεση μπορεί να υπερνικάει την διαφορά της στάθμης της καμπύλης και του νερού του καρστικού έγκοιλου. Σε κάποια στιγμή η εισροή του νερού σταματάει και η περιοδική καρστική πηγή «» ξηραίνεται όπου στην συνεχεία αρχίζει ξανά το νέο γέμισμα του καρστικού έγκοιλου όπου η λειτουργία της έχει κυκλικό χαρακτήρα.

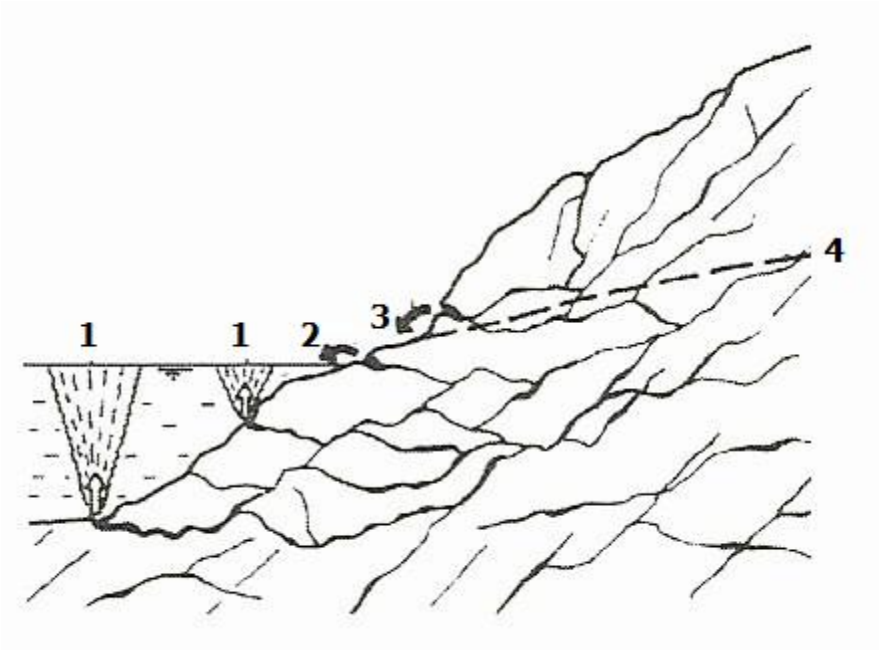
Η διάρκεια της εισροής του υπογείου νερού στην επιφάνεια του εδάφους, δηλαδή το τέλος της εισροής του νερού και το γέμισμα του καρστικού έγκοιλου εξαρτάται από την διάμετρο του τροφοδοτικού και διοχετευτικού καναλιού, την ποσότητα του νερού, τον όγκο καρστικού έγκοιλου και τη θέση της καμπύλης του διοχετευτικού καναλιού σε σχέση με το μέγεθος του καρστικού έγκοιλου. Αν το ποσοστό του νερού που τροφοδοτεί το καρστικό έγκοιλο είναι μικρότερο από την ποσότητα που εισρρέει επιφανειακά, ή αν το σημείο ανάκαμψης του διοχετευτικού καναλιού είναι χαμηλό σε σχέση με την τοποθεσία καρστικού έγκοιλου, δεν έχουμε της εισροή του νερού επιφανειακά και έχουμε μείωση της ποσότητας του νερού.

2.11.4. Υποθαλάσσιες καρστικές αναβλύσεις (Vrulja)

Οι υποθαλάσσιες καρστικές αναβλύσεις είναι υπόγειες υποθαλάσσιες πηγές ή πιο σπάνια οι υπόγειες πηγές των λιμνών των καρστικών περιοχών (Εικόνα 2.27). Όταν οι υπόγειες καρστικές ροές έχουν το τέλος τους στο θαλάσσιο πυθμένα δημιουργούνται υποθαλάσσιες καρστικές

αναβλύσεις. Σε ρηχές θάλασσες, με δέκα-μετρικό βάθος, η θέση της υποθαλάσσιας καρστικής ανάβλυσης παρατηρείται και στην επιφάνεια της θάλασσας όπου έχουμε ανατάραξη του θαλάσσιου επιφανειακού νερού. Στην θέση της υποθαλάσσιας καρστικής ανάβλυσης το νερό είναι πάντοτε πιο κρύο και πιο γλυκό.

Οι υποθαλάσσιες καρστικές αναβλύσεις ανακαλύπτονται με ακρίβεια με χρήση υπέρυθρων αεροφωτογραφιών. Οι υπέρυθρες ακτίνες είναι ευαίσθητες στην αλλαγή της θερμοκρασίας έτσι ώστε στις υπέρυθρες αεροφωτογραφίες οι υποθαλάσσιες καρστικές αναβλύσεις παρατηρούνται με διαφορετικό χρώμα από την υπόλοιπη επιφάνεια της θάλασσας.



Εικ.2.27: Τρόπος λειτουργίας των υποθαλάσσιων καρστικών αναβλύσεων (Milanović, 2004) (1. Υποθαλάσσιες καρστικές αναβλύσεις; 2. περιοδικά λειτουργικές πηγές στο επίπεδο της θάλασσας; 3. περιοδικά λειτουργικές πηγές μονό κατά την διάκεια του υψηλού υδροφόρου ορίζοντα; 4. ο υδροφόρος ορίζοντας)

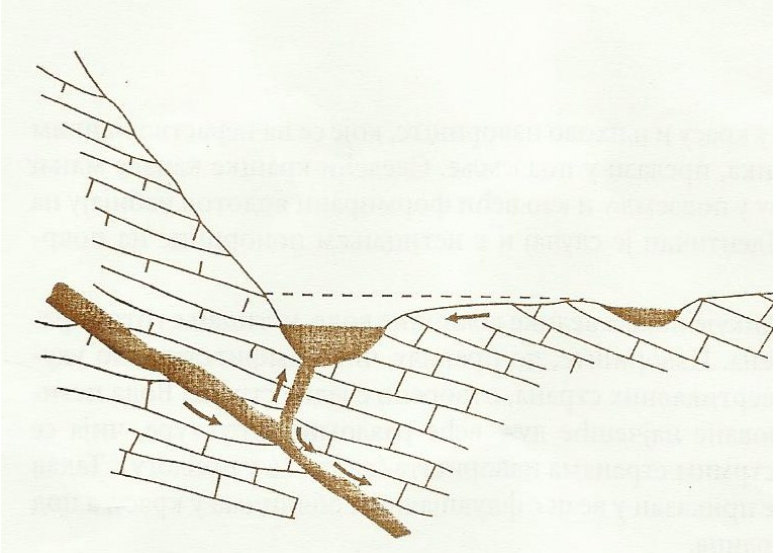
2.11.5. Εσταβέλλα (Estavela, Estavellas)

Εσταβέλλες είναι οι μορφές με διπλή υδρολογική λειτουργία. Με το πέρασμα του χρόνου, επεισοδιακά, λειτουργούν είτε σαν καταβόθρες ή είτε σαν καρστικές πηγές.

Οι εσταβέλλες λειτουργούν όπως το σύστημα της λειτουργίας των συγκοινωνούντων δοχείων (Εικ.2.28).

Οι ασβεστολιθικές μάζες που σχηματίζουν την περιοχή στην οποία υπάρχουν εσταβέλλες είναι διακομισμένες με το δίκτυο των καρστικών αγωγών με ένα από αυτά να βγαίνει στην

επιφάνεια του εδάφους. Οι καρστικοί αγωγοί των εσταβελλών υπάρχουν στην πλαγιά του βουνού σε μεγαλύτερο ύψος, ή αμέσως γύρω, από το άνοιγμα τους. τους.



Εικ.2.28: Τρόπος λειτουργίας της εσταβέλλας (Petrović, 1977)

Σε περίοδο μεγαλύτερης ατμοσφαιρικής πίεσης, στην άνοιξη ή στο φθινόπωρο, η στάθμη των υπογείων νερών των καρστικών αγωγών είναι ψηλή και ανεβαίνει πάνω από το επίπεδο των επιφανειακών ανοιγμάτων τους. Το νερό πηγάζει στην επιφάνεια και συνήθως γύρω από την πηγή δημιουργείται λιμνούλα και η εσταβέλλα που τότε λειτουργεί σαν καρστική πηγή.

Σε περίοδο ξηρασίας, το καλοκαίρι ή τον χειμώνα, η στάθμη των υπόγειων νερών των καρστικών αγωγών είναι χαμηλή και κατεβαίνει κάτω από το επίπεδο των επιφανειακών ανοιγμάτων τους.

Το άνοιγμα και η γύρω περιοχή είναι ξηρά. Τώρα όλα τα νερά που περιοδικά ρέουν επιφανειακά, διαπερνούν υπόγεια μέσω αυτών των ανοιγμάτων που αρχίζουν να λειτουργούν σαν καταβόθρες.

2.12. Διαχείριση καρστικών περιοχών

Ο ασβεστόλιθος και ο δολομίτης εμφανίζονται σε κάθε τύπο μορφο-τεκτονικής και κλιματολογικής περιοχής, περίπου στο 11% της στεριάς και 14% του υπεδάφους της γης (Williams, 2008). Τα καρστικά πετρώματα καταλαμβάνουν πέρα από το 33% των εκτάσεων της Ελλάδας (Παπαδοπούλου, 2004) παρόλα αυτά όλα αυτά, το "καρστ" είναι μια λέξη που είναι ξένη στους περισσότερους Έλληνες. Το καρστ είναι ένας μοναδικός, μη ανανεώσιμος πόρος με σημαντικές βιολογικές, υδρολογικές, ορυκτολογικές, επιστημονικές, πολιτιστικές, ψυχαγωγικές, και οικονομικές αξίες.

Το καρστ περιγράφει τα τοπία που χαρακτηρίζονται από τις δολίνες, πόλγες, τα σπήλαια, τα υπόγεια ρεύματα, και άλλες καρστικές μορφές που διαμορφώνονται κυρίως με την αργή διάλυση, με τη μηχανική διάβρωση του ασβεστολιθικού ή εβαποριτικού στρώματος. Είναι ιζηματογενή στρώματα που διαλύονται στα μετεωρικά νερά και διαμορφώνονται σε ασβεστούχα χώματα που καλλιεργούνται επί χιλιάδες έτη λόγω της συγκέντρωσης ανθρώπων στις περιοχές αυτές. Στο καρστικό περιβάλλον, ειδικά στα σπήλαια, έχουμε ανακάλυψη αρχαιολογικών υλικών όπως λίθινων εργαλείων και υπολειμμάτων ανθρώπινων οστών τύπου Νεάντερταλ (Homo neanderthalensis; εμφανίστηκε 250.000 χρόνια πριν και υπήρξε μέχρι πριν 30.000 χρόνια), του νεότερου Homo sapiens και καλά συντηρημένων ζωικών υπολειμμάτων. Αυτές οι ανακαλύψεις μας προσφέρουν τις πληροφορίες για το πώς έζησαν οι αρχαίοι λαοί, παρέχουν τις εξελικτικές συνδέσεις με το παρελθόν και βοηθούν στην κατανόηση των προϊστορικών και ιστορικών σχεδίων μετανάστευσης των ανθρώπων και ζώων.

Μέσα στα συστήματα των καρστικών σπηλιών υπάρχουν εκτενείς και ποικίλες μορφές ορυκτών αποθεμάτων όπως σταλακτίτες, σταλαγμίτες, μαργαριτάρια σπηλαίων, κτλ., που προσθέτουν σημαντικά στην αισθητική αξία των σπηλαίων. Τα καρστικά πετρώματα επίσης μπορεί να είναι ένα ευνοϊκό περιβάλλον για τις καταθέσεις μεταλλεύματος, την εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Με την πρόσφατη ανάπτυξη του πολιτισμού στις περιοχές του καρστ και τη διαδεδομένη χρήση των επικίνδυνων υλικών έχει αυξηθεί η απειλή και τα προβλήματα σε εκείνες τις εκτάσεις, όπως η μόλυνση των υπόγειων νερών που μεταφέρουν γρήγορα τους μολυσματικούς παράγοντες προς τα φρεάτια και τα πηγάδια και η κατάρρευση και πλημμύρες των δολινών. Με τη βοήθεια της επιστήμης και της τεχνολογίας, οι κάτοικοι και οι κοινότητες θα έπρεπε να αναπτύξουν τις λύσεις για τα προβλήματα στις καρστικές περιοχές. Ο Williams (1993) θεωρούσε, ότι λαμβάνοντας υπόψη την πολυπλοκότητα και τη μεταβλητότητα των υδρολογικών

συστημάτων του καρστ, είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι διαβάσεις του καρστικού εδάφους που θα ακολουθήσει η ρύπανση του ίδιου. Παρόλα αυτά, ο Williams ίδρυσε ένα γενικό μοντέλο για τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και τις άμεσες ή έμμεσες επιδράσεις που σαν συνέπεια έχουν την υποβάθμιση του γενικού καρστικού περιβάλλοντος (Εικόνα 2.29):

Ανθρωπογενείς δραστηριότητες	Συνέπειες	Επιδράσεις στο καρστ	
Εκδάσωση	• Απώλεια χλωρίδας και πανίδας • Μειωμένη μεταφορά μέσω εξάτμιση	• Στερημένη οικολογία	Υποβάθμιση καρστικού οικοσυστήματος
Καλλιέργεια	• Αυξημένη επιφανειακή ροη θύελλας και διάβρωση εδάφους • Εκφόρτωση βρομόνερων	• Εδαφολογική υποβάθμιση • Επιδείνωση ποιότητας νερού	
Αστικοποίηση και βιομηχανία	• Αυξημένη επιφανειακή ροη θύελλας και διάβρωση εδάφους • Όξινες βροχές • Εκφόρτωση λημματών • Αφαίρεση πετρωμάτων και ορυκτών	• Εδαφολογική υποβάθμιση • Επιδείνωση ποιότητας νερού • Καταστροφή της επιφάνειας του εδάφους	
Λατομεία και Μετάλλευση	• Αυξημένη απόλεια ιζημάτων • Εκφόρτωση βρομόνερων • Αφαίρεση πετρωμάτων και ορυκτών • Χημικά απόβλητα • Φθορά λόγω χρήσης του καρστικού εδάφους	• Ιζηματογένεση στις σπηλιές • Επιδείνωση ποιότητας νερού • Καταστροφή της επιφάνειας του εδάφους	
Τουρισμός και αναψυχή	• Εκφόρτωση βρομόνερων • Φθορά λόγω χρήσης του καρστικού εδάφους	• Επιδείνωση ποιότητας νερού	
Στρατιωτικές δραστηριότητες	• Αφαίρεση πετρωμάτων και ορυκτών • Χημικά απόβλητα	• Επιδείνωση ποιότητας νερού • Καταστροφή της επιφάνειας του εδάφους	
Εκμετάλλευση νερού: Φράγματα - αντίθετο προς το ρεύμα Άντληση υπογείων νερών Στην κατεύθυνση ρεύματος	• Μείωση επαναφόρτισης των αλλόχτων ποταμών • Χαμήλωμα του υδροφόρου ορίζοντα • Πλημμύρα	• Εδαφολογική κατάρρευση • Αποξήρανση των πηγών • Παρείσφρυση νερού θάλασσας • Πνιμμένο σύστημα καρστ	

Εικ.2.29: Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, συνέπειες και επιδράσεις στην εκτάση του καρστ με Williams (1993).

Η μόλυνση, ρύπανση και μετατροπή του καρστικού περιβαλλοντικού συστήματος έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή των χαρακτηριστικών του νερού είτε αν το ίδιο είναι καρστικής προέλευσης είτε αν εισάγεται στο σύστημα του καρστ από μια υγρή γειτονική περιοχή.

Ο Maas et al. (1984) και άλλοι συντάκτες συμπεριλαμβανομένου των Boyer και Pasquarell (1996, 1999) και Pasquarell και Boyer (1996) προσδιόρισαν τις ακόλουθες αρχές της μεταφοράς των μολυσματικών παραγόντων και διαδρομές των βακτηριδίων στα υδάτινα συστήματα του καρστ ή/και:

- με την άμεση εφαρμογή τους και με την επαφή τους με επιφάνεια του εδάφους,
- στην απορροή: είτε διαλυμένοι, κοκκοποιημένοι είτε προσροφημένοι προς τα εδαφολογικά μόρια,
- εναέρια απόθεση: εξάτμιση και επακολούθως ατμοσφαιρική απόθεση,
- μέσω της αναρρόφησης από την χλωρίδα και πανίδα (βιόκοσμος) και της επόμενης μετακίνησης μέσω του δικτύου τροφίμων.

2.12.1. Καρστικό νερό, αξίες, τρόποι και πηγές μόλυνσης και ρύπανσης

Το νερό είναι το πιο πολύτιμο αγαθό των καρστικών περιοχών και η ποιότητα και ποσότητά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην έκταση, εξέλιξη και στο οικοσύστημα. Στη καρστική επιφάνεια ανευρίσκεται σπάνια και εμφανίζεται στις μεγαλύτερες πηγές. Στην υπό-επιφάνεια του καρστ συνήθως υπάρχουν μεγαλύτερα αποθέματα καλής ποιότητας νερού που εκπροσωπεύουν τις περισσότερες παραγωγικές προμήθειες των υπόγειων νερών στη γη.

Στις παροχές του νερού του καρστικού περιβάλλοντος το νερό της θύελλας έχει ουσιαστικά σημαντικότερο ρόλο. Καθώς η βροχή πέφτει μέσω της ατμόσφαιρας, παίρνει το CO_2 και το διαλύει σε σταγονίδια. Μόλις πέσει η βροχή στο καρστικό έδαφος, φιλτράρεται μέσω του χώματος, παίρνοντας περισσότερο CO_2 δημιουργεί αδύνατο διάλυμα ανθρακικού οξέος που στην συνέχεια διαλύει οποιαδήποτε υπάρχουσα κατάκλαση και ρωγμή δημιουργώντας μεγαλύτερα ανοίγματα στην επιφάνεια προς το υπέδαφος. Τα υπόγεια δίκτυα αποστραγγίζουν το νερό του καρστ σε τέτοιο βαθμό που μπορεί να είναι δύσκολο να καθοριστεί και κατανοηθεί. Αυτή η διαδικασία διαρκεί πολλές χιλιάδες έτη και οδηγεί τελικά στην ανάπτυξη των μικρό επιφανειακών μορφών, υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων και σπηλαίων. Τα ρηχά υδροφόρα στρώματα στις περιοχές του καρστ είναι ευπρόσβλητα και πολύ ευαίσθητα στην μόλυνση. Η ρύπανση που διασκορπίζεται από τις πηγές μεταφέροντας μολυσματικούς παράγοντες μέσω του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα προκαλεί ανεπανόρθωτες ζημίες και μόλυνση των υπόγειων νερών και γενικά του οικοσυστήματος του καρστ. Αυτό προκαλεί άμεση ή έμμεση επίδραση στο

μοναδικό υπόγειο βιότοπο και τα σπάνια ζώα, καθώς και στο εύθραυστο προϊστορικό υλικό που συντηρούταν για χιλιετίες.

Η συγκεντρωμένη επαναφόρτιση του νερού του καρστικού υπόβαθρου γίνεται με την επιφανειακή απορροή δια καταβοθρών και δολινών. Τα επιφανειακά ρεύματα μετά από την βύθισή τους ρέουν μέσω των αγωγών των σπηλιών και ξαναρρέουν εξωτερικά στα πηγάδια όπου διαμορφώνονται επιφανειακά ρεύματα. Επίσης, τα υπόγεια υδρολογικά συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα από την επιφανειακή απορροή του νερού.

Λόγω των γρήγορων ταχυτήτων αυτών των υπόγειων ρευμάτων και του περιορισμένου φυσικού καθαρίσματος και φιλτραρίσματος του νερού μέσω του καρστικού υποβάθρου, εύκολα μπορούν να μεταφερθούν μολυσματικοί παράγοντες από μια περιοχή σε άλλη, ταξιδεύοντας πολλά χιλιόμετρα μέσω του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα μόνο σε μερικές ώρες. Η φυσική επεξεργασία αυτών των πλωτών μολυσματικών παραγόντων είναι συχνά σχετικά ατελέσφορη και αυτό οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στη φύση των υδρολογικών συστημάτων του καρστ. Συνεπώς, η χρονική διαδικασία που απαιτείται για την διαδικασία αποβολής της ρύπανσης είναι λιγότερο αποτελεσματική μιας και δεν υπάρχει αρκετός χρόνος να σκοτωθούν οι παθογόνοι οργανισμοί, που στην συνέχεια μπορεί να αναδύονται στις καρστικές πήγες.

Στις καρστικές περιοχές υπάρχει απειλή για τους ανθρώπους που χρησιμοποιούν τις παροχές του καρστικού νερού καθώς μολυσματικοί παράγοντες που συνδέονται με την αστική χρήση και την απορροή νερού το «πλουτίζουν» με μόλυβδο, χρώμιο, πετρέλαιο, λίπος και τα βακτηρίδια από τα ζώα. Ο Crawford, (1979) ισχυρίστηκε ότι μετά από δυνατές βροχές, λόγω των γρήγορων ταχυτήτων των υπόγειων ρευμάτων και του περιορισμένου φυσικού καθαρίσματος και φιλτραρίσματος του νερού διαμέσου του καρστικού υποβάθρου, στις περισσότερες καρστικές περιοχές, μπορούν εύκολα και γρήγορα να μεταφερθούν μολυσματικοί παράγοντες όπως τα σηπτικά απόβλητα αποχέτευσης δεξαμενών, απορρίμματα, στερεά και υγρά απόβλητα ή τα ιζήματα. Ενδιαμέσου του εδάφους, μέσα σε λίγα λεπτά με μερικές ώρες, οι μολυσματικοί παράγοντες και τα ιζήματα ταξιδεύουν πολλά χιλιόμετρα από μια περιοχή σε άλλη και κατ' επέκτασιν στα πηγάδια, με αποτέλεσμα την ανεύρεση υψηλού αριθμού περιττωματικών κολοβακτηριδιών και στρεπτόκοκκου στο νερό αρκετών πηγαδιών.

Σοβαροί κίνδυνοι στις περιοχές του καρστ αποτελούν και οι διαρροές, η ρίψη ή η σκόπιμη αποθήκευση των τοξικών ή εκρηκτικών χημικών ουσιών. Επιπλέον, η εξάτμισή τους μπορεί να φτάσει σε υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης στην ατμόσφαιρα των σπηλιών και να αυξηθεί μέσω των κατακλάσεων, ρωγμών και ρηγμάτων του ασβεστολιθικού υπόβαθρου καταλαμβάνοντας τα υπόγεια των κτιρίων των αστικών περιοχών και εισβάλλοντας στην επιφάνεια των κατοικημένων περιοχών όπου λόγω των υψηλών τους συγκεντρώσεων πέρα από τα επιτρεπτά όρια, να υπάρχει ανάγκη εκκένωσής τους (Crawford, 1984).

Επίσης, οι χημικές ουσίες που διαρρέουν από τις υπόγειες δεξαμενές, τα δις ανθρακικά άλατα, το χλώριο, το νιτρικό άλας, το πυρίτιο και το μαγνήσιο, η βενζίνη, και άλλα, μπορούν να μεταφερθούν υπογείως γεμίζοντας με νερό τις σπηλιές. Αυτό οδηγεί στις φυσικές παγίδες για τις επιπλέουσες χημικές ουσίες, οι οποίες συσσωρεύονται στα ανώτερα επίπεδα του υδροφόρου ορίζοντα, σαν μανδύας, στις οροφές των σπηλιών ή σαν ζώνη στους τοίχους των αγωγών των φρεατίων και δεν εκρέουν όταν το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα κατεβαίνει και το ρεύμα του νερού αποχωρεί πιο βαθιά υπογείως.

Ο Ford και ο Williams (1989) υποστηρίζουν ότι οι καρστικές επιφάνειες, με πορώδη ελαστικά παχιά ιζήματα, έχουν καταλληλότερες συνθήκες για την αποίκιση από τους φυσικούς μικροοργανισμούς και για την προσρόφηση και ιοντική ανταλλαγή, από τα πυκνά, σπασμένα καρστικά στρώματα με το ρηχό χώμα. Συνεπώς, το νερό που επαναφορτίζει στο καρστ έχει σχετικά μικρές πιθανότητες για τον αυτό-καθαρισμό. Επίσης, η γρήγορη διήθηση στο καρστ μειώνει την ευκαιρία εξάτμισης, μια διαδικασία που είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αφαίρεση των πτητικών ουσιών όπως οι διαλύτες και τα φυτοφάρμακα.

Η χρονική έκταση για τη μολυσματική μεταβλητότητα κυμαίνεται από μερικούς μήνες μέχρι κάποια έτη και είναι μια απάντηση στην συχνότητα και τη διάρκεια των υγρών περιόδων έναντι των ξηρών.

Κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων, οι ρύποι συσσωρεύονται στο χώμα και στην επι-καρστική ζώνη (Williams 1985; Hobbs, Smart 1986; Smart, Friederich 1986). Ως εκ τούτου, την άνοιξη η μολυσματική συγκέντρωση που παρατηρείται μειώνεται στην ενεργή ζώνη ροής. Δεδομένου ότι η ροή είναι επίσης λιγότερη κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων, το συνολικό ποσό από τους ρύπους που κινούνται μέσω του συστήματος μειώνεται επίσης. Στις υγρές περιόδους, εντούτοις, περισσότεροι ρύποι ξεπλένονται μέσω του χώματος και της επι-καρστικής ζώνης και εντοπίζονται στις πήγες και στα φρεάτια, παρεμποδίζοντας τη ροή στους αγωγούς των σπηλαίων. Επομένως, το συνολικό ποσό των ρύπων, καθώς επίσης και οι συγκεντρώσεις τους που φθάνουν σε αυτά τα σημεία ελέγχου, είναι πολύ υψηλότερες κατά τη διάρκεια των υγρών περιόδων. Συμπεραίνεται για την ανάπτυξη του Μεσογειακού κάρστ ότι τα μικρής κλίμακας καιρικά γεγονότα εμφανίζουν ελάχιστη ή καμία επίδραση σε ολόκληρο το υδρολογικό σύστημα του καρστ ή τα αποτελέσματα είναι τόσο μικρά που είναι μη ανιχνεύσιμα (Lastennet, Mudry, 1997). Τα μεγάλα γεγονότα, εντούτοις, όπως οι μεγάλες πλημμύρες, προκαλούν μεγάλες και ενδεχομένως μόνιμες επιδράσεις στο σύστημα των καρστικών λεκανών, που δημιουργήθηκαν «in situ», από την ουσιαστική μετακίνηση του επιφανειακού μανδύα από χαλαρά κατάλοιπα που ακουμπούν πάνω στο στερεό πέτρωμα είτε στο καρστικό υπόβαθρο είτε στις εισόδους των σπηλιών. Ομοίως, το φράξιμο των εξόδων των σπηλιών με τα υπολείμματα και τα ιζήματα

προκαλούν μακροπρόθεσμη αλλαγή στη ροή του υδρολογικού συστήματος και αλλάζουν έτσι τη χημική σύσταση του νερού.

2.12.2. Καρστικό οικοσύστημα, χλωρίδα και πανίδα

Στις περιοχές του «καλυμμένου» καρστ ή βιο-καρστ ο τύπος και οι αλλαγές στην κάλυψη βλάστησης μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο σχηματισμό των ιδιαίτερων καρστικών μορφών. Δεδομένου ότι τα ανθρακικά πετρώματα διαλύονται με τη διαπεραστικότητα του νερού υπογείως, απελευθερώνουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και τα ιχνοστοιχεία του χώματος ενθαρρύνοντας την αύξηση και ανάπτυξη των δέντρων και άλλων φυτών. Οι ρίζες των φυτών εξαπλώνονται βαθιά στο στρώμα του πετρώματος και επιταχύνουν τη διάλυση και διεύρυνση των υπαρχόντων κατακλάσεων και ρηγμάτων του καρστικού στρώματος. Σε μερικές περιπτώσεις, οι ρίζες δέντρων έχουν διαπεράσει μέσω των οροφών των σπηλιών περίπου 30 μέτρα ή περισσότεροι κάτω από την επιφάνεια.

Οι λειχήνες και τα βρύα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διάβρωση και στη ανάπτυξη μικρό καρστικών μορφών χαραγμένων στον εκτεθειμένο ασβεστόλιθο, όπως οι γλυφες.

Επίσης, οι σημαντικότερες αποθετικές διαδικασίες του «biokarst». αντιπροσωπεύονται από την απόθεση ασβεστίτη στην επιφάνεια υπό μορφή τόφφων.

Οι αποψιλώσεις των δασών προκαλούν αρνητικές επιρροές στο οικοσύστημα του καρστ (Urich, 1996) και ο πιο εύκολος τρόπος για την αποφυγή αυτών των καταστροφών είναι η αποκατάσταση της ενδημικής δασικής κάλυψης όταν και όπου είναι δυνατόν, προκειμένου να συντηρηθούν τα συστήματα του καρστ. Στις δολίνες τα χαρακτηριστικά που επηρέασαν τα ποσοστά της διάβρωσης και απόθεσης είναι η γωνία κλίσεων των πλάγιων τους, το μήκος κλίσεων, πιθανά ρήγματα και ρωγμές στην κλίση και το μέγεθος και η διανομή των αποσαθρωμένων πετρωμάτων. Τα χώματα είναι πιο βαθύτερα και πιο υγρά προς το κάτω μέρος της πλαγίας των δολίνων λόγω του ότι η χερσαία ροή διάβρωσης μεταφέρει το χώμα προς εκεί και σε συνδυασμό με την πλευρική ακόρεστη ροή, κρατά αυτό το χώμα υγρό. Για αυτούς τους λόγους, τα υψηλότερα ποσοστά επιβίωσης νέας δασικής κάλυψης αναμένονται στο κάτω τμήμα κλίσης πλαγιάς της δολίνης παρά στην μέσα του κλίση ή στις κορυφές.

Στις περιοχές της Μεσογείου και της Αδριατικής θάλασσας λόγω της αποψίλωσης των δασών και κατ'επέκταση της εδαφολογικής διάβρωσης και των αποθέσεων αλλογενούς προέλευσης λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, έχουν αναπτυχθεί πετρώδη εδάφη ή εκτενείς περιοχές γυμνού ασβεστολίθου που οι σχισμές, ρωγμές και σπηλιές τους περιέχουν συχνά ουσιαστικά ποσά των ιζημάτων που διαβρώθηκαν στις προηγούμενες φάσεις χρήσης γης.

Πολλά είδη άγριας φύσης χρησιμοποιούν τις καρστικές μορφές για το βιότοπο ή περιοδικό καταφύγιο τους. Στο επιφανειακό και υπόγειο οικοσύστημα του καρστ υπάρχουν ασυνήθιστα και σπάνια είδη φυτών και ζώων. Παραδείγματος χάριν, ορισμένα είδη φτερών και μικρών θηλαστικών προτιμούν τις δροσερές, υγρές εισόδους των σπηλιών όπου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ο αέρας από τις σπηλιές είναι πιο δροσερός και κατά τη διάρκεια του χειμώνα όπου ο αέρας σπηλιών είναι γενικά θερμότερος από τις περιβάλλουσες θερμοκρασίες.

Η εδαφολογική διάβρωση εντείνεται και αλλάζει συχνά όταν το έδαφος διαταράσσεται από τη γεωργία και άλλες αρχικές χρήσεις γης όπως η ιδιαίτερα μηχανοποιημένη δασονομία. Η αυξανόμενη επαναφόρτιση των ιζημάτων επιδρά και στο υπόγειο περιβάλλον των σπηλιών και την εξέλιξη τους και στις αποθέσεις των κλαστικών ιζημάτων.

2.12.3. Καρστ και γεωργία

Στις καρστικές περιοχές που συνδέονται με τις γεωργικές δραστηριότητες οι πιθανοί μολυσματικοί παράγοντες είναι: τα νιτρικά άλατα από τα λιπάσματα, βακτηρίδια από τα απόβλητα των ζωών φάρμας και φυτοφάρμακα, κτλ. (Aharonson και λοιποί., 1987).

Ο Berryhill (1989) παρείχε μια γενική επισκόπηση της πιθανής επίδρασης των θρεπτικών ουσιών των φυτών όπως το άζωτο. Οι πηγές του αζώτου που περιλαμβάνουν τα λιπάσματα και την κοπριά υπάρχουν στους τομείς της παραγωγής συγκομιδών, στους στάβλους, στις γαλακτοκομικές αίθουσες και τα σπίτια πουλερικών και γουρουνιών. Οι δραστηριότητες που μπορούν να επιδεινώσουν τις θρεπτικές απώλειες των φυτών περιλαμβάνουν την υπερβολική εφαρμογή της λίπανσης και της κοπριάς, την ακατάλληλη περίοδο για την λίπανση, τις μικρές ποσότητες αποθηκευμένης κοπριάς και λιπάσματος και την ανεπαρκώς οργανωμένη διοίκηση στις περιοχές όπου υπάρχουν πήγες παραγωγής λιπάσματος και κοπριάς όπως και τις λανθασμένες τεχνικές και πρακτικές συντήρησης των υπολειμμάτων συγκομιδών στην εδαφολογική επιφάνεια. Ο σημαντικός ρύπος των υπόγειων νερών του καρστ είναι το νιτρικό άλας εξ αιτίας των βλαβερών επιδράσεων που προκαλεί στην υγεία. Στα παιδία, το νιτρικό άλας μπορεί να προκαλέσει την «methemoglobinemia» ή το σύνδρομο «μπλε- μωρά» και θάνατο. Όλα τα παραπάνω μπορούν να αυξήσουν τη διάβρωση και να προκαλέσουν την απώλεια διαλυτών θρεπτικών ουσιών των φυτών στα υπόγεια νερά.

2.12.4. Οικοδόμηση και Καρστ

Στις αστικές περιοχές, οι οικοδομές χτίζονται συχνά ενδιάμεσα στο πυθμένα των καρστικών βυθισμάτων όπως δολινών, ουβάλων ή πολγών. Τα προβλήματα που προκαλούνται είναι:

- Οι αλλαγές κατασκευής και χρήσης γης ειδικά όπου υπάρχουν οικισμοί, κατασκευές, άσφαλτος και τσιμέντο στην επιφάνεια του εδάφους συγκεντρώνουν και αυξάνουν την επιφανειακή απορροή του νερού σαν αδιαπέραστοι ή λιθόστρωτοι μανδύες καθοδηγώντας το νερό στους υπόγειους αγωγούς και τις δεξαμενές με συνέπεια τη σωλήνωση του ρεγγολίθου στα ανοίγματα του καρστικού πετρώματος. Η έντονη δόμηση της επιφάνειας προκαλεί την συγκέντρωση του νερού ενώ η δόνηση της επιφάνειας με την κατεδάφιση, μπορεί επίσης περιστασιακά να προκαλέσει την κατάρρευση των αψίδων του «regolith» (Crawford, Whallon, 1985). Οι περιοχές χωρίς δένδρα και οι βιότοποι διαποτίζονται με μέχρι το 30% του νερού της θύελλας και το υπόλοιπο επιφανειακά απορρέει προς την κοιλάδα και το πόταμο. Ο άξονας της ροής και οι περισσότερες ρηχές ροές είναι ταραχώδεις και ικανές να μεταφέρουν το διαβρωμένο υλικό του εδάφους στο σύστημα των σπηλιών και των αγωγών τους. Μπορούν να εμφανιστούν γρήγορες αλλαγές στη στάθμη του νερού από την πλημμύρα ή από τη μορφολογία των αγωγών των σπηλιών και αυτό οδηγεί στη γρήγορη αλλαγή της διαθέσιμης ενέργειας για την επανάληψη μεταφοράς των ιζημάτων κατά μήκος της μετάβασης των σπηλιών που θα οδηγήσει σε μια μεγαλύτερη ποικιλομορφία στη σύσταση των ιζημάτων κατά μήκος των καρστικών υπογείων αγωγών. Με την επόμενη πλημμύρα μεγάλης έντασης τα αποτεθειμένα ιζήματα μπορούν να αφαιρεθούν εντελώς και στην συνεχεία έχουμε επαναλαμβανόμενο γεγονός ιζηματογένεσης. Τα ιζήματα μπορούν να προκαλέσουν μειωμένη απόθεση τους έως και απολυθεί στα σπήλαια ή στα μέρη των συστημάτων των σπηλαίων, και επίσης, μπορούν να οδηγήσουν μακροπρόθεσμα σε αλλαγές στη μορφολογία των αγωγών των σπηλαίων.

- Η συγκέντρωση της απορροής του νερού κατά τη διάρκεια των περιόδων έντονων βροχοπτώσεων στις δολίνες εμφανίζεται όταν:
  - → το ποσοστό απορροής του νερού της καταιγίδας υπερβαίνει τις ικανότητες αποστράγγισης των δολινών
  - → όταν το ποσοστό του νερού της καταιγίδας ξεπερνά την αποθηκευτική ικανότητα του συστήματος των σπηλιών, τότε η στάθμη του νερού ανεβαίνει και αποθηκεύεται προσωρινά στις από πάνω δολίνες,

→ όταν το επίπεδο του πυθμένα των καταβοθρών ή δολίνων είναι χαμηλότερο από το επίπεδο της ροής των ρευμάτων, τότε στον πυθμένα τους έχουν το φαινόμενο του «στάσιμου νερού» του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Οι δολίνες που βρίσκονται μίλια μακριά από τους ποταμούς μπορούν να πλημμυρίσουν και τα σπίτια και τις επιχειρήσεις που είναι κτισμένες πάνω στις ίδιες. Μετά από τις καταιγίδες, τις ξηρασίες, και τις αλλαγές στη χρήση εδάφους, οι νέες δολίνες μπορούν να διαμορφωθούν ξαφνικά, καταστρέφοντας κτήρια, δρόμους και λιβάδια.

Ενώ μερικές δολίνες διαμορφώνονται αργά από τη διάλυση του καρστικού υποβάθρου, άλλες δολίνες αναπτύσσονται ως αποτέλεσμα της κατάρρευσης της επιφάνειας ή υπό-επιφανείας τους. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι δολινών που διαμορφώνονται με αυτόν τον τρόπο καταρρεύσεων:

→ καταρρεύσεις στερεού πετρώματος, είναι σπάνιες και εμφανίζονται γενικά λόγω της διεύρυνσης των αγωγών των σπηλιών στον ασβεστόλιθο. Η διεύρυνση αποδυναμώνει τις στέγες των αγωγών των σπηλαίων όπου αναγκαστικά καταρρέουν δημιουργώντας τις δολίνες.

→ Καταρρεύσεις του χαλαρού υπολείμματος του επιφανειακού μανδύα ή ρεγγόλιθου (regolith) είναι πιο κοινές και είναι το αποτέλεσμα κατάρρευσης του ρεγγόλιθου στους υπόγειους αγωγούς του καρστικού υπόβαθρου.

→ στις περιοχές όπου η στάθμη νερού είναι συνήθως επάνω από την επαφή του ρεγγόλιθου με ασβεστόλιθο, η κατάρρευση συχνά εμφανίζεται όταν έχουμε πτώση της στάθμης του νερού κάτω αυτήν την ζώνη συνήθως κατά τη διάρκεια των ξηρασιών είτε κατά τη διάρκεια της μεγάλης άντλησης του νερού.

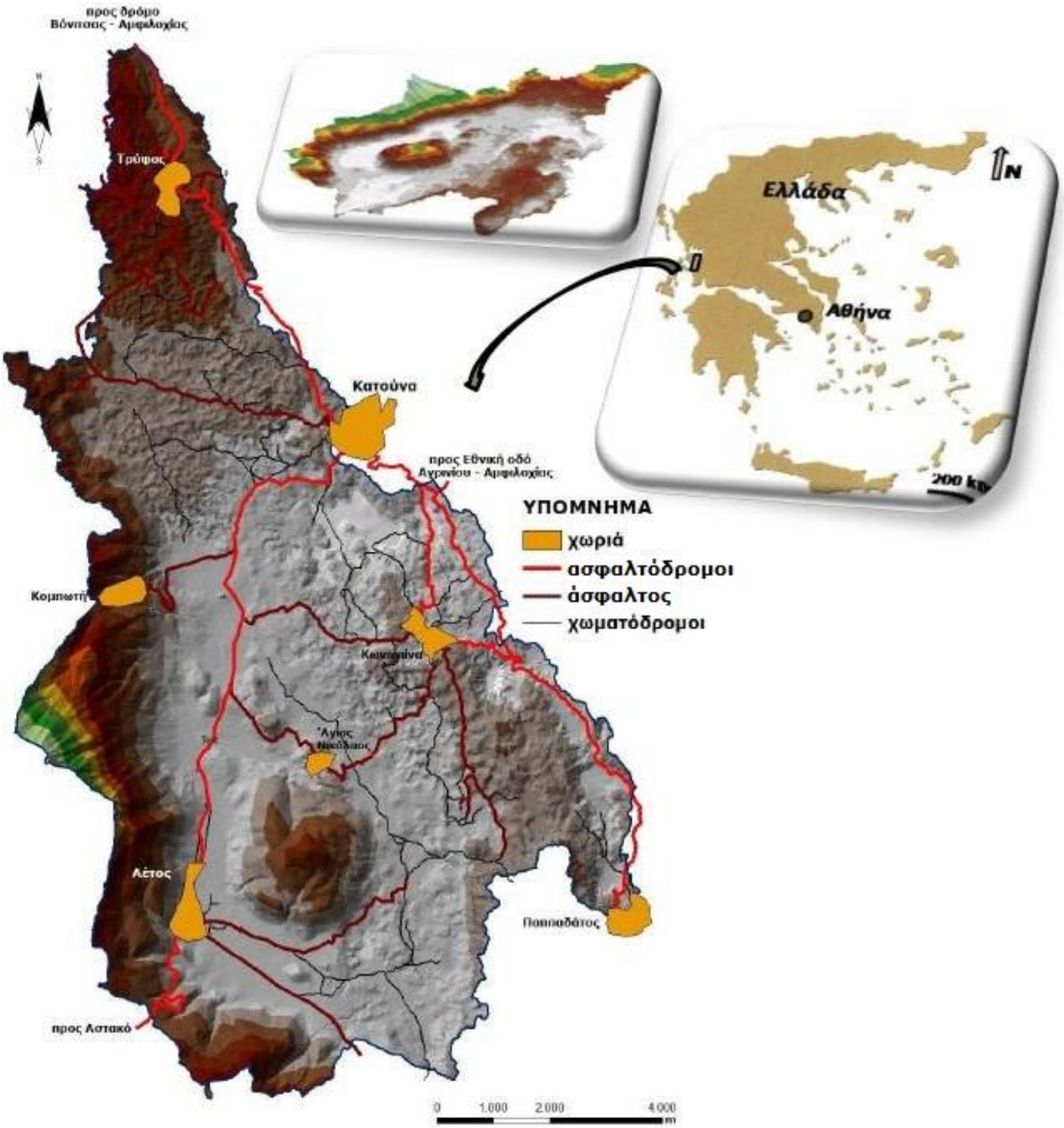
Φυσικά, οι καταρρεύσεις σε αυτήν την περίπτωση προκαλούνται από την απώλεια της επιπλέουσας υποστήριξης των θολωτών ρεγγολίθων που υπάρχουν στα ανοίγματα του ασβεστολιθικού πετρώματος. Οι καταρρεύσεις προκαλούνται επίσης από θρυμμάτισμα του ρεγγόλιθου κάτω από το άνοιγμα, που διευρύνει την αψίδα, και τελικά προκαλεί την κατάρρευση στην επιφάνεια εδάφους. Όταν η στάθμη του νερού κυμαίνεται επάνω και κάτω από την επαφή του ρεγγόλιθου-ασβεστόλιθου, η κατάρρευση μπορεί να προκύψει από την επαναλαμβανόμενη διαστολή και συστολή των ενισχυτικών υλικών των αψίδων του ρεγγόλιθου. Οι καταρρεύσεις των ρεγγολίθων μπορούν επίσης να εμφανιστούν σε καταστάσεις όπου η στάθμη του νερού είναι συνήθως κάτω από την επαφή του ρεγγόλιθου με το στρώμα του βράχου. Σε μία προσπάθεια να μειωθεί η πλημμύρα των δολινών ή καταβοθρών μερικές φορές αποφράσσονται τα κοιλώματα και οι αγωγοί τους.

3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΞΗΡΟΜΕΡΟΥ (Β.Α. Αιτωλοακαρνανία)

3.1. Γεωγραφική θέση

Η περιοχή του Ξηρόμερου έχει ορεινό-ημιορεινό χαρακτήρα και εκτείνεται στο τμήμα της Ακαρνανίας, που ανήκει στο βόρειο-βορειοανατολικό τμήμα του νομού Αιτωλοακαρνανίας, στο δυτικό τμήμα της Ελλάδας. Στο νομό Αιτωλοακαρνανίας επίσης περιλαμβάνονται και οι περιοχές του Βάλτου, Αιτωλίας και Ναυπακτίας. Η επιφάνεια της Αιτωλοακαρνανίας είναι 5.465 km^2 και η συνολική έκταση της υπό μελέτης περιοχής του Ξηρόμερου είναι περίπου 106.76 km^2 ενώ ο υδροκρίτης της περιοχής υπό μελέτης ορίζεται από τέσσερα γεωγραφικά σκέλη: δύο ορεινά σκέλη σαφώς καθορισμένα, τα Ακαρνανικά Όρη στα δυτικά και τη λεκάνη του Βάλτου και της λίμνης Αμβρακίας στα ανατολικά, τον Αμβρακικό κόλπο στα βόρεια και, τέλος, τον υδροκρίτη και τις λεκάνες των ποταμών που ρέουν προς το Ακαρνανικό τμήμα του Ιονίου πελάγους. Επίσης, απλώνεται δυτικά της σημερινής εθνικής οδού Πάτρας-Αντίρριου-Αγρίνιου-Αμφιλοχίας-Άρτας-Ιωαννίνων, στο ύψος Αγρινίου-Αμφιλοχίας. Επίσης, οδικός συνδέεται μέσω Βόνιτσας με τη Λευκάδα, από το Ακτίο με την Πρέβεζα, από την Αμφιλοχία με την Πρέβεζα και εκτείνεται στα νησιά των Παξών και της Κέρκυρας (Εικόνα 3.1).

Η περιοχή του Ξηρόμερου εντάσσεται στους Τοπογραφικούς χάρτες της Ελλάδας: φύλλο Αμφιλοχία, φύλλο Αστακός, κλίμακας 1.50.000, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού.



Εικ.3.1: Χάρτης της Ελλάδας και γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης του Ξηρόμερου

3.2. Ιστορική αναδρομή και βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στην περιοχή μελέτης, στις παραλίμνιες και παραποτάμιες περιοχές, έχουν ανακαλυφθεί εργαλεία από πυριτόλιθο παλαιολιθικής ηλικίας, τα οποία μαρτυρούν την παρουσία των ανθρώπων στην Ακαρνανία από τότε. Κατά τη Νεολιθική εποχή, η κατοίκηση συνεχίστηκε όπως μαρτυρούν λίθινα εργαλεία και σπήλαια με νεολιθική κεραμική. Η στρατηγική σημασία του χώρου πάνω στη μεγάλη θαλάσσια οδό Κορίνθου-Κέρκυρας-Ιταλίας οφείλεται στην πρώτη επαφή των Αιτωλών και των Ακαρνάνων με την κυρίως Ελλάδα. Η περιοχή αυτή, λόγω την αφιλοξενίας της οροσειράς των Ακαρνικών Ορέων, στην ύστερη Βυζαντινή περίοδο δικαίως ονομάστηκε Ξηρόμερο. Παρόλο την αφιλοξενία της η τοποθεσία αυτή αποτελούσε από τον 4^{ο} ως 12^{ο} αιώνα αναπόσπαστο κομμάτι της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας. Από τον 12^{ο} ως τον 19^{ο} η περιοχή μετατρέπεται σε καταφύγιο διαφορετικών πληθυσμών, και αποτελεί θέατρο μαχών Ηπειρωτών Δεσποτών, Λατίνων ηγεμόνων, Σέρβων και Αλβανών πολεμάρχων. Η μορφολογία του εδάφους και η συνακόλουθη ανθρώπινη ιδιοσυγκρασία κατέστησαν την περιοχή σε ένα πλέγμα οχυρών από τα οποία πολλά ανάγουν την πρώτη φάση τους στην αρχαιότητα. Περί το 1450 η Δυτική Στερεά, κατακτήθηκε από τους Τούρκους. Το Ξηρόμερο λόγω της ασφάλειας που παρέχουν τα δασωμένα βουνά του και τα απέναντι βενετοκρατούμενα νησιά, γίνεται ο τόπος συγκεντρώσεως των κλεφτών. Η Αιτωλοακαρνανία απελευθερώθηκε και αποτέλεσε τμήμα του ελληνικού κράτους το 1829. (Αρχαία Ακαρνανία, Αγρίνιο 1987)

Από την αρχαιότητα η Αιτωλοακαρνανία είχε ενεργό ιστορικό ρόλο λόγω της εύκολης πρόσβασης, με συνέπεια την πολύ πυκνή κατοίκησή της και την ανάπτυξη έντονου οικονομικού ενδιαφέροντος των πολιτών. Από τις αρχές του 18^{ου} αιώνα, με την εξέλιξη της επιστήμης οι περιοχές των λιμνών, της λεκάνης απορροής του ποταμού Αχελλώου, των λεκανών απορροής του Αμβρακικού κόλπου και της Θάλασσας του Ιονίου αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας. Η περιοχή του Ξηρόμερου, σαν κεντρικό τμήμα της Αιτωλοακαρνανίας, μελετήθηκε γεωλογικά, υδρολογικά και γεωγραφικά

- **K. G. Fiedler (1840):** ο πρώτος γεωλόγος ο οποίος έχει κάνει επιστημονικές εκδρομές, φωτογράφιση και γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής της Ακαρνανίας. Επίσης εντόπισε την ύπαρξη γύψου και τα γλυκά νερά της περιοχής.

- **M. Naumayer, A. Bittner, F. Teller (1880):** έχουν μελετήσει τη γεωλογική εξέλιξη των δυτικών νησιών της Ελλάδας και των δυτικών και βορειοδυτικών περιοχών της

Ακαρνανίας. Έχουν χαρτογραφήσει τις γύψους της περιοχής μελέτης τους και έχουν ασχοληθεί με τη στρωματογράφηση των γύψων Μεσοζωικής ηλικίας.

- **E. Oberhummer (1885):** έχει μελετήσει την ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας σε γεωγραφικά πλαίσια, ενώ η περιοχή της Ακαρνανίας κατέχει σημαντική θέση στην εργασία του.

- **Philippson (1894):** είναι ο πρώτος που έχει μελετήσει την περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας όχι μονό από τη γεωγραφική-γεωλογική άποψη αλλά και από τη γεωμορφολογική και έχει δώσει τα θεμέλια για μελλοντικές μελέτες. Έχει, επίσης, παρατηρήσει ότι οι Νουμμουλιτικοί ασβεστόλιθοι αποτελούν τη βάση του φλύσχη της περιοχής.

- **V. Hilber (1896):** έχει διασχίσει την περιοχή του Ξηρόμερου της Ακαρνανίας και επίσης εντόπισε την ύπαρξη των Νουμμουλιτικών ασβεστόλιθων σε κάποια σημεία αυτής της περιοχής.

- **C. Renz (1911):** στη γεωλογική του μελέτη για την περιοχή της Ακαρνανίας μελέτησε και υπέθεσε την στρωματογραφική βάση της περιοχής των ασβεστόλιθων τριαδικής ηλικίας (του Κρανίου) καθώς και τη σχέση αυτών με τους δολομίτες και τις γύψους. Γενικά έχει ασχοληθεί με τα γεωγραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής της Ακαρνανίας και είναι ο πρώτος που έχει κάνει λεπτομερή γεωλογική αναφορά της περιοχής.

- **E. Kirsten (1958):** σύμφωνα με τη γεωγραφική του μελέτη στη Βορειοανατολική Ακαρνανία, η περιοχή αυτή διακρίνεται σε τρεις γεωμορφολογικές ενότητες με βάση το υψόμετρο και την γεωγραφική θέση της περιοχής:
  - Βόρεια Ακαρνανία
  - Βορειοανατολική Ακαρνανία
  - Ψηλή Ακαρνανία
  - Μεσαία Ακαρνανία
  - Νότια Ακαρνανία

- **Σ. Ν. Λεονταρής (1967):** στην διατριβή του με θέμα τη γεωμορφολογική μελέτη των Αιτωλοακαρνανικών λιμνών έχει κάνει τη γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής, ασχολήθηκε με τη γεωλογική, γεωμορφολογική και παλαιογεωγραφική εξέλιξη της

κοιλάδας της Κλεισούρας, των Αιτωλοακαρνανικών λιμνών και των λιμνοθαλασσών Μεσολογγίου-Αιτωλικού.

- **V.M. Fink und S. Verginis (1976):** είναι οι πρώτοι οι οποίοι στη μελέτη τους έχουν ασχοληθεί με την καρστική γεωμορφολογία της περιοχής και έχουν κάνει ταξινόμηση και χαρτογράφηση των καρστικών μορφών της περιοχής Ακαρνανίας.

- **Ζαγκούρογλου Κ., Παπαχριστοπούλου Σ. (Ι.Γ.Μ.Ε.; 1982):** ασχολήθηκαν με την κατανομή των S, B, V στους εβαπορίτες της ευρείας περιοχής του χωριού Κατούνας στην περιοχή του Ξηρόμερου.

- **Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), (1986):** δημιούργησε το Γεωλογικό χάρτη 1:50.000, στο φύλλο Αστακός, που απεικονίζει τμήμα της περιοχής της μελέτης του Ξηρόμερου σχετικά με τη γεωλογία και τεκτονική της περιοχής μελέτης.

- **Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), (1987):** δημιούργησε το Γεωλογικό χάρτη 1:50.000, στο φύλλο Αμφιλοχία, που απεικονίζει τμήμα της περιοχής της μελέτης του Ξηρόμερου σχετικά με τη γεωλογία και τεκτονική της περιοχής μελέτης.

- **Φιλίππο Φ.Σ. (Ι.Γ.Μ.Ε.; 1989)** στην γεωηλεκτρονική του έρευνα της περιοχής του Ξηρόμερου δείχνει ότι δεν υπάρχει υδρογεωλογικό ενδιαφέρον στα λατυποπαγή. Επίσης, σε κάποιες βυθοσκοπήσεις στα λατυποπαγή ανακάλυψαν πιθανή ύπαρξη μικρών ή μεγάλων καρστικών σπηλαίων.

- **Α. Πιτσίκα (1992):** στη μελέτη της, (ερευνητικό πρόγραμμα Ι.Γ.Μ.Ε.), ασχολήθηκε με γεωτρητικό πρόγραμμα σχετικά με την απόδειξη της ποιότητας και καθαρότητας της γύψου της περιοχής της Αιτ/νίας όπου και επιβεβαιώθηκε η σχέση ανάμεσα στις μικρές γυψό-μορφές επιφάνειες και στα μεγάλα κοιτάσματα της γύψου. Έχει χαρτογραφήσει τις περιοχές με γύψο σε κλίμακα 1:20000.

- **Ε.Λ. Λέκκας (1995-1997):** Επιστημονικός υπεύθυνος στο ερευνητικό Πρόγραμμα το οποίο δημιουργήθηκε λόγω της αυξημένης σεισμικής επικινδυνότητας που παρουσιάζεται στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας και στην ευρύτερη περιοχή. Στα πλαίσια του Προγράμματος ΟΑΣΠ-ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ κατασκευάστηκε ο νεοτεκτονικός χάρτης της περιοχής της Αιτωλοακαρνανίας κλίμακας 1:100.000. Ο βασικός στόχος του

χάρτη είναι η οριοθέτηση των περιοχών με την δυνατότητα να παρουσιαστεί ή όχι σεισμική δραστηριότητα, και ανάλογα με την έντασή της διαχωρίστηκαν σε ασφαλείς και μη περιοχές. Επίσης, πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των περιοχών από γεωτεχνική άποψη με βάση τη μηχανική συμπεριφορά τους σε περίπτωση σεισμού. Ακόμα, παρατηρήθηκαν τα διάφορα άλλα στοιχεία των μορφολογικών ανωμαλιών του αναγλύφου, όπως η κατά βάθος διάβρωση, επιφάνειες επιπέδωσεις, διαδοχικοί κώνοι κορημάτων κλπ.

- **Κ. Καλούμενος,** μέσα σε προγραμματική σύμβαση Κ.Ε.Δ.Κ.Ε – ΥΠ.ΕΣ.Δ.Δ.Α – Ι.Γ.Μ.Ε. (2002) εκδίδει την έκθεση υδρολογικής αναγνώρισης των Δ.Δ. Κατούνα και Κωνοπίνας του Δήμου Μεδέωνος Νομού Αιτωλοακαρνανίας.

3.3. Δημογραφία και πληθυσμιακά στοιχεία της περιοχής μελέτης

Η έκταση της υπό μελέτης περιοχής εντάσσεται στην νομαρχιακή αυτοδιοίκηση της Περιφερείας Δυτικής Ελλάδας, της Νομαρχίας Αιτωλοακαρνανίας. Στην περιοχή μελέτης απλώνονται τα χωριά Κατούνα, Τρύφος, Άγιος Νικόλας, Αέτος, Κωνώπων, της κοινότητας του Δήμου Μεδέωνος που καταργήθηκε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης και από 2011 αποτελεί κομμάτι του νέου Δήμου Ακτίου - Βόνιτσας, και το χωριό Παππαδάτος του Δήμου Φυτείες που καταργήθηκε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης και από 2011 αποτελεί κομμάτι του νέου Δήμου Ξηρομέρου. Τα δημογραφικά και τα στατιστικά στοιχειά της περιοχής μελέτης προέρχονται από το Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών, την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος και αναφερονται στο Πίνακα 3.1:

- Ο Δήμος Ακτίου - Βόνιτσας είναι ημιορεινή περιοχή που περικλείει 662,94 τ.χλμ. και έχει πληθυσμό σε 18.374 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2001.

- Ο Δήμος Ξηρομέρου είναι πεδινή και η υπόλοιπη ημιορεινή περιοχή, η οποία περικλείει έκταση 584,82 τ.χλμ. και έχει πληθυσμό 13.717 κάτοικους, σύμφωνα με την απογραφή του 2001.

Πίνακας 3.1: Στατιστικά στοιχειά των δημοτικών κοινοτήτων της περιοχής μελέτης και πληθυσμιακή διαφορά για τα έτη 1991/2001

Δημοτικές κοινότητες της περιοχής μελέτης	**ΕΚΤΑΣΗ (χιλ.στρεμ.)**	**ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 1991**	**ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 2001**
Κατούνα	75.853	2,612	2,331
Αετού	39.229	803	664
Άγιος Νικόλαος	-	448	79
Κομπωτή	27.275	516	469
Κωνωπίνα	46.370	667	570
Τρύφου	46.370	1,011	780
Παππαδάτου	38.905	1,059	872
ΣΥΝΟΛΟ	274.002	6,651	5,765

3.4. Το κλίμα της περιοχής

Τα κλιματολογικό μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης είναι από τις πηγές της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας Ελλάδος, Διεύθυνση Κλιματολογίας Τμήμα Στατιστικής, Κλιματολογική Βάση Δεδομένων DATCLIM.

Στην υπό μελέτη περιοχή δεν λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός και ως εκ τούτου για να σχηματίσουμε εικόνα για το κλίμα της περιοχής χρησιμοποιούμε τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών του Αγρινίου και της Πρέβεζας.

Στην περιοχή μελέτης τα μετεωρολογικά στοιχειά παρακολουθήθηκαν από τις μετρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών Αγρινίου που αναφέρονται στο Πίνακα 3.2 και στα θεματικά διαγγράμματα: των κύριων τιμών της θερμοκρασίας (^{o}C) στην Εικόνα 3.2 και των τιμών της υγρασίας (%) ανά μήνα στην Εικόνα 3.3, για τη χρονική περίοδο 1958 – 2010. Επίσης, και από τον σταθμό Πρέβεζας που αναφέρονται στον Πίνακα 3.3 και στα θεματικά διαγγράμματα: των κύριων τιμών της θερμοκρασίας (^{o}C) στην Εικόνα 3.2 και των τιμών της υγρασίας (%) ανά μήνα στην Εικόνα 3.3, (Πίνακα 3.2; Εικόνες 3.4, 3.5) για τη χρονική περίοδο 1987-1997.

Όνομα Σταθμού	Κωδικός Σταθμού	Γεωγ. Μήκος Σταθμού	Γεωγ. Πλάτος Σταθμού	Περίοδος Λειτουργίας
ΑΓΡΙΝΙΟ	16672	21,21	38,36	1958 - 2010

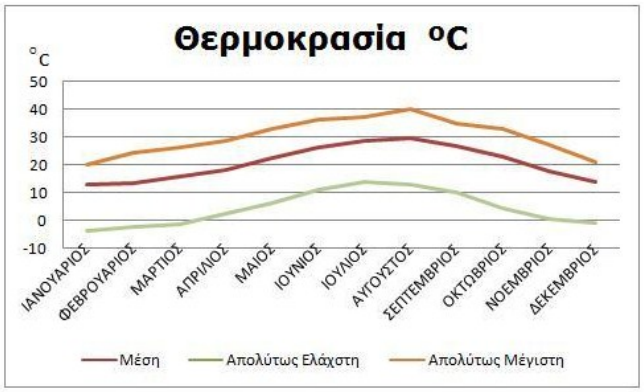
		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ °C									ΥΕΤΟΣ			
ΕΤΟΣ	Μέση πίεση hPa στην επιφ. της θάλασσας	Μέση	Μέση Μέγιστη	Μέση Ελάχιστη	Απολύτως Μέγιστη	Απολύτως Ελάχιστη	Μέση απολύτως Μέγιστη	Μέση απολύτως Ελάχιστη	Μέση σχετική υγρασ. %	Μέση νέφωση όγδοα	Μέσο ύψος χλσμ.	Μέγ. 24ωρου σε χλσμ.	Επικρατ. διεύθυν. ανέμου	Μέση έντ. ανέμου σε κόμβους
	1.014,74	17,64	23,29	11,01	43,80	-7,30	28,79	5,50	66,13	3,59	-	105,00		5,20

Πίνακας 3.2: Τα μετεωρολογικά στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Αγρινίου

Όνομα Σταθμού	Κωδικός Σταθμού	Γεωγ. Μήκος Σταθμού	Γεωγ. Πλάτος Σταθμού	Περίοδος Λειτουργίας
ΑΚΤΙΟ(ΠΡΕΒΕΖΑ)	16643	20,46	38,55	1958 - 2010

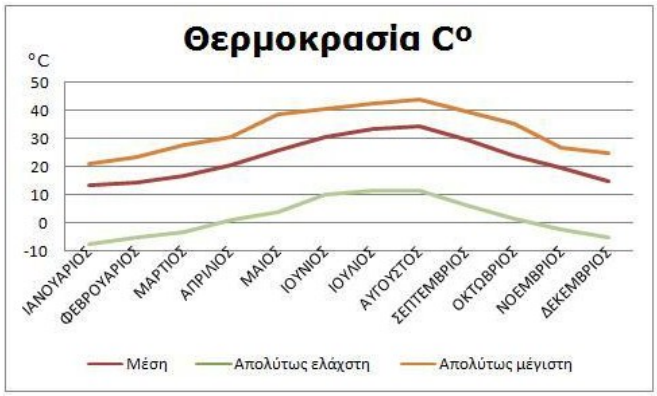
		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ °C									**ΥΕΤΟΣ**			
ΕΤΟΣ	Μέση πίεση hPa στην επιφ. της θάλασσας	Μέση	Μέση Μέγιστη	Μέση Ελάχιστη	Απολύτως Μέγιστη	Απολύτως Ελάχιστη	Μέση απολύτως Μέγιστη	Μέση απολύτως Ελάχιστη	Μέση σχετική υγρασ.	Μέση νέφωση όγδοα	Μέσο ύψος χλσμ.	Μέγ. 24ωρου σε χλσμ.	Επικρατ. διεύθυν. ανέμου	Μέση έντ. ανέμου σε κόμβους
	1.016,19	17,26	20,89	12,87	40,00	-3,60	25,86	8,53	71,99	3,09	853,13	135,49	NE	7,19

Πίνακας 3.3: Τα μετεωρολογικά στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Πρέβεζας



Εικ.3.2: Το διάγραμμα των κύριων τιμών της θερμοκρασίας (oC) ανά μήνα στην περιοχή του Ξηρόμερου (Μετεωρολογικός σταθμός Ακτίου (Πρέβεζας) για την περίοδο 1958 – 2010)

Εικ.3.3: Το διάγραμμα των τιμών της υγρασίας (%) ανά μήνα στην περιοχή του Ξηρόμερου (Μετεωρολογικός σταθμός Ακτίου (Πρέβεζας) για περίοδο 1958 – 2010)



Εικ.3.4: Το διάγραμμα των κύριων τιμών της θερμοκρασίας (oC) ανά μήνα στην περιοχή του Ξηρόμερου (Μετεωρολογικός σταθμός Αγρίνιου για την περίοδο 1958 – 2010)

Εικ.3.5: Το διάγραμμα των τιμών της υγρασίας (%) ανά μήνα στην περιοχή του Ξηρόμερου (Μετεωρολογικός σταθμός Ακτίου (Πρέβεζας) για την περίοδο 1958 – 2010)

Το κλίμα της Δυτικής Ελλάδας, ανήκει στο Μεσογειακό μακρόκλιματολογικό χώρο με κυριότερα χαρακτηριστηκά: ήπιους και υγρούς χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια με μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Το Ξηρόμερο, από κλιματολογικής πλευράς μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο περιοχές:

- στις χαμηλού υψομέτρου περιοχές όπου τα καλοκαίρια είναι θερμά και ξηρά, με ελάχιστη βροχή και σπάνιες εκδηλώσεις ραγδαίων βροχών ή καταιγίδων μικρής διάρκειας.

- στα μεγαλύτερα υψόμετρα, στα ορεινά της Αιτωλοακαρνανίας, όπου τα καλοκαίρια είναι δροσερά ενώ οι χειμερινοί μήνες χαρακτηρίζονται από χιόνια και κρύο. Η χειμερινή περίοδος διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερινή διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα σαν “ Αλκυονίδες ημέρες”.

- Η μέση σχετική υγρασία παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή της κατά τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, και Ιανουάριο, ενώ την ελάχιστη κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Η μέση ετήσια τιμή της κυμαίνεται από 74,6% τον Δεκέμβριο, μέχρι 50,6% τον Αύγουστο.

- Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται σε μμ. Η βροχόπτωση δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη στη διάρκεια του έτους. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 87,7% και πέφτει κατά τη διάρκεια Σεπτεμβρίου-Απριλίου, ενώ το υπόλοιπο 12,3% κατά το ξηροθερμικό τετράμηνο Μαΐου-Αυγούστου. Τα Ακαρνανικά Όρη δέχονται μεγάλες

βροχοπτώσεις (άνω των 1000 χιλιοστών) το χρόνο. Αναφερόμενοι στους παγετούς παρατηρούμε ότι οι πρώτοι εμφανίζονται το μήνα Δεκέμβριο και οι τελευταίοι το μήνα Μάρτιο.

- Οι χιονοπτώσεις στην περιοχή μελέτης είναι πολύ σπάνιες.

- Οι άνεμοι που επικρατούν κατά την διάρκεια του καλοκαιρού είναι βορειοδυτικοί, ενώ τον υπόλοιπο χρόνο νότιοι - νοτιοδυτικοί και βόρειοι – βορειοδυτικοί.

3.5. Γεωργία – Καλλιέργειες

Η περιοχή του Ξηρόμερου χαρακτηρίζεται αγροτική και κτηνοτροφική. Οι κάτοικοί της ασχολούνται κυρίως με την κτηνοτροφία λόγω του ήπιου κλίματος και της χαρακτηριστικής μορφολογίας του πεδινού τμήματος της περιοχής που διευκολύνει τη ντόπια παραγωγή αιγοπροβάτων, βοοειδών και χοιρινών, κυρίως λόγω της ύπαρξης πολλών βοσκοτόπων. Επίσης, έχουμε και παραγωγή τυριού η οποία τροφοδοτεί την ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας. Εξ αιτίας του εμφανούς προβλήματος με την ύδρευση των καλλιεργειών, παρατηρείται συγκέντρωση της γεωργίας μόνο στις πεδιάδες των καρστικών μορφών. Λόγω των συγκριτικών πλεονεκτημάτων όπως το κλίμα και η σύσταση του εδάφους δίνουν τη δυνατότητα παραγωγής προϊόντων όπως καλλιέργειες καλαμποκιών, βάμβακος, τριφυλλιού, εσπεριδοειδών και βρώσιμων προϊόντων. Αυτό οφείλεται στην καταλληλότητα του εδάφους και στην ύπαρξη νερού δεξαμενών και των λιγοστών πηγαδιών και πηγών. Σημαντική θέση στην αγροτική ζωή της περιοχής κατέχει και η καπνοκαλλιέργεια από την οποία και παράγονται τα ονομαστά καπνά του Ξηρόμερου.

3.6. Χλωρίδα

Οι πεδινές εκτάσεις καταλαμβάνονται στο μεγαλύτερο τους μέρος από γεωργικές καλλιέργειες, βαμβάκι, καλαμπόκι, καπνά. Νησίδες φυσικής βλάστησης εμφανίζονται κυρίως στις υγροτοπικές περιοχές. Οι κύριοι παράγοντες, που επηρεάζουν τη μορφή και τη σύνθεση της βλάστησης στις περιοχές των υγροτόπων, είναι η υγρασία και η αλατότητα των εδαφών. Σε γενικές γραμμές διακρίνουμε τους παρακάτω τύπους φυτοκάλυψης:

Οι λόφοι και οι ημιορεινές ζώνες καλύπτονται ως επί το πλείστον με θαμνώδη αειθαλή βλάστηση, ενώ πολύ διαδεδομένη είναι η ελιά. Στους ασβεστολιθικούς όγκους, όπως τα Ακαρνανικά όρη και το Παναιτωλικό, μεγάλη εξάπλωση έχει το πουρνάρι, συχνά σμιλεμένο σε αναπάντεχες μορφές από τη μακρόχρονη επίδραση της βόσκησης, και οι μικροί αγκαθωτοί και αρωματικοί θάμνοι.

Οι ορεινές περιοχές φέρουν ένα σκουρόχρωμο μανδύα από κεφαλλονίτικα έλατα που στις τελευταίες δεκαετίες τείνουν να επεκταθούν και στις ζώνες που εγκαταλείπεται η παραδοσιακή ορεινή οικονομία: βοσκοτόπια και χωράφια σε πεζούλες.

Στην περιοχή τη μελέτης μπορούμε να παρατηρήσουμε τους παρακάτω τύπους βλάστησης:

α) Δάση (υψηλή βλάστηση) αείφυλλων πλατύφυλλων, δέντρων:

Χνοώδης δρύς, Αριά, Βελανιδιά, Σφεντάμι πεδινό, Φτελιά πεδινή, Αγριοκέρασα, Πλάτανος Ανατολικός. Λεύκη ή λευκή, Συκιά, Κουτσόπια, Γκορτσιά, Μελικουκκιά, Κοκκορεβιθιά, Φράξος όρνος.

β) Χαμηλή βλάστηση αείφυλλων πλατύφυλλων:

Κρανιά, Πουρνάρι, Φιλίκι, Κότουνος ή χρυσόξυλο ή Πουρνάρια, Παλίουρος ή αγκάθη του Χριστού, Βάτος ανδρότριχος, Βάτος, Κράτεγος-Μουρτζιά, Ιτιά, Ελιά Ευρωπαϊκή-Αγριελιά, Πιστάκια λεντίσκος-σχίνος, Καλυκοτόμη λαχονώδης ασπάλαθος, Δάφνη, Ερείκη δενρώδης-Ρείκι, Ερείκη δεσμανθής χαμορείκι, Αυγαριά, Βούρλα, Κολητσίδα-Μηδική, Σπάρτο, Αλισφακιά, Αγριοτριανταφυλλιά, φούσκα, Κισσός, Ρούσκουλο, Μυρτιά, Κουμαριά, Γλιστροκουμαριά, Ράμανος, Κλιματσίδα, Αγριάμπελος, Ιπομέα, Λαδανιό-Καλάμι, Πυκροδάφνη, Πυκράκανθος-Ερυθρή, Πυξάρι.

γ) Καλλιεργημένες εκτάσεις:

Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις πάνω στη βλάστηση είναι αυτές που σχετίζονται με τη βόσκηση, γεγονός που είναι ανεκτό για τη συνολική έκταση.

δ) Άγονες εκτάσεις:

Κυκλάμινο, Σπαράγγι, Φεστούκια η πρόβειος, Φτέρη, Πολυτρίχι, Ρίγανη, Αλογοθύμαρο, Ραδίκι, Θυμάρι, Αγρόπυρο Το ενδιάμεσο, Αγριστίδα η λευκή, Λόλιο πολυετές, Πόα η λειμώνιος, Πόα η βολβόρριζος. Φάλαρις, Τριφύλλι το λάσιον, Γαϊδουράγκαθο, Ζοχός, Λαψάνα, Χαμομήλι, Γαλατσίδα, Φλόμος η γαλατσίδα. Δγριοιιρέμμυδο, Αγριορίγανη, Αγριοτρίφυλλο, Σφερδούκλη ή Σπερδούκλη, Αγριάδα Κυνόδος δάκτυλος, Αγριάδα, Μουχρίτσα, Βέλιουρος, Κρόκος, Βερβερίτσα, Μπότσκα η σκυλοκρέμμυδο, Αγριοβρόμη-Βρόμος, Βίκος, Κολλητσίδα, Μηδική, Πικραγγουριά, Τριβόλια.

3.7. Πανίδα

Λόγω της ποικιλότητας που έχει η χλωρίδα (πυκνές συστάδες, λιβάδια διάσπαρτα στο δάσος, νερό) αλλά και λόγω της μικρής επιρροής από ανθρώπινες επεμβάσεις, είναι φυσικό να έχουμε αρκετά μεγάλο αριθμό ζώων στην περιοχή της μελέτης:

α) Τα θηλαστικά που συναντάμε είναι:

Αλεπού, κουνάβι, ασβός, αγριόγατα, νυφίτσα, λαγός, βίδρα. χελώνα, σκαντζόχοιρος, ποντίκια,... Ακόμη υπάρχουν γουρούνια και αγελάδες σε ημιάγρια κατάσταση, καθώς επίσης κατσίκες και πρόβατα.

β) Πτερωτή πανίδα:

Αετός, γύπας, ποντικοβαρβαρκίνα, κίρκος, κιρκινέζι, πεδινή πέρδικα, μπεκάτσα, φασσα, τσίχλα, κότσουβας αγριοπερίστερο, τρυγόνι, κούκος, μπούφος, γκιώνης, κουκουβάγια, κοράκι, κάργια, σταχτοκουρούνα, κίσσα, καρακάξα. Ακόμη συναντάμε σε αφθονία τα: κουτσιλιέρης, σταχτοσουσουράδα, κοκκινολαίμ ης, κέρδαινα, σπουργίτι, φλώρος.

Στην περιοχή υπάρχουν νερόφιδα οχιές, δεντρογαλιές, σαϊτούρες και σαύρες. Στα νερά των ποταμών μπορούμε να συναντήσουμε κεφαλοειδή γλυκών νερών. Συναντάμε, επίσης, και άγριες μέλισσες.

Οι πληροφορίες σχετικά με τη μελέτη της χλωρίδας και πανίδας της περιοχής αυτής προέρχονται από το Δασαρχείο Αμφιλοχίας: “Μελέτη δασικής αναψυχής του αισθητικού δάσους Τρύφου του δήμου Μεδεώνος’’, οι κύριοι: Γιαννέλος, Μακρής, Ντζιμάνης, Δασαρχείο Αμφιλοχίας, 2000.

4. ΚΑΡΣΤ ΚΑΙ ΓΣΠ

4.1. Καρστ και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

Για τη μελέτη και επεξεργασία της διδακτορικής διατριβής χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες της περιοχής του Ξηρόμερου.

Οι τοπογραφικοί χάρτες προμηθευτήκαν από την Γεωγραφική Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ). Η περιοχή μελέτης εντάσσεται στους τοπογραφικούς χάρτες των φύλλων Αμφιλοχία και Αστακός σε κλίμακα 1:50.000, καθώς σε είκοσι ένα τοπογραφικούς χάρτες σε κλίμακα 1:5.000: με αριθμούς 5168/5, 5168/6 5168/7 5168/8, 5178/1, 5178/2, 5178/3, 5178/4, 5178/5, 5178/6, 5178/7, 5178/8, 5179/1, 5179/3, 5179/5,5179/6, 5179/7, 5179/8, 5189/1, 5189/2, 5188/1, 5188/2. Στους γεωλογικούς χάρτες, σε κλίμακα 1:50.000, οι περιοχή μελέτης εντάσσεται στα φύλλα Αμφιλοχία και Αστακός.

Οι γεωλογικοί χάρτες της περιοχής της μελέτης προμηθευτήκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) (φύλλα Αμφιλοχία και Αστακός σε κλίμακα 1:50.000).

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) είναι συστήματα που αποθηκεύουν, αναλύουν, διαχειρίζονται και παρουσιάζουν στοιχεία που σχετίζονται με την τοποθεσία, περιλαμβάνοντας το λογισμικό για την ψηφιοποιημένη χαρτογράφηση και τη συλλογή των γεωγραφικών, γεωλογικών και γεωμορφολογικών δεδομένων, επιτρέποντας στους χρήστες να δημιουργούν και να συνδέουν ψηφιοποιημένους χάρτες με την ανάλυση χωρικών πληροφοριών, την επεξεργασία δεδομένων και να παρουσιάζουν τα αποτελέσματα όλων αυτών των ενεργειών.

Με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) έγινε συνδυασμός της χαρτογραφίας και των βάσεων δεδομένων των καρστικών περιοχών. Οι χωρικές λειτουργίες ανάλυσης και διαμόρφωσης καθώς και οι τεχνολογίες του Geospatial και του Ιστού οδήγησαν στη δημιουργία χαρτών υψηλής ποιότητας, στη χαρτογράφηση, διαχείριση, συντήρηση, ανάλυση, ανακάλυψη και κατανόηση των καρστικών μορφών και των σχέσεων των επιφανειακών και υπόγειων μορφών του καρστικού περιβάλλοντος.

Με τις υπηρεσίες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριακών (GIS) διαχωρίσαμε τα ψηφιακά γεωγραφικά, γεωλογικά και γεωμορφολογικά δεδομένα που καλύπτουν την περιοχή μελέτης του Ξηρόμερου. Η βάση αυτών των ψηφιακών δεδομένων περιλαμβάνει σκαναρισμένα και ψηφιοποιημένα χαρτογραφικά υπόβαθρα και συνοδευτικά στοιχεία που δημιουργήθηκαν σε ξεχωριστά «layers» για την καλύτερη χρήση και κατανόησή τους.

Ι ΦΑΣΗ

4.2. Δημιουργία ψηφιοποιημένου μοντέλου του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής μελέτης

- **Η μετατροπή των συντεταγμένων:**

Το πρώτο βήμα για την επεξεργασία των τοπογραφικών χαρτών 1:5.000 της περιοχής μελέτης, ήταν η σάρωση των ιδίων σε μορφή **.TIFF**. Χρησιμοποιήθηκε το νέο γεωδαιτικό συστήματα αναφοράς **(ΕΓΣΑ'87)** του Ελληνικού χώρου, των τοπογραφικών χαρτών από το παλαιό προβολικό σύστημα **HATT**. Αυτή η μετατροπή έγινε μέσω του προγράμματος **COORD.GR**.

- **Γεωαναφορά των δεδομένων:**

Στην συνέχεια η γεωανοφόρα των νέων συντεταγμένων καθώς και η ψηφιοποίηση των ισοϋψών και ανάλογων τους υψομετρικών τιμών των τοπογραφικών χαρτών με κλίμακα **1:5.000** της περιοχής του Ξηρόμερου πραγματοποιηθήκαν στο πρόγραμμα **Abel Software R2V** (Advanced Raster to Vector Conversion Software) και αποθηκευτήκαν σε τύπο αρχείου **.PRJ**. Οι ισοϋψείς του κάθε τοπογραφικού χάρτη ψηφιοποιήθηκαν ξεχωριστά και ανά 4 μέτρα (ή 2 μέτρα). Μέσω του προγράμματος **R2V** με αυτόματο τρόπο μετατράπηκαν τα αρχεία τύπου **.PRJ** σε μορφή **.SHP** για την μετέπειτα επεξεργασία τους στο πρόγραμμα **ArcGIS**.

Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα **ArcGIS Info Version 9.2 και Version 9.3.1** για την τελική επεξεργασία των τοπογραφικών χαρτών και εφαρμογή του ψηφιοποιημένου μοντέλου του γεωλογικό - τεκτονικού, χρήση γης, γεωμορφολογικού, υδρολογικού και 3D μοντέλου της περιοχής μελέτης.

- **Σύνδεση και επεξεργασία των ψηφιοποιημένων ισοϋψών:**

Η σύνδεση και επεξεργασία των ψηφιοποιημένων ισοϋψών από το πρόγραμμα **R2V** έγινε στο πρόγραμμα **Arc GIS Info 9.2.**, Arc Map. Δημιουργήθηκε νέος ενωμένος και ευρύς χάρτης νέο της περιοχής μελέτης, ένα καινούριο αρχείο τύπου.SHP με ψηλή ανάλυση, με ενωμένα τα αρχεία των ψηφιοποιημένων ισοϋψών τους και των ανάλογων υψομετρικών τιμών τους. Η δημιουργία του καινούριου ενωμένου **.SHP** έγινε με χρήση των εργαλειοθηκών: **Arc Toolbox → Data Management Tools → General → Append.** Η ένωση των ισοϋψών με τις αντίστοιχες

άκρες των συνεχιζόμενων ισοϋψών τους έχει γίνει με χρήση των εργαλειοθηκών: **Editor → Edit Tool → Advanced Editing → Extend Tool.** Οι συνεχόμενες ισοϋψείς ενώθηκαν άλλα υπήρχε μια περισσευούμενη ουρά. Η κοπή της περισσευούμενης ουράς έγινε με το εργαλείο **Trim Tool**. Στην συνέχεα η τελική ένωση των γραμμών των ισοϋψών και των υψομετρικών τιμών έγινε με την εργαλειοθήκη: **Μενού Edit → Merge.**

- **Ψηφιοποίηση των τριγωνομετρικών σημείων:**

Αρχικά δημιουργήθηκε καινούριο layer από το **Arc Catalog: New → Shapefile (feature type – point).** Στην συνέχεια ψηφιοποιούνται τα τριγωνομετρικά σημεία με την εργαλειοθήκη: **Arc Map → Editor → Sketch Tool.**

Οι προαναφερόμενες κινήσεις είναι βασικές για την προϋπόθεση δημιουργίας ψηφιοποιημένου μοντέλου των τοπογραφικών χαρτών που στην συνέχεια χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία και δημιουργία επομένων χαρτών και βάσεων δεδομένων.

- **Δημιουργία του υδροκρίτη της περιοχής μελέτης:**

Από την οπτική ανάλυση των τοπογραφικών χαρτών δημιουργήθηκε ο υδροκρίτης της περιοχής μελέτης με την χρήση των εργαλείων: **Arc Catalog: New → Shapefile (feature type – polyline).**

Από την γραμμική μορφή του .shp του υδροκρίτη δημιουργήθηκε πολυγωνικό .shp: **Arc Toolbox → Data Management Tools → Feature To Polygon**

- **Αποκοπή των ισοϋψών και τριγωνομετρικών σημείων σε όρια του υδροκρίτη:**

Η αποκοπή των ψηφιοποιημένων ισοϋψών και τριγωνομετρικών σημείων στα όρια του υδροκρίτη της περιοχής μελέτης έγιναν σε συνδυασμό των ψηφιοποιημένων ισοϋψών με πολυγωνικό .shp του υδροκρίτη της περιοχής μελέτης με την χρήση: **Arc Toolbox → Analysis Tools → Extract → Clip**

Στην συνέχεια για την δημιουργία των ψηφιακών δεδομένων και χαρτών χρησιμοποιήθηκαν ισοϋψείς και τοπογραφικά σημεία των νέων δημιουργημένων αρχείων (**Clip.shapefiles**).

- **Δημιουργία του χάρτη υψομετρικών επίπεδων ανά 100m:**

Από τα νέα δεδομένα των ψηφιοποιημένων ισοϋψών της περιοχής μελέτης έγινε χρωματική επεξεργασία των υψομετρικών επίπεδων ανά 100m από το **Table of Contents → Layer Properties → Symbology → Graduated colors (Classes = 13)**.

ΙΙ ΦΑΣΗ

4.3. Δημιουργία τρισδιάστατου (3D) χάρτη με οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης (Εικόνα 3.1)

- **Δημιουργία της τρισδιάστατης εικόνας**

Δημιουργία της τρισδιάστατης εικόνας, σε μορφή του .**TIN Dataset**, της περιοχής μελέτης έγινε με την χρήση εργαλείων: **3D Analyst → Create/Modify TIN → Create TIN From Feature (layers: .shp των τριγωνομετρικών σημείων, .shp ισοϋψών, .shp πολύγωνο του υδροκρίτη).**

Στην συνέχεια από το **Table of Contents → TIN → Properties → Symbology → Elevation → Classification = 13,** ορίσαμε αλλαγή στην εμφάνιση των χρωμάτων ανά 100m.

- **Ψηφιοποίηση των οικισμών**

Η ψηφιοποίηση και δημιουργία της βάσης δεδομένων των οικισμών της περιοχής μελέτης έγινε με τη δημιουργία δυο καινούριων layer από το **Arc Catalog: New → Shapefile (feature type –polygon)** και στην συνέχεια με την χρήση της εργαλειοθήκης: **Arc Map → Editor → Sketch Tool.**

- **Ετικετοποίηση ονομάτων των οικισμών**

Ψηφιοποίηση και δημιουργία της βάσης δεδομένων των ονομάτων των βουνών και οικισμών της περιοχής μελέτης έγιναν με την δημιουργία καινούριου layer από το **Arc Catalog: New → Shapefile (feature type – polyline)** και στην συνέχεια με την χρήση της εργαλειοθήκης: **Labeling → Use Maplex Label Engine.**

- **Ψηφιοποίηση των δρόμων**

Η ψηφιοποίηση και δημιουργία της βάσης δεδομένων των δρόμων της περιοχής μελέτης έγιναν με τη δημιουργία δυο καινούριων layer από το **Arc Catalog: New → Shapefile (feature type – polyline)** και στην συνέχεια με την χρήση της εργαλειοθήκης: **Arc Map → Editor → Sketch Tool.**

- **Δημιουργία τις τρισδιάστατης εικόνας με χρήση ArcScene**

Η χρήση του **ArcScene** (3D εφαρμογή οπτικοποίησης που δείχνει GIS δεδομένα σε τρεις διαστάσεις) επίτρεψε την δημιουργία μιας τρισδιάστατης εικόνας από το **.DEM** που χρησιμοποιώντας διαφορετικά μπορεί να εμφανιστεί σε πολλαπλές οπτικές γωνίες.

Οι βασικές ρυθμίσεις που έγιναν είναι από το **Table of Contents:**

→ **Layer Properties** → **Base Heights** (επιλογή του: **Obtain heights for layer from surface**)

→ **Layer Properties** → **Symbology** → **Classified**,…

→ **Scene Properties** → **General** → **Vertical Exaggeration = 2**

ΙΙΙ ΦΑΣΗ

4.4. Δημιουργία ψηφιοποιημένου μοντέλου των γεωλογικών χαρτών της περιοχής μελέτης (Εικόνα 6.2)

Η γεωαναφορά των συντεταγμένων, η ψηφιοποίηση και δημιουργία της βάσης δεδομένων των γεωλογικών χαρτών, σε κλίμακα 1:50.000, της περιοχής μελέτης έγιναν με τη χρήση του προγράμματος **Arc GIS Info 9.2.** Οι γεωαναφορά έγινε για κάθε σχηματισμό όπως και για κάθε μορφή, σε ξεχωριστό layer. Για τους γεωλογικούς σχηματισμούς των πετρωμάτων δημιουργήθηκαν layers για κάθε ένα με χρήση του **Arc Catalog: New → Shapefile** με **feature type – polygon**, το ίδιο για τα διαφορετικά γεωλογικά σχήματα, όπως ρήγματα, κ.ά **Arc Catalog: New → Shapefile** με **feature type – polyline**. Ψηφιοποίηση έγινε με την εργαλειοθήκη: **Arc Map → Editor → Sketch Tool.** Στην συνέχεια προσαρμοστήκαν τα γεωλογικά σύμβολα σχετικά με το τύπο του πετρώματος ή τον τύπο σχηματισμού που αντιπροσωπεύει.

IV ΦΑΣΗ

4.5. Δημιουργία του ψηφιοποιημένου μοντέλου του χάρτη των καρστικών μορφών της περιοχής μελέτης (π.χ.: Εικόνες: 7.21, 7.22)

Αρχικά έγινε αναγνώριση των καρστικών μορφών: δολίνων, ουβάλων, πολγών και χουμ από τους τοπογραφικούς χάρτες της περιοχής μελέτης.

- **Δημιουργία βάσης ψηφιακών δεδομένων των καρστικών μορφών**

Για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά δημιουργήθηκαν νέα αρχεία από το **Arc Catalog: New → Shapefile (feature type –polyline).**

Στην συνέχεια έγινε η μετατροπή τους σε αντίστοιχα **polygon .shp** από το εργαλείο του **Arc Toolbox → Data Management Tools → Feature To Polygon.**

- **3D εικόνες των κύριων καρστικών μορφών.**

Δημιουργία της τρισδιάστατης εικόνας των καρστικών μορφών της περιοχής μελέτης, σε μορφή του .**TIN Dataset**, έγινε με την χρήση εργαλείων για κάθε μια μορφή ξεχωριστά: **3D Analyst → Create/Modify TIN → Create TIN From Feature (layers: .shp των τριγωνομετρικών σημείων, .shp ισοϋψών, .shp πολύγωνο της μορφής).**

Χρησιμοποιώντας τη 3D βάση δεδομένων (geodatabase) υπολογίστηκε ο αριθμός των καρστικών μορφών σε σχέση με το τύπο τους και την υψομετρική διάφορα ή βάθος των πολγών και των μεγαλύτερων δολινών. Επίσης έγινε και ταξινόμηση των καρστικών μορφών σε σχέση με τον τύπο τους και τρόπο της εξέλιξης τούς.

Ο υπολογισμός της τρισδιάστατης επιφάνειας (m^2) και όγκου (m^3) για κάθε μια καρστική μορφή (δολίνα, ουβάλα, πόλγη) ξεχωριστά έγινε με την χρήση της **3D** εικόνας (**.TIN**) της κάθε μιας και της εργαλειοθήκης: **Arc Map → 3D Analyst → Area and Volume Statistics.**

V ΦΑΣΗ

4.6. Υδρολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης

- **Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου .DEM από τις ισοϋψείς και τα τριγωνομετρικά σημεία**

Τα ψηφιοποιημένα δεδομένα που δημιουργήθηκαν για τις ισοϋψείς με ανάλογες υψομετρικές τιμές τους και τα ψηφιοποιημένα τριγωνομετρικά σημεία χρησιμοποιηθήκαν για τη δημιουργία του .**DEM** με τη χρήση της εργαλειοθήκης: **Arc Toolbox → Spatial Analyst Tools → Interpolations → Topo to Raster**, επίσης και από: **Arc Map → 3D Analyst → Convert → TIN to Raster.**

Το τοπικό ψηφιακό μοντέλο εδάφους υψηλής ανάλυσης (**.DEM**) είναι ένας κάνναβος δειγματοληψίας ή μια ψηφιδωτού τύπου (raster) αναπαράσταση της συνεχούς τοπογραφικής επιφάνειας (De Mers, 2000). Η αναπαράσταση της επιφάνειας της γης γίνεται με την κατανομή των αριθμητικών τιμών που αντιστοιχούν στις τιμές των αντίστοιχων υψομέτρων στα κελιά του καννάβου (grid) του .DEM και λαμβάνονται πληροφορίες για τα υψόμετρα του συνόλου της περιοχής μελέτης.

Το αρχείο **.DEM** στην συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία του Raster Dataset του πεδίου των καταβοθρών όπως και του γραμμικού .shp πλασματικού υδρολογικού δικτύου ρεμάτων της περιοχής μελέτης.

- **Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου των καταβοθρών (Εικόνα 7.27)**

Με την επεξεργασία του Digital Elevation Model **(.DEM)** και τη χρήση των εργαλείων της εργαλειοθήκης του **Spatial Analyst Tools → Hydrology →** δημιουργήθηκε το:

- Flow direction - Κατεύθυνση της ροής
- Flow accumulation - Συσσώρευση της ροής
- Sink (αναγνώριση καταβοθρών) και Fill («γέμισμα» καταβοθρών)

- **Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου του «πλασματικού» υδρολογικού δικτύου -**

Στην συνέχεια με τη χρήση των εργαλείων του **Spatial Analyst Tools → Hydrology → Stream Network; Stream Link; Stream Order,** και την επεξεργασία των Raster Dataset δεδομένων τους δημιουργήθηκε:

- Stream to Feature - Το «πλασματικό» δίκτυο ρεμάτων ως .shapefile

VI ΦΑΣΗ

4.7. Δημιουργία του ψηφιοποιημένου μοντέλου του γεωμορφολογικού χάρτη των καρστικών μορφών της περιοχής μελέτης (παράρτημα: Καρστ Γεωμορφολογικός Χάρτης της περιοχής του Ξηρόμερου)

Το ψηφιοποιημένο μοντέλο του γεωμορφολογικού χάρτη δημιουργήθηκε με συνδυασμό των διαφορετικών «layers» που έχουν ήδη δημιουργηθεί.

Στη βάση του γεωμορφολογικού χάρτη τοποθετείται από το **ArcMap → Add data**, το «layer» του γεωλογικού χάρτη της περιοχής μελέτης με διαφορετικά γεωλογικά στρώματα (polygon .shp), ρήγματα (polyline .shp) και πιθανά ρήγματα (polyline .shp).

Στην συνέχεια, από πάνω, τοποθετείται ο υδροκρίτης (polyline .shp) της περιοχής μελέτης.

Στο τελευταίο και ανώτερο «layer» τοποθετούνται οι καρστικές μορφές όπως δολίνες (polygon .shp), ουβάλες (polygon .shp), πόλγες (polyline .shp), χουμ (point .shp), της περιοχής μελέτης.

Η προσαρμογή των συμβόλων των διαφορετικών shapefiles του γεωμορφολογικού χάρτη έγινε από το **Symbol → Selector More Symbols (Cave, Geology 24K)** και με την προσαρμογή αυτών των συμβόλων ανάλογα με το μέγεθός τους και την έννοιά τους στον χάρτη. Η επιλογή αυτών των συμβόλων βασίστηκε στην προσπάθεια να δημιουργηθεί καρστικός – γεωμορφολογικός χάρτης που διαβάζεται και κατανοείται εύκολα με απλά σχηματισμένα σύμβολα και χρώματα.

VII ΦΑΣΗ

4.8. Δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του χάρτη Χρήσεων Γης της περιοχής μελέτης (Εικόνες 9.2, 9,4)

Με βάση την εξερεύνηση του υπαίθρου και τις πληροφορίες από την δορυφορική εικόνα του Google Earth 2011 έγινε η ανίχνευση, συμπλήρωμα και ποσοτικοποίηση των ψηφιακών δεδομένων του προγράμματος Corine Land Cover 2000 (έκδοση 13; 02/2010, που οργανώνεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή) και δημιουργήθηκαν νέοι χάρτες των Χρήσεων Γης της περιοχής μελέτης.

Αρχικά επιλέχτηκαν δεκατρείς (13) κατηγορίες των χρήσεων γης που οι πληροφορίες τους αντιστοιχούν στην περιοχή μελέτης, στην συνέχεια έγινε «download» των ψηφιακών δεδομένων τους, σε μορφή polygon .shp, από το προγράμμα Corine Land Cover 2000.

Στην συνέχεια έγινε αποκοπή αυτών των πολυγώνων με όρια του υδροκρίτη της περιοχής μελέτης από το **Arc Toolbox → Analysis Tools → Extract → Clip.**

Ο υπολογισμός των εκτάσεων (km^2) της επιφάνειας μελέτης και για το κάθε πολύγωνο ξεχωριστά έγιναν από το **Arc Toolbox → Spatial Statistic Tools → Utilities → Calculate Areas.**

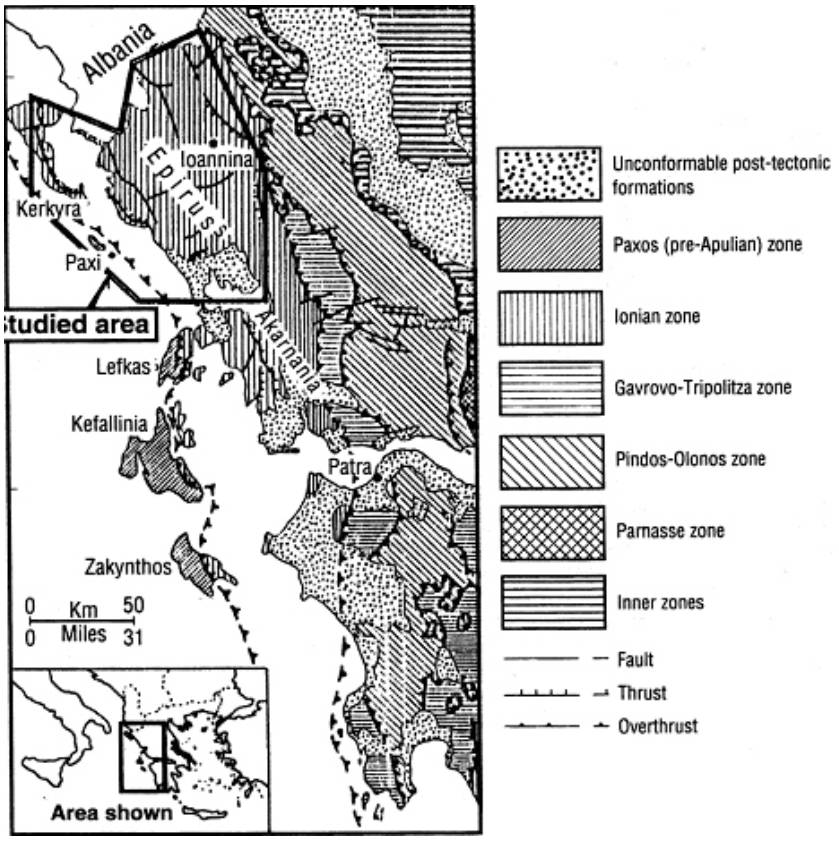
- **Δημιουργία του χάρτη της συνοπτικής κατανομής των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης**

Η ομαδοποίηση των προαναφερόμενων κατηγοριών έγινε με τη χρήση των εργαλείων του **ArcMap → Editing → Start editing → Union** των **.shp polygons**, όπου έχει γίνει ένωση των διαφορετικών κατηγοριών σε σχέση με το τύπο και την χρήση τους σε τρεις κύριες κατηγορίες.

5. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

5.1. Γεωλογία – Τεκτονική

Η περιοχή μελέτης είναι εντός της Εσωτερικής Ιονίου ζώνης όπου παρουσιάζεται το μεγάλο σύγκλινο Ηπείρου-Ακαρνανίας που υποδηλώνει την επώθηση του τεκτονικού καλύμματος της Πίνδου (Εικόνα 5.1). Η Ιόνιος ή Αδριατικοϊόνιος γεωλογική ζώνη ανήκει στην Εξωτερική Ζώνη των Ελληνίδων και εκτείνεται στα δυτικά της ηπειρωτικής Ελλάδας και εμφανίζεται επίσης στο δυτικό άκρο της Πελοποννήσου, στην Πελοπόννησο, στην Κρήτη, στην Κάρπαθο και στη Ρόδο. Η κατεύθυνση της Ιονίου Ζώνης είναι ορισμένη με πρωτογενή τεκτονικά χαρακτηριστικά, μεγάλα ρήγματα με κατεύθυνση ανατολικά προς δυτικά και βορειοανατολικά-νοτιοδυτικά και αντίστροφα και κανονικά ρήγματα με κατεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά.



Εικ.5.1: Γεωλογικός χάρτης της βορειοδυτικής Ελλάδας με την εμφάνιση των γεωλογικών ζωνών , (Καρακίτσος, 1995)

Βασική σημασία για την τεκτονική ανάλυση της περιοχής του Ξηρόμερου έχουν τα επιμήκη ρήγματα με διεύθυνση βόρειο-βορειοδυτικά προς νότιο-νοτιοανατολικά, τα οποία είναι είτε

ρήγματα ανάστροφα, είτε ρήγματα κανονικά, μεταγενέστερα, που προκάλεσαν επίσης και το σχηματισμό των μεγάλων-λεκανών στο χώρο της Ηπείρου, Δυτικής και Στέρεας Ελλάδας. Σχηματισμοί αυτών των ρηγμάτων διακόπτουν τα οριζόντια ρήγματα, τα οποία σχηματίστηκαν αρχικά στην διάρκεια της τελικής πτύχωσης κάθετα προς στους άξονες των μέγα-πτυχών. Αυτά τα ρήγματα δεν παρουσιάζουν συστηματικότητα στα κινηματικά τους χαρακτηριστικά.

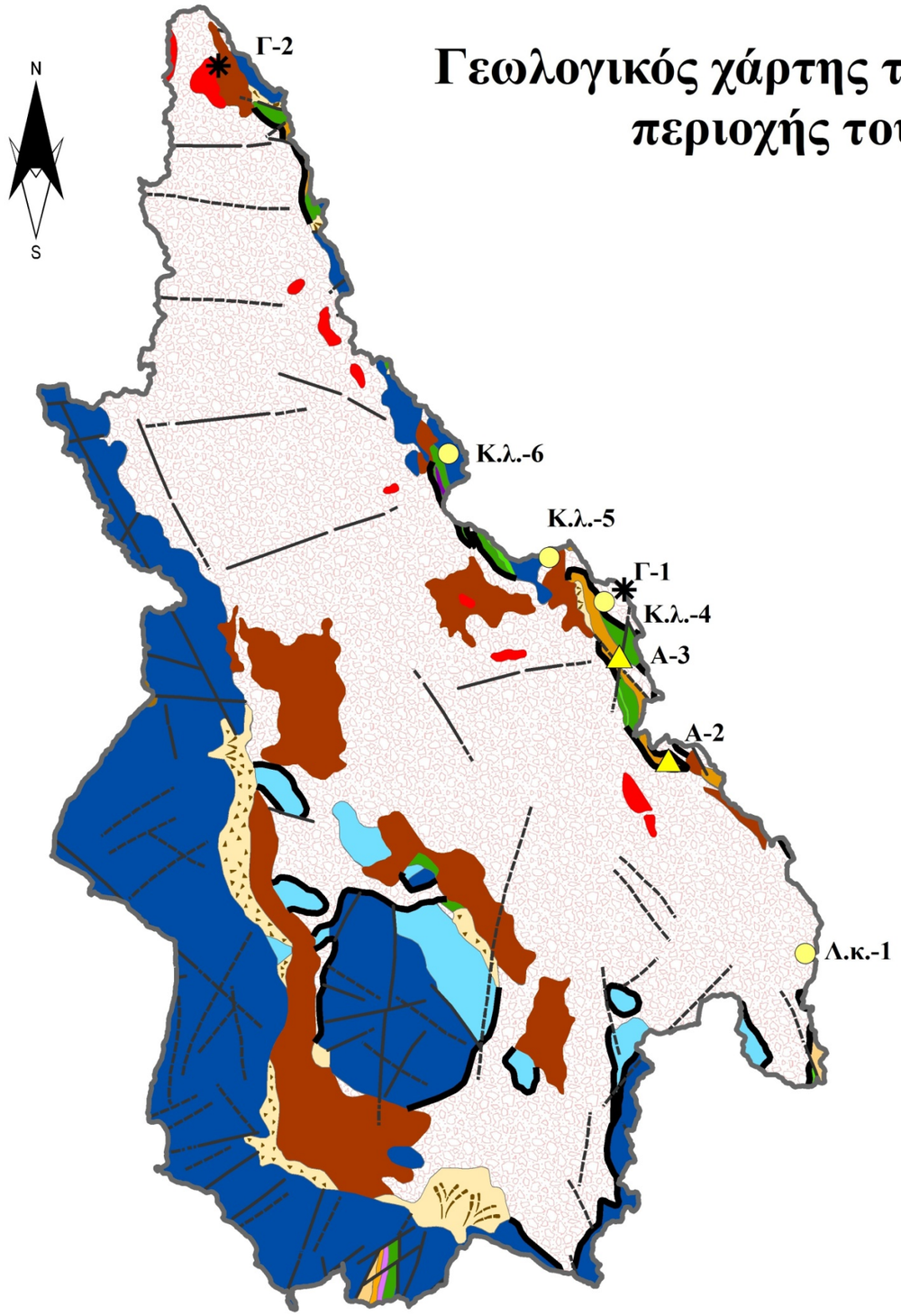
Στη ζώνη των κροκαλολατυποπαγών τα ρήγματα της περιοχής του Ξηρόμερου είναι πλαγιοκανονικά και αριστερόστροφα και απλώνονται στην ανατολική πλευρά των περιοχών μελέτης. Αυτά τα ρήγματα είναι, από το βόρειο-βορειοδυτικά προς νότιο-νοτιοανατολικά, το ρήγμα ΚΑΤΟΥΝΑΣ (Λουτράκι, Τρύφος, Κατούνα, Κονοπίνα — 30km μήκος) και το ρήγμα ΟΖΕΡΟΥ (Γίαππαδάτος, Φυτείες, Ρίγανη, Γουριώτισσα 12km μήκος), τα οποία έχουν εκτίμηση άλματος μεγαλύτερη από 200m. έχουν ενεργό χαρακτήρα και σεισμικό δυναμικό σε Richter περίπου 6,1^{o}.

Στην περιοχή μελέτης έχουμε το δίκτυο των πιθανών ενεργών οριζοντίων ρηγμάτων, τα οποία σχηματίστηκαν αρχικά στη διάρκεια της τελικής πτύχωσης κάθετα στους άξονες των μεγαπτυχών. Αυτά τα ρήγματα δεν παρουσιάζουν συστηματικότητα ούτε στα γεωμετρικά ούτε στα κινηματικά τους χαρακτηριστικά.

5.2. Χημική και ορυκτολογική ανάλυση των πετρωμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου

Για την μελέτη των πετρωτών έγινε η συλλογή των δειγμάτων των ασβεστόλιθων, ασβεστολιθικών κροκαλολατυποπαγών και γύψου. Οι θέσεις των δειγματοληψιών είναι αποτυπωμένες στο Γεωλογικό χάρτη (Εικόνα 5.2) της περιοχής μελέτης.

Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, περιοχής του Ξηρόμερου



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Καρστική λεκανή
- Δείγματσ κροκαλολατυποπαγών
- Δείγματα ασβεστόλιθου
- Δείγματα γύψου
- Ρήγμα
- Πιθανό ρήγμα
- Ανώμαλη τεκτονική επαφή
- Πλευρικά κορήματα-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
- Παλαιοί, νέοι κώνοι κορημάτων-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
- Κοκκινοχώματα-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
- Φλύσχης-ΑΝΩΤ. ΗΩΚ.-ΟΛΙΓΟΚ.-ΜΕΙΟΚ.;
- Κερατόλιθ., πυριτ. σχιστόλι.-ΑΛΒ.-ΚΕΝΟΜ.-ΤΟΥΡ.
- Πυριτικοί σχιστόλιθοι-ΔΟΓΓΕΡΙΟ
- Ασβεστόλιθοι-ΗΩΚΑΙΝΟ
- Ασβεστόλιθοι-ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ
- Ασβεστόλιθοι-ΣΕΝΩΝΙΟ
- Ασβεστόλιθοι Βίγλας-ΜΑΛΜΙΟ-ΑΛΒΙΟ
- Ασβεστόλ. AmmoniticoRosso-ΛΙΑΣ.-ΜΑΛΜ.-ΔΟΓΓ.
- Δολομίτες-ΤΡΙΑΔΙΚΟ
- Ασβεστόλ. Παντοκράτορα-ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΔΟΓΓΕΡΙΟ
- Κροκαλολατυποπαγή-ΤΡΙΑΔΙΚΟ
- Γύψος-ΤΡΙΑΔΙΚΟ

0 2.000 4.000 8.000 m

Εικόνα 5.2

5.2.1. Χημική ανάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων των πετρωμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου διενεργήθηκε στο εργαστήριο Χημικού Ελέγχου Μεταλλευμάτων - Πετρωμάτων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών της Ελλάδας (Πίνακες 5.1,5.2).

Πίνακας 5.1: Έκθεση αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των πετρωμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου

Α/α	Κωδ. Δειγμ.	Περιγρ. Δειγμ.	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	LOI
1	2336	1	11,0	1,00	0,85	48,50	0,16	37,1
2	2337	2	12,50	0,65	0,75	48,00	0,20	36,5
3	2338	3	1,60	0,30	0,70	54,50	0,25	41,3
4	2339	4	15,50	1,10	1,10	45,50	0,26	35,5

Τα αποτελέσματα εκφράζονται % σε ξηρά ουσία

α) Για την ανάλυση των παραπάνω δειγμάτων εφαρμόστηκε εσωτερική μέθοδος.

β) Με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ, με τη μέθοδο της διαφορικής θερμικής ανάλυσης και με τη μέθοδο της χημικής ανάλυσης, στην περίπτωση του κονιοποιημένου δείγματος.

Πίνακας 5.2: Έκθεση αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των κροκαλολατυποπαγών της περιοχής του Ξηρόμερου

Α/α	Κωδ. Δειγμ.	Περιγρ. Δειγμ.	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	S	LOI
1	3937	No-5-KROK	10.20	0.17	0.50	54.00	0.42	<0.01	42.8
2	3938	No-5-ΤΣΙΜ	3.10	0.33	0.60	53.00	0.40	<0.01	41.7
3	3939	No-6-KROK	0.50	0.10	0.10	54.40	0.25	<0.01	43.5
4	3940	No-6-ΤΣΙΜ	3.00	0.66	1.30	52.00	0.25	<0.01	41.7

*Τα αποτελέσματα εκφράζονται % σε ξηρά ουσία

α) Για την ανάλυση των παραπάνω δειγμάτων εφαρμόστηκε εσωτερική μέθοδος.

β) Με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ, με τη μέθοδο της διαφορικής θερμικής ανάλυσης και με τη μέθοδο της χημικής ανάλυσης, στην περίπτωση του κονιοποιημένου δείγματος.

5.2.2. Ορυκτολογική ανάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων των πετρωμάτων της περιοχής του Ξηρόμερου είναι εφαρμοσμένη στο εργαστήριο Ορυκτολογίας - Πετρολογίας του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών της Ελλάδας.

- **Δείγμα Δ1 αποτελείται από:**

Λατυποκροκαλοπαγή τα οποία αποτελούνται από τους:

- λατύπες από ασβεστόλιθο με μικρό-κρυσταλλικό ασβεστίτη,
- λατύπες από ασβεστόλιθο με σπαρτικό ασβεστίτη που κατά θέσεις έχει γίνει μάρμαρο.

Το συνδετικό υλικό των λάτυπο-κροκαλοπαγών αποτελείται από το μικρό-σπαρτικό ασβεστίτη.

- **Δείγμα Δ2 αποτελείται από:**

Ασβέστιο με πυρίτιο, ενώ έχει και κρυστάλλους χαλαζία.

- **Δείγμα Δ3 αποτελείται από:**

Ασβεστόλιθους οι όποιοι αποτελούνται από μικρό σπαρτικούς και μοιάζει με το δείγμα Δ4, όπου κατά θέση γίνονται μικρό σπαρτικοί. Μέσα σε αυτό το δείγμα υπάρχουν και ορισμένα οξείδια σιδηρού.

- **Δείγμα Δ4 αποτελείται από:**

Κροκαλοπαγή τα οποία αποτελούνται από:

α) τις κροκάλες οι οποίες είναι λατύπο-ματοφόρο ασβεστόλιθος μικρό-κρυσταλλικός και σπαρτικός

Το συνδετικό υλικό είναι ασβεστιτικό, αποτελείται από μικρό – σπαρτικοί ασβεστίτη.

Επίσης έχουν και ελάχιστα τεμάχια από πυριτικό υλικό (χαλαζιακό υλικό).

β) τους ασβεστόλιθους οι όποιοι είναι μικρό-σπαρτικοί, συμπαγείς και ομοιογενείς.

γ) μεταξύ των κροκαλών και των ασβεστολίθων περνάει μια φλέβα η οποία αποτελείται από σπαρτικό ασβεστίτη.

- **Δείγμα Δ5- είναι:**

Δ5 = 5-κροκάλες + 5-τσιμέντο

- **Δείγμα Δ6- είναι:**

Δ6 = 6-κροκάλες + 6-τσιμέντο

5.2.3. Χημική ανάλυση των γύψων της περιοχής του Ξηρόμερου

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων των πετρωμάτων της γύψου της περιοχής του Ξηρόμερου διενεργήθηκε στο εργαστήριο Χημικού Ελέγχου Μεταλλευμάτων - Πετρωμάτων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών της Ελλάδας για τις ανάγκες της βιομηχανίας Knauf Γυψοποιία SAIC, της Εταιρείας KNAUF ΕΛΛΑΣ (Πίνακας 5.3).

Πίνακας 5.3: Έκθεση αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των πετρωμάτων της γύψου της περιοχής του Ξηρόμερου υπέρ της Εταιρείας KNAUF ΕΛΛΑΣ.

Α/Α	ΑΡΙΘ. ΠΡΩΤ.	ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	SiO_2	A12O3	Fe_2O_3	CaO	Mg O	K_2O
1	122	No 1	0.6	0.07	0.06	33.5	1.6	0.02
Α/Α	ΑΡΙΘ. ΠΡΩΤ.	ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	SiO_2	A12O3	Fe_2O_3	CaO	Mg O	K_2O
1	122	No 1	0.01	42.2	4.7	22.7	20	3

*Τα αποτελέσματα εκφράζονται % σε ξηρά ουσία

α) Για την ανάλυση των παραπάνω δειγμάτων εφαρμόστηκε εσωτερική μέθοδος.

β) Με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ, με τη μέθοδο της διαφορικής θερμικής ανάλυσης και με τη μέθοδο της χημικής ανάλυσης, στην περίπτωση του κονιοποιημένου δείγματος.

5.2.4. Ορυκτολογική ανάλυση των γύψων της περιοχής του Ξηρόμερου

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων των πετρωμάτων της γύψου της περιοχής του Ξηρόμερου διενεργήθηκε από τους Σ. Καραντάση και Β. Περδικάτση, στο εργαστήριο Ορυκτολογίας - Πετρολογίας του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών της Ελλάδας για της ανάγκες της βιομηχανίας Knauf Γυψοποιία SAIC, Εταιρείας KNAUF ΕΛΛΑΣ.

Τα συμπαγή δείγματα αποτελούνται από υψηλό ποσοστό (90%) κρυστάλλων γύψου ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ποικίλης κοκκομετρίας, οι οποίοι σχηματίζουν μία συμπαγή μάζα, άλλοτε προσανατολισμένη και άλλοτε κατακερματισμένη.

Στην ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων συμμετέχουν επί πλέον: α) σαν δευτερεύον ουσιώδες συστατικό, ανθρακικό υλικό (δολομίτης + ασβεστίτης), το οποίο απαντάται υπό μορφή διάσπαρτων υπερ-λεπτόκοκκων συσσωματωμάτων και του οποίου το ποσοστό

κυμαίνεται, σύμφωνα με τη μικροσκοπική παρατήρηση, πέριξ του 10% και β) χαλαζίας σε διάσπαρτους κόκκους που το ποσοστό συμμετοχής του δεν υπερβαίνει το 0.5%.

Σε ορισμένα δείγματα παρατηρήθηκαν κατά μήκος μικροδιακλάσεων ή μαζί με το ανθρακικό υλικό, οξείδια-υδροξείδια σιδήρου, τα οποία απαντώνται υπό μορφή μικροσκοπικών κοκκίων ή εμποτισμάτων και των οποίων η αναλογία είναι ασήμαντη.

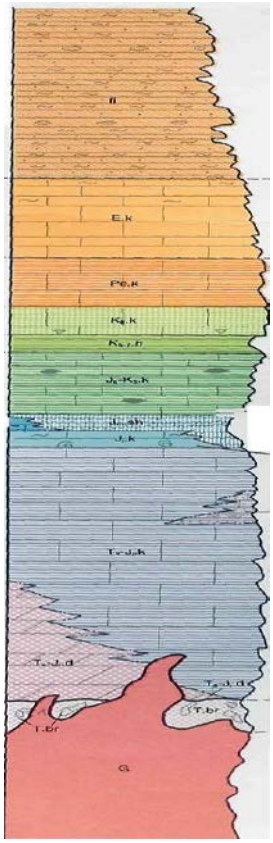
Από το συνδυασμό ορυκτολογικών και χημικών αναλύσεων προκύπτει ότι η περιεκτικότητα του κονιοποιημένου δείγματος σε γύψο, δολομίτη, ασβεστίτη και χαλαζία είναι:

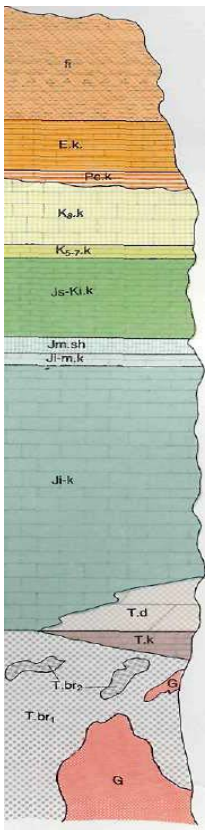
- **Γύψος 88-90%**
- **Δολομίτης 7.2%**
- **Ασβεστίτης 3.0%**
- **Χαλαζίας 0.6%**

5.2.5. Λιθοστρωματογραφία

Τα γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία που χρησιμοποιηθήκαν στη μελέτη και γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής του Ξηρόμερου προέρχονται από τους γεωλογικούς χάρτες της Ελλάδας, φύλλο Αμφιλοχία και φύλλο Αστακός σε κλίμακα 1:50.000, του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών της Ελλάδας, και των διαφορετικών επιστημονικών ερευνών σχετικά με τη γεωλογία και τεκτονική της περιοχής μελέτης. Επίσης, τα παρακάτω συμπεράσματα προέρχονται και από τις χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις των δειγμάτων των πετρωτών που συλλέχτηκαν τυχαία στην περιοχή μελέτης. Με βάση των προαναφερόμενων γεωλογικών πληροφοριών δημιουργήθηκε Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Εικόνα 5.2).

Κύριες και επίσης παλιότερα γνωστές λιθοστρωματογραφικές μονάδες που παρουσιάζονται στην περιοχή μελέτης προβάλλονται στην Λιθοστρωματογραφική κολόνα (Εικόνα 5.3) της περιοχής μελέτης είναι:





A. φύλλο Αμφιλοχία **B. φύλλο Αστακός**

* **fi_b** = Φλύσχης, ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟ

* **E.k** = Ασβεστόλιθοι - ΗΩΚΑΙΝΟ

* **Pc.k** = Ασβεστόλιθοι -ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ

* **K_8k** = Ασβεστόλιθοι - ΣΕΝΩΝΙΟ

* **K_{5-7}.k** = Κερατόλιθοι και πυριτικοί σχιστόλιθοι - ΑΝΩ.ΑΛΒΙΟ-ΤΟΥΡΩΝΙΟ

* **Js-Ki.k** = Ασβεστόλιθοι Βιγλας - ΜΑΛΜΙΟ-ΑΛΒΙΟ

* **J_s-K_5.k** = Ασβεστόλιθοι με Ακτινόζωα - ΜΑΛΜΙΟ-ΑΛΒΙΟ

* **Jm.sh** = Σχιστόλιθοι με Ποσεδώνιες - ΔΟΓΓΕΡΙΟ

* **Ji.m.k ή J_i.k** = Ασβεστόλιθοι **«Ammonitico Rosso»** - ΑΝΩ. ΛΙΑΣΙΟ

* **Ji.-m.k ή Ts-J_i.d** = Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα - ΑΝΩ.ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΜΕΣΟ ΛΙΑΣΙΟ

* **T.d ή Ts-J_i.d** = Δολομίτες - ΤΡΙΑΔΙΚΟ

* **T.br ή T.br_1** = Κροκαλολατυποπαγή συνεκτικά με σώματα γύψου - ΑΝΩ.ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΜΕΣΟ ΛΙΑΣΙΟ

* **G** = Γύψος, εβαπόριτες – ΤΡΙΑΔΙΚΟ

Εικ.5.3: Λιθοστρωματογραφική κολώνα της περιοχής μελέτης (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΤΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ ΓΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΙΓΜΕ, κλίμακες 1:50.000)

- **Γύψος, εβαπόριτες** (Εικόνα 5.4), Τριαδικής ηλικίας**,** σταχτόμαυρου και υπόλευκου χρώματος. Έχουν συμπαγή χαρακτήρα, είναι άστρωτοι, εν μέρει διαβρωμένοι. Το πάχος τους υπερβαίνει τα 150m και καλύπτουν το 3% της έκτασης της περιοχής μελέτης.

Εικ.5.4: Η γυμνή πλαγιά των γύψων του βουνού Πυραμίς.

- **Κροκαλολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι** ή Σχηματισμός Τρύφου (Εικόνα 5.5), Τριαδικής ηλικίας, είναι μια από τις κυριότερες ενότητες και καλύπτουν το 70% της έκτασης της περιοχής μελέτης. Οι λατύπες και κροκάλες είναι από ασβεστόλιθους και δολομίτες και η συνδετική τους ύλη είναι γύψος και άργιλος, επίσης είναι πολύμικτα και ετερομετρικά, συνεκτικά και κατά θέσεις ασύνδετα. Ο σχηματισμός αυτός είναι έντονα καρστικοποιημένος και για αυτό το λόγο έχουμε εμφάνιση των σπηλαιωδών μορφών. Το πάχος των στρωμάτων τους κυμαίνεται από 10m μέχρι 200m.

Εικ. 5.5: Κροκαλολατυποπαγή της περιοχής της πόλγης Λιβάδια (Veni, 2010)

- **Δολομίτες**, Τριαδικής ηλικίας, ή δολομιτικοί ασβεστόλιθοι εμφανίζονται με χρώμα καστανό, είναι παχυστρωματώδεις, κερματισμένοι και σε πολλές θέσεις καρστικοποιημένοι, δημιουργώντας μικρά ή μεγάλα σπηλαία. Το πάχος τους είναι περίπου μέχρι 200m.

- **Ασβεστόλιθοι,** καλύπτουν 20% της έκτασης της περιοχής μελέτης:

  Ο κύριοι ασβεστόλιθοι είναι Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα (Εικόναο 5.6), Τριαδικής - Δογγερίου ηλικίας, κατά θέσεις δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, με μικρό καρστ που δευτερογενώς έχουν γεμίσει από ασβέστη. Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης οι ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα είναι υπόλευκοι έως σταχτόχρωμοι όπου προς το νότιο τμήμα γίνονται καστανωποί, κιτρινωποί. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι: μεταξώδεις, λεπτομεσοκοκκώδεις, εν μέρει χοντροκοκκώδεις, λατυποπαγείς και δολομιτιωμένοι, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι. Κύρια στη βάση τους, στα ανώτερα μέρη είναι πλακώδεις, αντίστοιχοι με τους ασβεστόλιθους Σινιών της Ηπείρου, με διαστρώσεις και κονδύλους πυριτόλιθων. Το πάχος των στρωμάτων τους κυμαίνεται από 50m μέχρι 300m. Τα στρώματα των ασβεστόλιθων Παντοκράτορα εμφανίζονται στα δυτικά όρια των ασβεστολιθικών κροκαλολατυποπαγών Τύφου, στα Ακαρνανίκα όρη, από 900μ υψόμετρο και άνω.

Εικ.5.6: Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα στους πρόποδες του βουνού Μποουμίστος στην πόλγη Στιναδιά (Veni, 2010)

Σε πολύ μικρό ποσοστό εμφανίζονται στην επιφάνεια του πετρώματος οι κάτωθι αναφερόμενοι ασβεστόλιθοι:

- Οι ασβεστόλιθοι «Ammonitico Rosso», ηλικίας Λιάσιο – Δογγέριο, είναι κοκκινωποί, πλακώδεις, εν μέρει άστρωτοι, λατυποπαγείς και κατά θέσεις μαργαϊκοί.

- Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας, (J. Paartch, 1887)**,** ηλικίας Μάλμιο – Άλβιο, είναι πολύχρωμοι ασβεστόλιθοι, πλακώδεις, λεπτομερείς. Μερικές φορές είναι άστρωτοι και λατυποπαγείς με διαστρώσεις και φακούς πυριτόλιθων. Συχνά οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι εναλλάσσονται ρυθμικά με πολύ λεπτά στρωματά πολύχρωμων σχιστοποιημένων μαργών και αργιλοπηλιτών. Εμφανίζονται σε πολύ μικρό ποσοστό με πάχος 60-350m.
- Ασβεστόλιθοι ηλικίας Σενώνιου, υπόλευκοι, άλλοτε πλακώδεις και λεπτομερείς και άλλοτε μεσοπαχυστρωματώδεις, μεσοχοντροκοκκώδεις και άστρωτοι λατυποπαγείς. Το πάχος τους είναι από 50 μέχρι 400m.
- Ασβεστόλιθοι Παλαιοκαινικής ηλικίας, παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτοι, έχουν υπόλευκο χρώμα προς κίτρινο. Είναι μικρό λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, όπου σε μερικά σημεία είναι άστρωτοι και λατυποπαγείς. Αποτελούνται από πολυάριθμα θραύσματα μακροαπολιθωμάτων και λατύπες από υποκείμενους σχηματισμούς. Με πάχος από 50 μέχρι 300m.
- Ασβεστόλιθοι Ηωκαινικής ηλικίας, λευκού-υπόλευκου χρώματος, λεπτομερείς, πλακώδεις με διαστρώσεις, φακούς ή αλλά ακανόνιστα σχήματα πυριτόλιθων, από δυτικά προς ανατολικά από λεπτοστρωματώδεις προς μεσοπαχυστρωματώδεις, κοκκώδεις και λατυποπαγείς, με πάχος 100-350m.

- **Πυριτικοί σχιστόλιθοι ή σχιστόλιθοι Ποσειδώνα**, ηλικίας **Δογγεριού**, είναι πολύχρωμοι πυριτόλιθοι, λεπτοστρωματωδείς που σποραδικά εμφανίζονται ενδιάμεσα τους στρώσεις ασβεστόλιθων και κερατολίθων με πάχος περίπου 5 εκατοστά. Βρίσκονται διάσπαρτοι βυθισμένοι μέσα σε αργιλοπηλίτες με πάχος από 0 μέχρι 60m.

- **Κερατόλιθοι και πυριτικοί σχιστόλιθοι,** ηλικίας Αλβίου - Κενομένιου – Τουρόνιου, σκοτεινότεφροι, με παρεμβολές λεπτών στρώσεων ή φακών λευκότερων και κοκκινωπών ασβεστόλιθων, με πάχος περίπου 50m.

- **Φλύσχης**, ηλικίας Ανώτερου Ηωκαινίου – Ολιγοκαίνου –Μειοκαίνου, στα κατώτερα μέλη του έχουμε ρυθμικές ή άρρυθμες εναλλαγές άστρωτων, σταχτόχρωμων μαργοαργιλοπηλίτων με καστανόχρωμους, μεσο-παχυστρωματώδεις, μεσο-χονδροκοκκώδεις κατά θέσεις λατυποπαγείς ψαμμίτες, με πάχος περίπου 400m.

Τεταρτογενείς αποθέσεις καλύπτουν το 7% της έκταση της περιοχής μελέτης.

- **Κοκκινοχώματα**, ηλικίας Ολοκαίνου, είναι ερυθροί άργιλοι και αμμώδες υλικό με διάσπαρτες ανθρακικές και πυριτικές λατύπες και υλικά αποπλύσεως εβαπορίτων.

- **Παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων,** λατυποκροκαλοπαγή με λατύπες και κροκάλες ανθρακικών πετρωμάτων.

- **Πλευρικά κορήματα** αποτελούνται κυρίως από ανθρακικές λατύπες, κατά θέσεις συγκολλημένες στη βάση τους, με ανθρακικό και αργιλικό υλικό.

5.3. Γεωμορφολογική εξέλιξη

Το κύριο χαρακτηριστικό της γεωμορφολογικής εξέλιξης της Ιονίου ζώνης αποτελεί η αλλαγή των παλαιογεωγραφικών συνθηκών της κατά τη διάρκεια της εξέλιξής της από το Τριαδικό μέχρι το Ανώτατο Ολιγόκαινο - Μειόκαινο. Αυτή η «νηριτική» ιζηματογένεση η οποία εμπεριέχει τους νηριτικούς ασβεστόλιθους αντιπροσωπεύει μια ανθρακική πλατφόρμα με ιζήματα της ίδιας φάσης.

Από το Τριαδικό μέχρι το Τριτογενές, καθόλη τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης, η Ιόνια ζώνη είχε συνεχή και αδιάκοπη ιζηματογένεση. Την εποχή εκείνη, η ρηχή Τηθύς Θάλασσα, στα νότια περιθώριά της, καλύπτει μια ηπειρωτική πλατφόρμα που επεκτείνεται σε όλη σχεδόν τη Δυτική Ελλάδα. Πριν την περίοδο του Μέσου Λιάσιου, ο Ιόνιος χώρος αποτελούσε τμήμα της εκτενούς νηριτικής πλατφόρμας. Κατά τη διάρκεια του Πέρμιου – Τριαδικού, η Ιόνιος Ζώνη ήταν ρηχή, κλειστή, θαλάσσια λεκάνη όπου είχαν συσσωρευθεί εβαπόριτες, κυρίως γύψος, με πάχος 150μ. Για την εξήγηση και εξέλιξη του σχηματισμού των εβαποριτών έχουμε δυο παραπλήσιες παλαιογεωγραφικές συνθήκες. Η πρώτη ήταν με την εμφάνιση των πολλών συνεχόμενων παραθαλάσσιων ρηχών λιμνών με χαμηλούς βραχίονες. Με τις παλίρροιες η θάλασσα κατόρθωνε να υπερπηδά τους βραχίονες και να εμπλουτίζει τις λίμνες με άλατα. Κατά τη δεύτερη, υπήρχαν μεγάλες ρηχές, κλειστές λίμνες-λεκάνες, χωρίς επικοινωνία με τη θάλασσα αλλά με συνεχή τροφοδοσία σε άλατα, από ποταμούς που παρέρχονταν από περιοχές με αλατούχα πετρώματα. (Καρακίτσιος, 1992). Η ιζηματογένεση των κροκαλολατυποπαγών ασβεστόλιθων, κατά τη διάρκεια του Κάτω - Μέσο Τριαδικού, συνεχίζεται αδιάκοπα πάνω από τους εβαπόριτες. Παρομοίως με την προηγούμενη παλαιογεωγραφική ιζηματογένεση από την περίοδο του Τριαδικού και του Κάτω Ιουρασικού έχουμε την απόθεση των δολομιτών, με πάχος έως και 200μ, και των «νηριτικών» ιζημάτων των ασβεστόλιθων Παντοκράτορα, με πάχος έως και 200μ. Τα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή είναι επιγενετικά και σχηματίζονται από πρωτογενή τεκτονική δραστηριότητα, διαπυρική παραμόρφωση και μια τεκτονική λατυποποίηση κατά τη διάλυση των υποκείμενων εβαποριτών και από τη μετά-ορογενετική ατμοσφαιρική έκθεση των εβαποριτικών ιζημάτων. Διεισδύσεις των γύψων εντός των ρηξιγενών επιφανειών έγιναν πιθανόν όταν τα διάκενα των ρηγμάτων ήταν μεγάλα. Αυτές οι συνθήκες διατηρήθηκαν με μικρές τροποποιήσεις μέχρι το τέλος του Ιουρασικού - Μάλμιου. Από το Μέσο Ιουρασικό η ιζηματογένεση διαμορφώνεται σε πελαγική και ημιπελαγική.

Στο Άνω Λιάσιο έχουμε ιζηματογένεση των κόκκινων ασβεστολίθων με αμμωνίτες, των Ammonitico rosso ασβεστολίθων.

Την ίδια περίοδο και προς το Δογγέριο, στις δυο πλευρές της ζώνης (εσωτερική και εξωτερική), έχουμε απόθεση των κερατολίθων, αργιλικών και σχιστόλιθων Ποσειδώνα, από τα απολιθώματα που περιέχουν. Η διττή αυτή ιζηματογένεση διαρκεί όλο το Δογγέριο, ενώ στο Μάλμιο γίνεται κοινή σε όλο το πλάτος της ζώνης με την απόθεση πελαγικών ασβεστόλιθων με ενστρώσεις κερατόλιθων με το όνομα ασβεστόλιθοι Βίγλας.

Η ιζηματογένεση συνεχίζεται αδιάκοπτα προς τα άνω με στρωματά ασβεστόλιθων Σενώνιας ηλικίας, οι οποίοι εμφανίζονται ανατολικά από την εμφάνιση των λατυποπαγών του Τριαδικού και παρακολουθούν την κατεύθυνσή τους, εμφανίζονται επίσης στις περισσότερες περιπτώσεις όλα τα πετρώματα μαζί ή με συνδυασμούς.

Ο φλύσχης αποτέθηκε σε περίοδο της παροξυσμικής πτύχωσης της ζώνης από την περίοδο του Ηωκαίνου μέχρι το Κάτω Μειόκαινο, με πολύ μεγάλο πάχος, το οποίο μπορεί να είναι αποτέλεσμα της πτύχωσης.

Στην συνέχεια, στην εποχή του Ολιγοκαίνου, έχουμε ιζηματογένεση των κοκκινοχωμάτων σε συνδυασμό με τα παλιά και νέα κωνικά και πλευρικά κορήμματα.

Από το Πλειόκαινο μέχρι Τεταρτογενές, οι εβαπόριτες εμφανίζονται επιφανειακά με κοιτάσματα γύψου λόγω των υποκείμενων διαπυρικών φαινομένων και κινήσεων, οι οποίες έγιναν με τη θερμότητα που οποία αναπτυσσόταν λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας και των πιέσεων που ασκούνταν στο βάθος από τα υπερκείμενα στρωματά που οφείλονταν σε μεταναστεύσεις των γύψων προς τα πάνω, ακολουθώντας τις μεγάλες τεκτονικές γραμμές, κατά μήκος των μεγάλων ρηγμάτων και εφιππεύσεων (Mrazec, 1927; Underhile, 1988)

6. ΚΑΡΣΤ ΤΟΥ ΞΗΡΟΜΕΡΟΥ

6.1. Καρστική εξέλιξη

Θεωρητικά η καρστικοποίηση στην περιοχή μελέτης αρχίζει από την περίοδο του Πέρμιου – Τριαδικού κατά τη διάρκεια της περιοδικής συσσώρευσης της γύψου λόγω της εμφάνισης των συνεχόμενων παραθαλάσσιων λιμνών που έδωσαν βάση για τη δημιουργία της σημερινής καρστικής λεκάνης. Το επεισόδιο της εναπόθεσης είναι δυνατόν να επέτρεψε την ανάπτυξη ενός παλαιό-εσωστρεμματικού καρστικού ανάγλυφου, όπως περιγράφεται σε άλλες περιοχές από Bosák et al. (1989), παρόλο που δεν έχει βρεθεί άμεση απόδειξη. Στην συνέχεια, κατά τη διάρκεια του Κάτω - Μέσο Τριαδικού, αδιάκοπα πάνω από τις γύψους συνεχίζεται η ιζηματογένεση των κροκαλολατυποπαγών ασβεστόλιθων όπου η καρστικοποίησή τους διακόπτεται με την έντονη τεκτονική δραστηριότητα των ρηγμάτων με κύρια κατεύθυνση βόρειο-βορειοδυτικά προς νότιο-νοτιοανατολικά. Δια αυτών των ρηγμάτων στην επιφάνεια εμφανιστήκαν διαπυρικά παραμορφωμένη γύψος και λατυποποίηση των εβαποριτικών ιζημάτων λόγω τεκτονισμού. Επίσης, αυτά τα ρήγματα αποτελούν τους κύριους παράγοντες για την κατεύθυνση της καρστικής λεκάνης του Ξηρόμερου όσο και για την εξέλιξη των πολγών στην περιοχή μελέτης. Το τεκτονικό βύθισμα των πολγών έχει αρχίσει πριν από την επιτακτική καρστικοποίηση, οι πόλγες ήταν αρχικά εκτεθειμένες στην πλευρική διάβρωση, ενώ συνεχίστηκε με πολύ αργό ρυθμό και εξακολουθεί μέχρι και σήμερα. Τα περισσότερα ρήγματα σήμερα έχουν πιθανό χαρακτήρα κάτω από τις αλλουβιακές ή κολλουβιακές αποθέσεις. Σαν αποτέλεσμα της ενεργής εμβάθυνσης του κατώτατου σημείου των πολγών δημιουργούνται οι αναβαθμίδες του επίπεδου της διάβρωσης.

Σαν αποτέλεσμα πιθανόν της τεκτονικής των πτυχώσεων που έχει υποστεί η περιοχή στο παρελθόν στις θέσεις της επαφής των ασβεστολιθικών κροκαλολατυποπαγών και γύψου, που έχουν κυματοειδώς διαμορφωθεί, εξελίσσονται οι καρστικές κοιλότητες, δολίνες και ουβάλες.

Σημαντικό ρόλο στη καρστικοποίηση της περιοχής μελέτης παίζουν τα διαπυρικά φαινόμενα των Τριαδικών εβαποριτών. Στα φαινόμενα αυτά κυρίως οφείλονται οι τεκτονικές δομές των αλπικών ρηγμάτων που διευκόλυναν την άνοδο και καθόρισαν την κλίση της ανόδου των γύψων. Πρόκειται ουσιαστικά, για λατυποπαγή απόπλυσης γύψου τα οποία αντιπροσωπεύουν το αποτέλεσμα επιγενετικής διάλυσης της γύψου από μετεωρικά διαλύματα που κυκλοφορούν κοντά στην επιφάνεια της Γης σε περίοδο που υπήρχαν μεγάλες ρηχές, κλειστές λίμνες-λεκάνες,

χωρίς επικοινωνία με τη θάλασσα αλλά με συνεχή τροφοδοσία σε άλατα, από ποταμούς που παρέρχονταν από περιοχές με αλατούχα πετρώματα. (Karakitsios, 1992). Σύμφωνα με την Pomoni – Papaioannou (1985), πρωτογενώς αποτέθηκαν λεπτοστρωσιγενείς ορίζοντες γύψου (πρωτογενής γύψος) που εναλλάσσονται με λεπτοστρωσιγενείς ορίζοντες ανθρακικού ασβεστίου. Αμέσως μετά την απόθεση, κατά την πρώιμη διαγένεση, έλαβε χώρα δολομιτίωση από πλούσια σε Mg διαλύματα, λόγω απόθεσης της γύψου που δέσμευσε Ca και έτσι τα διαλύματα εμπλουτίσθηκαν σε Mg. Με την πρόοδο της διαγένεσης η πρωτογενής γύψος αντικαταστάθηκε από ανυδρίτη. Στη συνέχεια, στη διάρκεια της ύστερης διαγένεσης ο ανυδρίτης αντικαταστάθηκε από δευτερογενή γύψο. Η δευτερογενής γύψος αρχικά ήταν μικροκρυσταλλική (αλαβάστρινη γύψος) και προϊούσης της διαγένεσης αντικαθίσταται από πορφυροβλαστική και τελικά γρανοβλαστική γύψο. Η διάλυση αυτή προκαλεί διατάραξη της πρωτογενούς στρωματογραφικής εναλλαγής εβαποριτών και δολομιτών των ακολουθιών. Για τον ίδιο λόγο η εναλλαγή αυτή σπανίως παρατηρείται στις επιφανειακές εμφανίσεις. Εκτεταμένη διάλυση της γύψου προκαλεί την κατακρήμνιση των υπερκειμένων δολομιτικών στρωμάτων και τη γένεση δολομιτικών λατυποπαγών. Η τεκτονική αυτή διεργασία συμβαίνει κατά τη διάρκεια της σταδιακής διάλυσης των εβαποριτών, και όχι μετά την πλήρη διάλυση ενός εβαποριτικού ορίζοντα. Οι δολομιτικές λατύπες υφίστανται στη συνέχεια μερική ή ολική αποδολομιτίωση (αντικατάσταση του δολομίτη από ανθρακικό ασβέστιο). Κατά την αποδολομιτίωση η διάλυση της γύψου από τα κυκλοφορούντα μετεωρικά διαλύματα αυξάνει την αναλογία Ca/Mg και τα διαλύματα καθίστανται ικανά να μετατρέψουν τον δολομίτη σε ανθρακικό ασβέστιο (Pomoni, 1980).

Τα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή συγγενετικά περιέχουν μεγάλα ποσά αργιλικού υλικού που πληρώνουν τα διάκενα του ιδίου σχηματισμού τα οποία επιβραδύνουν την πρόοδο της καρστικοποίησης.

Η επιφανειακή καρστικοποίηση της περιοχής μελέτης αρχίζει από την περίοδο του Ηωκαίνου - Κάτω Μειόκαινο και σχετίζεται άμεσα με την πολύπλοκη γεωμορφολογική εξέλιξης της περιοχής μελέτης και ευρύτερα.

Σημαντικό ρόλο στο ασυνήθιστο κροκαλολατυποπαγές σχήμα των πετρωμάτων στην περιοχή μελέτης διαδραμάτισε η γειτονική Πινδική ορογένεση, από το Τριαδικό έως Ηώκαινο με τη δημιουργία πτυχώσεων και εφιππεύσεων, προκαλώντας την ανάπτυξη και ανοδική μετακίνηση των γύψων προς την επιφάνεια κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης επώθησης του Μαχαλά όπου εμφανίζονται πλέον με τη μορφή λατυποπαγών και γύψων. Αυτή η επώθηση ήταν μικρής γωνίας και με κλίση μεγαλύτερη προς Νότο και μικρότερη προς Βορρά και προκάλεσε την ανόρθωση και κάμψη των υπερκείμενων Τριαδικών κροκαλολατυποπαγή ασβεστολίθων με κέντρο την περιοχή του χωριού Τρύφου.

Σύμφωνα με γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις που διενεργήθηκαν στην περιοχή μελέτης από την British Petroleum το βάθος της επαφής κροκαλολατυποπαγών – εβαποριτών κυμαίνεται από 60m έως 260m και παρουσιάζει κλίση περίπου 4,5% – 5,5% στην περιοχή Τρύφου – Κωμποτής και 1,5% – 2% στην περιοχή Αετού – Σκουρτού.

Η καρστική περιοχή του Ξηρόμερου έχει συνολική επιφανειακή έκταση 106,76 km^2 και κυμαίνεται σε υψόμετρο από 136m έως 1.316 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το καρστ κατά κύριο λόγο αναπτύχτηκε στα 64% της περιοχής μελέτης στα Τριαδικά ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή πετρώματα 10-200m πάχους, 24% καταλαμβάνουν Άνω Τριαδικό πρώιμοι Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες, τα υποκείμενα 150m πάχους Τριαδικά κοίτασμα της γύψου εμφανίζεται στο 2% της επιφάνειας και οι Τεταρτοταγείς καταθέσεις καλύπτουν το υπόλοιπο 10% της περιοχής μελέτης.

6.2. Καρστικές μορφές της περιοχής του Ξηρόμερου

Για την καλύτερη αξιολόγηση των καρστικών μορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης και την δημιουργία του καρστικού - γεωμορφολογικού χάρτη χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS 9.2.;9.3. με στόχο τη δημιουργία λεπτομερούς geodatabase των γεωλογικών, 3D τεκτονικών, υδρολογικών και καρστικών χαρακτηριστικών που αντιπροσωπεύουν ή/και επηρεάζουν την ανάπτυξη του καρστ.

Δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων με τις υπάρχουσες επιφανειακές μορφές του καρστ στα διαφορετικά layers όπου αναγνωρίστηκαν οι ακόλουθες «μέγα» καρστικές γεωμορφές:

1) μια καρστική λεκάνη

2) 15 καρστικοί υδροκρίτες των καρστικών μορφών

3) πόλγες

4) χουμ

5) δολίνες

6) ουβάλες

7) καταβόθρες

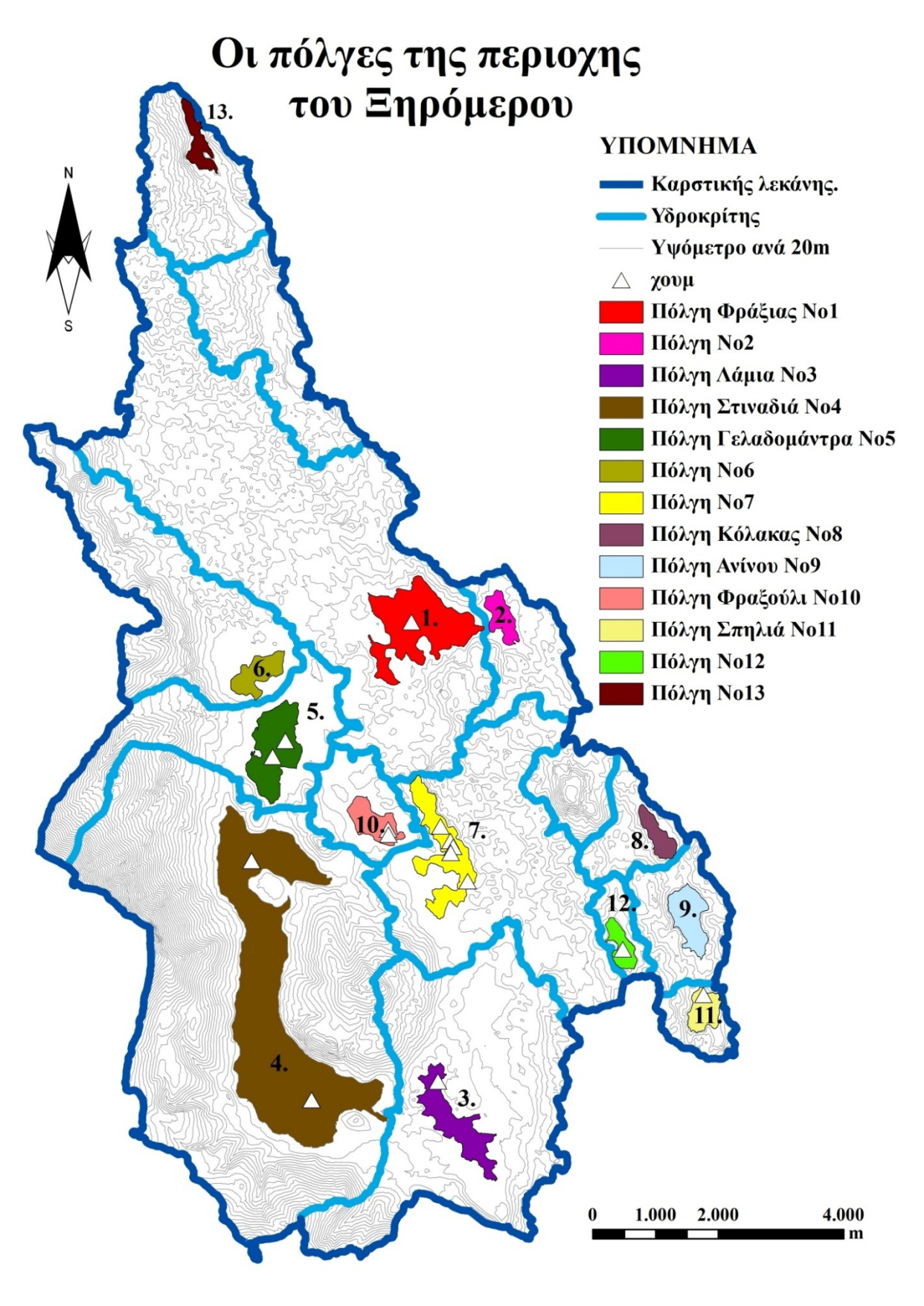
Στο παρακάτω κείμενο έγινε ανάλυση των κύριων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών όπως κι η γεωγραφική περιγραφή της περιοχής μελέτης.

6.3. Οι πόλγες

Στην περιοχή του Ξηρόμερου αναγνωριστήκαν 13 πόλγες (Εικόνα 6.1) όπου οι 11 εξελίχθηκαν στα υποκείμενα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή πετρώματα σε ύψος από 200m μέχρι 300m και οι υπόλοιπες δυο σε ύψος 336m και 450m (β.λ. παράρτημα: Καρστ Γεωμορφολογικός Χάρτης της περιοχής του Ξηρόμερου) Είναι τεκτονικής προέλευσης και παρακολουθούν την επιφάνεια των πιθανών ρηγμάτων κατεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ. Μερικές πόλγες αναπτύσσονται στα σημεία επαφής μεταξύ ασβεστολιθικών κροκαλολατυποπαγών πετρωμάτων και γύψου, Τριαδικών ασβεστολίθων ή δολομιτών.

Στις πόλγες της περιοχής μελέτης υπάρχουν 16 χούμ (β.λ. παράρτημα: Καρστ Γεωμορφολογικός Χάρτης της περιοχής του Ξηρόμερου), κυρίως από τον ασβεστόλιθο που παρεμβλήθηκε της γύψου και πιθανώς σαν αποτέλεσμα της μικρότερης διαλυτότητας από τους τεκτονικούς παράγοντες.

Με την χρήση του προγράμματος Arc GIS 9.3.1. δημιουργηθήκαν θεματικοί χάρτες και geodatabase κυριών χαρακτηριστικών των πολγών και με βάση αυτές πραγματοποιηθήκαν μορφομετρικές αναλύσεις ς που εκτίθενται στον Πίνακα 6.1. Ο Πίνακας 6.1 παραθέτει τα αποτελέσματα μορφομετρικές αναλύσεις των πολγών σε σχέση με τα κύρια χαρακτηριστικά τους.

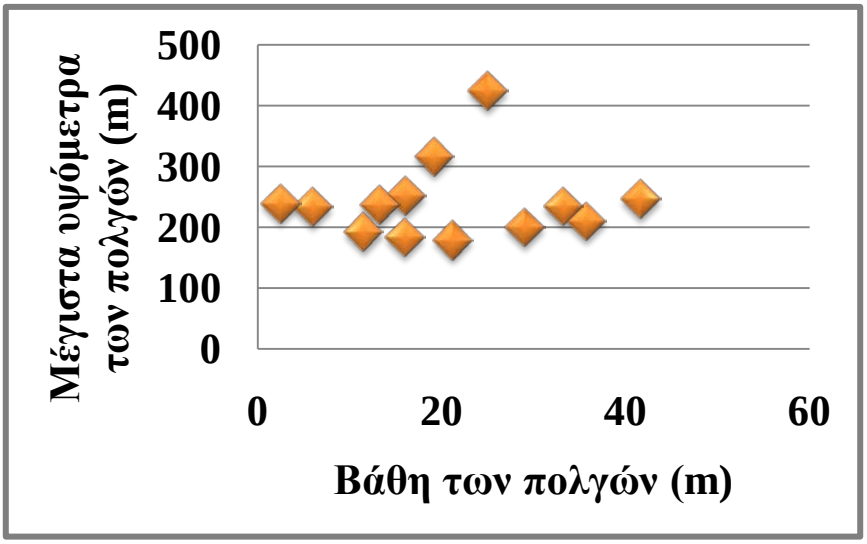

Οι πόλγες της περιοχης
του Ξηρόμερου
ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Καρστικής λεκάνης.
Υδροκρίτης
Υψόμετρο ανά 20m
χουμ
Πόλγη Φράξιας No1
Πόλγη No2
Πόλγη Λάμια No3
Πόλγη Στιναδιά No4
Πόλγη Γελαδομάντρα No5
Πόλγη No6
Πόλγη No7
Πόλγη Κόλακας No8
Πόλγη Ανίνου No9
Πόλγη Φραξούλι No10
Πόλγη Σπηλιά No11
Πόλγη No12
Πόλγη No13
N
S
0
1.000
2.000
4.000
m

Εικόνα 6.1

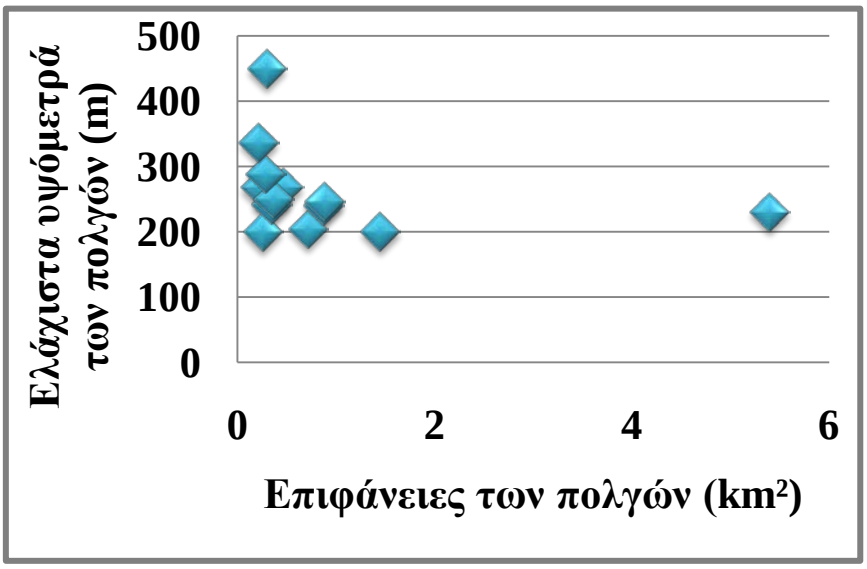
Πίνακας 6.1: Μορφολογικά χαρακτηριστικά των πολγών της περιοχής του Ξηρόμερου

No. Πόλγη	Ονομασία	Ελάχιστο υψόμετρο πόλγη (m)	Μέγιστο υψόμετρο πόλγη (m)	Βάθος πόλγη (m)	Επιφάνεια πόλγη (km^2)	Όγκος πόλγη (m^3)	Διάμετ. πόλγη (m)	Γεωλογικές πληροφορίες	Χούμ (Residual hills)
1.	**Φράξιας**	200	178.8	21.2	1.447514	1507696	1.9 x 1.4	Κροκαλολατυποπαγή, γύψος, κοκκινοχώματα	1
2.	**No.2**	200	184	16	0.257197	2115516	0.9 x 0.45	Κροκαλολατυποπαγή, ασβεστόλιθοι, κοκκινοχώματα, παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων	-
3.	**Λάμια**	204	192.5	11.5	0.714684	6364685	2.13 x 0.66	Κροκαλολατυποπαγή	1
4.	**Στιναδιά**	230	200.1	29	5.394329	97996315	6.64 x 2.4	Κροκαλολατυποπαγή, ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κοκκινοχώματα, πλευρικά κορήματα	2
5.	**Γελαδομάν-τρα**	240	234	6	0.872812	3258901	1.67 x 0.77	Κροκαλολατυποπαγή, κοκκινοχώματα	2
6.	**No.6**	242	239.5	2.5	0.342066	575741	1.1 x 0.5	Κροκαλολατυποπαγή, κοκκινοχώματα	-
7.	**Ξερολαγία-**	246	210.3	35.7	0.881748	21717453	2.3 x 0.86	Κροκαλολατυποπαγή, κοκκινοχώματα	5
8.	**Κόλακας**	268	251.9	16.1	0.232621	2174911	1 x o.4	Κροκαλολατυποπαγή	-
9.	**Ανίνου**	268	234.8	33.2	0.464015	7524432	1.25 x 0.64	Κροκαλολατυποπαγή	-
10.	**Φραξούλι**	250	236.7	13.3	0.363872	2689815	1 x 0.5	Κροκαλολατυποπαγή, κοκκινοχώματα	2
11.	**Σπηλιά**	288	246.4	41.6	0.283340	6926255	0.74 x 0.51	Κροκαλολατυποπαγή	1
12.	**No.12**	336	316.8	19.2	0.216996	2916869	0.9 x 0.36	Κροκαλολατυποπαγή	1
13.	**No.13**	450	425	25	0.298266	2408753	1.33 x 0.4	Κροκαλολατυποπαγή, γύψος, ασβεστόλιθοι,κοκκινοχώματα	-

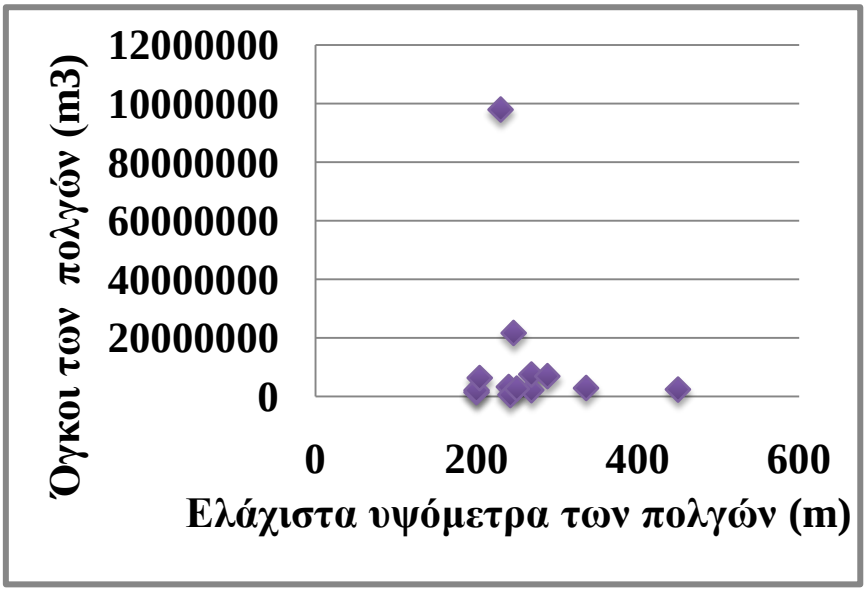
Βάσει του Πινάκα 6.1 δημιουργήθηκαν τα παρακάτω αναφερόμενα διαγράμματα σχέσεων των κύριων χαρακτηριστικών των μορφομετρικών αναλύσεων (Εικονες: 6.2, 6.3, 6.4, 6.5):



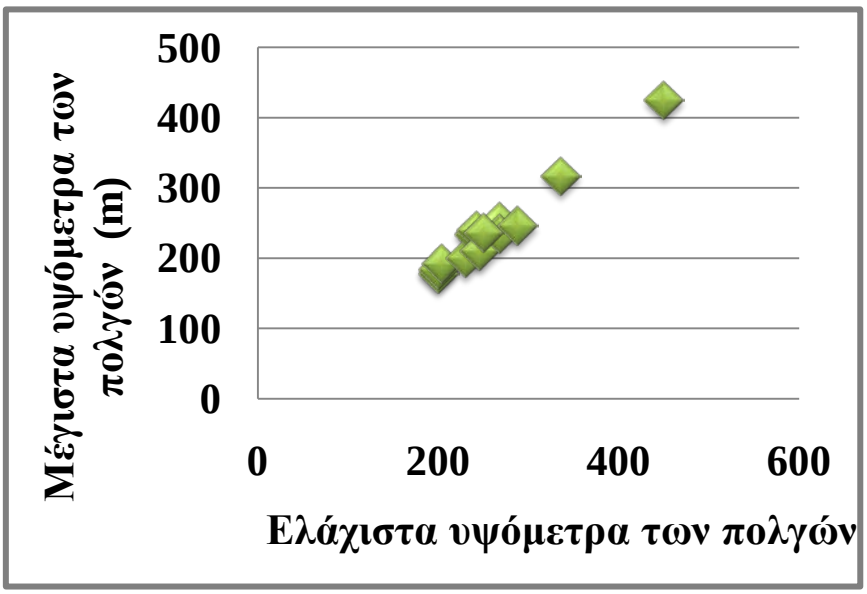
Εικ.6.2: Διαγραμματική απεικόνιση των βαθών των πολγών σε σχέση με τα μέγιστα υψόμετρα των πολγών της περιοχής του Ξηρόμερου



Εικ.6.3: Διαγραμματική απεικόνιση των ελαχίστων υψομέτρων των πολγών σε σχέση με επιφάνειες των πολγών της περιοχής του Ξηρόμερου



Εικ.6.4: Διαγραμματική απεικόνιση των όγκων των πολγών σε σχέση με τα ελάχιστα υψόμετρα των πολγών της περιοχής του Ξηρόμερου



Εικ.6.5: Διαγραμματική απεικόνιση των ελάχιστων υψομέτρων των πολγών σε σχέση με μέγιστα υψόμετρα των πολγών της περιοχής του Ξηρόμερου

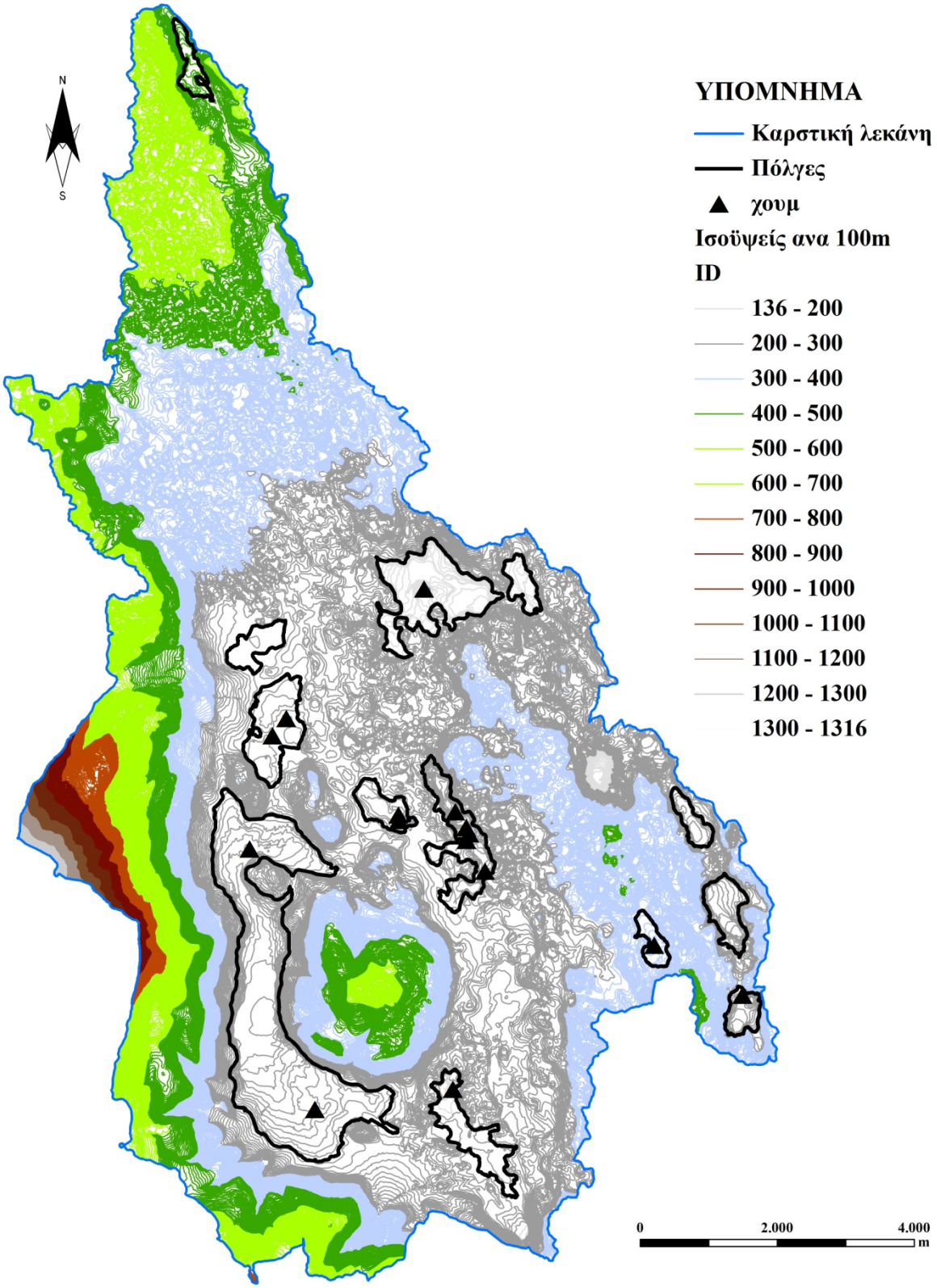
6.3.1. Γεωγραφική ανασκόπηση των πολγών

Οι πόλγες της περιοχής μελέτης απλώνονται 85% στα υψόμετρα από 200m μέχρι 300m (Πίνακας 6.2, Εικόνα 6.6). Στο παρακάτω κείμενο έγινε γεωγραφική ανάλυση των πολγών.

Πίνακας 6.2: Οι πόλγες σε σχέση με τα υψομετρικά επίπεδα ανά 100m της περιοχής μελέτης, περιοχής Ξηρόμερου.

Υψομετρικά επίπεδα (m)	**No. Πόλγες**	**No. Χουμ**
136- 200	**-**	
200 – 300	**11**	**14**
300 – 400	**1**	**1**
400 – 500	**1**	
500 – 600	**-**	
600 – 700	-	-
700 – 800	-	-
800 – 900	-	-
900 – 1000	-	-
1000 – 1100	-	-
1100 – 1200	-	-
1200 - 1300	-	-
1300 – 1316	-	-
∑	**13**	**15**

Οι πόλγες και χουμ σε σχέση με τσ υψομετρικά επίπεδα ανά 100m της περιοχής του Ξηρόμερου



Εικόνα 6.6

1. **Η πόλγη Φράξιας** (Εικόνα 6.7) απλώνεται σε κεντρικό τμήμα της περιοχής, 0,5km νότιο-νοτιοδυτικά από το χωριό Κατούνα και 1,2km βόριο-βορειοδυτικά από το χωριό Κονοπίνα.

Εικ.6.7: Οι υδρό -δεξαμενές της πόλγης Φράξιας

- χωρίς ορισμένη διεύθυνση, στη νότιο-νοτιοδυτική πλευρά της πόλγης έχουμε ένα τμήμα που μοιάζει με δισκοειδή δολίνα η οποία συνδέεται με την πόλγη από τον καιρό επίδρασης της οριζόντιας διαβρώσης, ενώ η σύνδεση είναι ακόμη σε στάδιο εξέλιξης.
- απλώνεται στα κοκκινοχώματα και στα αμμώδη με διάσπαρτες ανθρακικές λατύπες και υλικά απόπλυσης. Το πάχος αυτών των στρωμάτων είναι περίπου 20m και έχει περιορισμένο χαρακτήρα. Είναι ανάμεσα στα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή.
- επίσης στη νότιο-κεντρική πλευρά της πόλγης έχουμε ένα χούμ το οποίο λόγω του ρήγματος και της διαπιρικού ανόδου της γύψου αναπτύσσεται επιφανειακά της υποκείμενης γύψου. Το χούμ έχει μήκος 300m, πλάτος 250m και ύψος 200m.
- Η πόλγη Φραξίας κόβει το πιθανό ενεργό ρήγμα με διεύθυνση νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά. Το ρήγμα χάνει τη διεύθυνσή του στα νοτιοδυτικά όρια των κοκκινοχωμάτων της πόλγης και συνεχίζει στα βορειοανατολικά όρια της.

- 9 φρέατα, τα 8 είναι στα κοκκινοχώματα της πόλγης και ένα είναι περιφερειακό οριακό φρέαρ, όπου περιοδικά εμφανίζεται μια απλή περιοδική ροή η οποία έρχεται από τα βόρειο-βορειοανατολικά.

- πάνω από 54 δεξαμενές ύδατος, οι οποίες είναι στα κοκκινοχώματα της πόλγης. Δυο περιφερειακές οριακές δεξαμενές ύδατος οι οποίες είναι στα κροκαλολατυποπαγή πετρώματα στο βόρειο-βορειοδυτικό τμήμα της περιφέρειας της πόλγης όπου περιοδικά εμφανίζεται μια εκτεταμένη περιοδική ροή η όποια έρχεται από τα βορειοδυτικά κάτω από τα κροκαλολατυποπαγή πετρώματα και η οποία έχει και άλλες τέσσερις δεξαμενές ύδατος στο περιβάλλον των περιοδικών παραποτάμων της.
- μια εκτεταμένη περιοδική ροή η οποία έρχεται από τα βόρειο-βορειοδυτικά και τρεις απλές περιοδικές ροές οι οποίες έρχονται με βορειοδυτική και βόριο-βορειοδυτική διεύθυνση.
- Πέντε καταβόθρες στα κροκαλολατυποπαγή πετρώματα, και τέσσερα ενδιάμεσα των κοκκινοχωμάτων.
- από την γεώτρηση στην περιοχή Παλιάμπελων της πόλγης Φραξίας μπορούμε να παρατηρήσουμε

➢ Υδροφόρο στρώμα εμφανίζεται:

- από 9m μέχρι 10m στα στρωματά των μαργών απολιθωματοφόρων μαργών (4m - 14km),
- από 26m μέχρι 30m στα στρωματά των λατυποπαγών ασβεστολίθων (17m - 30m).
- από 60m μέχρι 77m στα στρωματά των άμμων μετά κροκάλων ασβεστολίθων (60m - 61m), μετά σε συνέχεια τα στρώματα των λατυποπαγών ασβεστολίθων (61m 72μ) και σε συνεχεία πάλι στρώματα άμμων μετά κροκάλων και ασβεστολίθου (72m - 77m).

➢ Παροχή του νερού είναι $100m^3$/ώρα.

➢ Υδροστατική στάθμη είναι στα 2m βάθος.

➢ Στάθμη άντλησης είναι στα 3m βάθος.

2. **Πόλγη No2** απλώνεται σε κεντρικό τμήμα της περιοχής, ανατολικά από την πόλγη Φράξια παρακολουθεί κατεύθυνση του πιθανού ρήγματος από βορά προς νότο. Απλώνεται στα κοκκινοχώματα ανάμεσα στα κροκαλολατυποπαγή, ενώ στις δυτικές πλαγιές έχουμε ασβεστόλιθους Παντοκράτορα σαν φράκτη με την πόλγη Φράξια, επίσης και στα ανατολικά έχουμε κατά μήκος τους ασβεστόλιθους.

- Δυο καταβόθρες ενδιάμεσα των κοκκινοχωμάτων.
- Δυο δεξαμενές ύδατος.

3. **Πόλγη No3** απλώνεται σε κεντρικό τμήμα της περιοχής, νοτιοανατολικά από την πόλγη Φράξιας, παρακολουθεί την κατεύθυνση του κύριου πιθανού ρήγματος από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά. Απλώνεται στους κροκαλολατυποπαγείς ασβεστόλιθους.

- Δυο καταβόθρες ενδιάμεσα των κροκαλολατυποπαγών ασβεστόλιθων.
- Οκτώ δεξαμενές ύδατος.

4. **Πόλγη Στιναδιά** (Εικόνα 6.8) στο νότιο-νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης ανάμεσα στις πλαγιές του βουνού Μεροβίγλι (ανατολικά, 604m) και τις κορυφές Κερασιά (δυτικά, 918m) και Κόκκα (νοτιοδυτικά, 685m) στις πλαγίες του βουνού Μπουμιστός ανατολικά και βορειοανατολικά από το χωριό Αετός.

Εικ.6.8: Πανόραμα της πόλγης Στινάδια

- με διεύθυνση βορά προς νότο, μακρόστενο και με φόρμα η οποία ανοίγει προς νότο, το δίκτυο των ρηγμάτων των περιφερειακών βουνώνείναι πολύ πυκνό και χωρίς ορισμένη διεύθυνση. Απλώνεται στα κοκκινοχώματα ανάμεσα στα κροκαλολατυποπαγή στη βόρειο-βορειοανατολική και νοτιοανατολική πλευρά της περιφέρειας της περιοχής και στη δυτική και ανατολική περιφέρεια της πόλγης έχουμε ασβεστόλιθους Παντοκράτορα. Επίσης στη βόρειο-βορειοδυτική και βόρειο-βορειοανατολική πλευρά έχουμε εμφανίσεις δολομιτών. Στη βόρειο-βορειοδυτική, ανατολική και νότιο-νοτιοανατολική περιφέρεια της πόλγης, στις πλαγιές των βουνών και στα όρια έχουμε πλευρικά κορήματα, παλαιά και νέους κώνους κορήματων.
- υπάρχει μια λίμνοδολίνα στη νότιο-νοτιοανατολική πλευρά της πόλγης ανάμεσα στα κοκκινοχώματα.
- 13 καταβόθρες στο νότιο τμήμα της πόλγης ενδιάμεσα των κοκκινοχωμάτων, παρακολουθούν τη γραμμή των οριακών ασβεστόλιθων. 3 καταβόθρες στο βορειοανατολικό τμήμα της πόλγης στα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή.
- περίπου 98 δεξαμενές ύδατος οι οποίες είναι στα κοκκινοχώματα της πόλγης.

- δυο κρήνες, μια στη βόρειο-βορειοδυτική περιφέρεια της πόλγης στα 270m στα όρια των πετρωμάτων του Παντοκράτορα και δολομιτών. Άλλη στη νότιο-ανατολική περιφέρεια της πόλγης στα 240m στα όρια πετρωμάτων του Παντοκράτορα και κροκαλολατυποπαγή πετρώματα.
- απλά περιοδικά ποτάμια έχουμε στις πλάγιες των περιφερειακών βουνών. Στη δυτική πλευρά έχουμε ένα με διεύθυνση νότιο-νοτιοδυτικά προς την πόλγη, το οποίο ακολουθεί πολύ μικρό πιθανό ρήγμα. Στην ανατολική πλευρά έχουμε δυο, με διεύθυνση ένα ανατολικά και άλλο βορειοανατολικά προς την πόλγη, που παρακολουθούν τα μικρά ρήγματα. Αυτά τα απλά περιοδικά ποτάμια είναι στα πετρώματα του Παντοκράτορα και οι περιοδικές ροές τους σταματάνε στα όρια των ασβεστόλιθων και πλευρικών κορήματων γύρω από την πόλγη.

5. **Πόλγη Γελαδομάντρα** είναι στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής, στις δυτικές και νοτιοδυτικές πλάγιες του βουνού Μπούμιστος και του βουνού Στρογγυλοβούνι (305m).

- με διεύθυνση βορά προς νότο, παρακολουθεί την κατεύθυνση του ρήγματος της πόλγης Στιναδιά. Στο νότιο τμήμα προς τη πόλγη Στιναδιά, έχουμε ένα κομμάτι της πόλγης το οποίο μοιάζει σαν να ήταν η δολίνα η οποία συνδεόταν με την πόλγη, όπου με την επίδραση της οριζόντιας διάβρωσης, η σύνδεση είναι ακόμη σε στάδιο εξέλιξης.
- το μεγαλύτερο κομμάτι της περιοχής απλώνεται στα κοκκινοχώματα, από το κέντρο και προς βορά τα κοκκινοχώματα επίσης απλώνονται και άλλα 650m, έξω από την περιοχή της πόλγης. Στη νότια πλευρά έχουμε κροκαλολατυποπαγή πετρώματα και στα νοτιά όρια της πόλγης έχουμε εμφανίσεις δολομιτών σε ολόκληρη την περιοχή του βουνού Στρογγυλοβούνι, στα νότια του οποίου βρίσκεται μικρό ρήγμα με διεύθυνση βόριο-βορειοδυτικά προς νότιο-νοτιοανατολικά. Στη δυτική πλευρά της περιφέρειας της πόλγης, πάνω από 300m βρίσκονται οι ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα.
- υπάρχει μια λίμνοδολίνη στη νότιο-νοτιοανατολική πλευρά της πόλγης στα κροκαλολατυποπαγή,
- έξι φρέατα, τρία είναι στα κοκκινοχώματα και αλλά τρία πιο νότια στα κροκαλολατυποπαγή πετρώματα γύρω από τις λίμνοδολίνες.
- ένα φρέαρ στη βόρειο-βορειοδυτική περιφέρεια της πόλγης στα 280m.
- 4 καταβόθρες ενδιάμεσα των κοκκινοχωμάτων και δυο στην επαφή κροκαλολατυποπαγών και δολομιτών.
- περίπου 28 επίγειες δεξαμενές ύδατος (Εικόνα 6.9) στα κοκκινοχώματα της πόλγης.

Εικ.6.9: Επίγειες δεξαμενές ύδατος στην περιοχή της πόλγης Γελαδομάντρα

- τέσσερις επίγειες δεξαμενές ύδατος στην βόρειο-βορειοδυτική περιφέρεια της πόλγης στα 200m κάτω από το φρέαρ
- στις δυτικές πλάγιες της πόλγης, στις πλάγιες των βουνών έχουμε μια απλή περιοδική ροή η οποία έρχεται στην πόλγη από τα βορειοδυτικά, από τις πλαγιές των ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα, όπου μετά από 2km από την αρχή αλλάζει διεύθυνση προς δυτικά για αλλά 2km και χάνεται στα κοκκινοχώματα της πόλγης και άλλες δυο με ίδια διεύθυνση, οι οποίες δεν φτάνουν μέχρι την πόλγη και χάνονται στα 200m μέσα στα κροκαλολατυποπαγή πετρώματα.

6. **Πόλγη No6** απλώνεται βόρεια από τις πόλγες Γελαδομάντρα και Στιναδιά. Παρακολουθεί την κατεύθυνση πιθανού ρήγματος βοριοανατολικά-νοτιοδυτικά. Στα βόρεια όρια της αρχίζει σταδιακή άνοδος της περιοχής μελέτης. Απλώνεται στα κοκκινοχώματα ανάμεσα στα κροκαλολατυποπαγή.
   - Τρεις καταβόθρες ενδιάμεσα των κοκκινοχωμάτων.
   - Εννέα δεξαμενές ύδατος.

7. **Πόλγη No7** απλώνεται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, ανατολικά από την πόλγη Φράξια. Παρακολουθεί κατεύθυνση του πιθανού ρήγματος από βορά προς νότο. Απλώνεται στα κοκκινοχώματα ανάμεσα στα κροκαλολατυποπαγή στις δυτικές πλαγιές έχουμε ασβεστόλιθους Παντοκράτορα σαν φράκτη με την πόλγη Φράξια, επίσης και στα ανατολικά έχουμε κατά μήκος τους ασβεστόλιθους.
   - Έξι καταβόθρες στα κροκαλολατυποπαγή και δυο ενδιάμεσα των κοκκινοχωμάτων.
   - Δεκατέσσερις δεξαμενές ύδατος.

8. **Πόλγη Νο8** απλώνεται σε κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, ανατολικά του βουνού Μεροβίγλι και παρακολουθώντας την βορειοδυτική-νοτιανατολική κατεύθυνση του πιθανού ρήγματος. ανατολικά από την πόλγη Φράξια και παρακολουθεί κατεύθυνση του πιθανού ρήγματος από βορά προς νότο. Απλώνεται ανάμεσα στα κροκαλολατυποπαγή.
   - Δυο καταβόθρες ενδιάμεσα των κροκαλολατυποπαγών.
   - Δυο δεξαμενές ύδατος.

9. **Πόλγη Ανίνου Πόλγη Νο2** απλώνεται στα ανατολικά από την πόλγη Νο8 παρακολουθώντας την ίδια κατεύθυνση του πιθανού ρήγματος από βορειοδυτική προς νοτιανατολική, κατεύθυνση του πιθανού ρήγματος.
   - Δυο καταβόθρες ενδιάμεσα των κροκαλολατυποπαγών.
   - Δεκαπέντε δεξαμενές ύδατος.

10. **Πόλγη Φραξούλη** απλώνεται στο κέντρο της περιοχής μελέτης. παρακολουθεί κατεύθυνση του πιθανού ρήγματος βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά. Απλώνεται στα κροκαλολατυποπαγείς ασβεστόλιθους.
    - Τρεις καταβόθρες ενδιάμεσα των κροκαλολατυποπαγών.
    - Τριάντα τρεις δεξαμενές ύδατος.

11. **Η πόλγη Σπηλιά** (Εικόνα 6.10) είναι 0,1km βορειοδυτικά από το χωριό Παππαδάτος στα όρια του χωριού. Είναι στα κροκαλολατυποπαγή.

Εικ.6.10: Πόλγη Σπηλιά

- Υπάρχουν 3 δεξαμενές ύδατος και ένα πηγάδι.
- Στο βόρειο τμήμα έχει μια λίμνδολίνη (Εικόνα 6.11) σε υψόμετρο 340m και άλλη μια πιο μικρή δολίνα σε 340m υψόμετρο, δίπλα της περνάει ένα πιθανό ρήγμα με διεύθυνση βόρειο-βορειοδυτικά προς νότιο-νοτιοανατολικά

Εικ.6.11: Λίμνοδολίνη της πόλγης Σπηλιά

- Επίσης υπάρχει μια καταβόθρα (Εικόνα 6.12) με βάθος να κατεβαίνει από 260m μέχρι 248m.

Εικ.6.12: Η καταβόθρα της πόλγης Σπηλιά

12. Πόλγη No12 απλώνεται δυτικα της πόλης Ανίανου παρακολουθεί κατεύθυνση του πιθανού ρήγματος από βορά προς νότο. Απλώνεται στα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή.

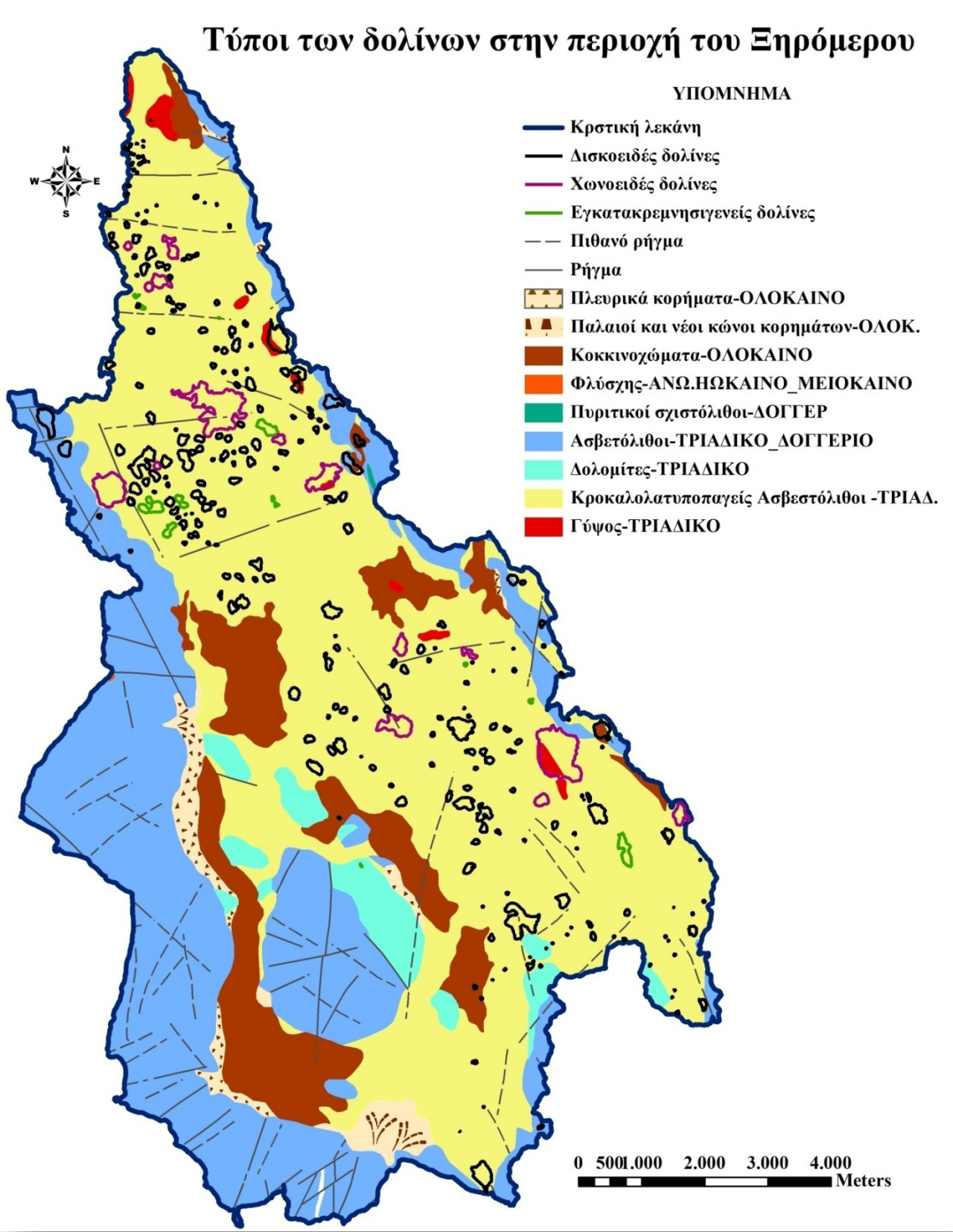
- Δυο καταβόθρες ενδιάμεσα των κοκκινοχωμάτων.

13.Πόλγη No13 στο βόρειο τμήμα της περιοχής, σε υψόμετρο 440m, ανάμεσα στις πλάγιες των βουνών Κούμαρος (482m), Οχυροί (545m) και Πυραμίς (684m), βόρεια από το χωριό Τρύφος.

- με διεύθυνση βόριο-βορειοδυτικά προς νότιο-νοτιοανατολικά, παρακολουθώντας το ρήγμα το οποίο περνάει πια ανατολικά στα πετρώματα των ασβεστόλιθων Παντοκράτορα και ασβεστόλιθων Βίργλας, παράλληλα με την διεύθυνση της πόλγης και της μοναδικής περιοδικής ροής.
- στο δάπεδο της πόλγης έχουμε τα κοκκινοχώματα, στη νοτιοδυτική πλευρά της πόλγης και της περιφέρειάς της έχουμε γύψους. Στη βόρειο-βορειοδυτική και νότια πλευρά της περιφέρειας έχουμε κροκαλολατυποπαγές, και στην ανατολική πλευρά της περιφέρειας έχουμε ασβεστόλιθους Παντοκράτορα. Πιο νοτιοανατολικά έχουμε ασβεστόλιθους Βίργλας. Στη νότιο-νοτιοανατολική πλευρά της περιφέρειας της πόλγης ανάμεσα στους ασβεστόλιθους Παντοκράτορα και Βίργλας έχουμε πολύ λεπτή ζώνη πλευρικών κορημάτων και παλαιών και νέων κώνων κορημάτων και ποτάμιων αποθέσεων η οποία παρακολουθεί το ρήγμα (στα όρια των ασβεστόλιθων Βίργλας και κορημάτων), με διεύθυνση προς βορειοδυτικά-δυτικά προς (πλάτος 200μ. μήκος 50μ),
- 12 δεξαμενές ύδατος στα κοκκινόχωματα,
- 4 καθαρότερες ενδιάμεσα στα κοκκινοχώματα,
- μια εκτεταμένη περιοδική ροή η οποία εισέρχεται στην πόλγη από τα νότιο-νοτιοανατολικά και χάνεται στα κοκκινοχώματα της πόλγης μετά από 200m.

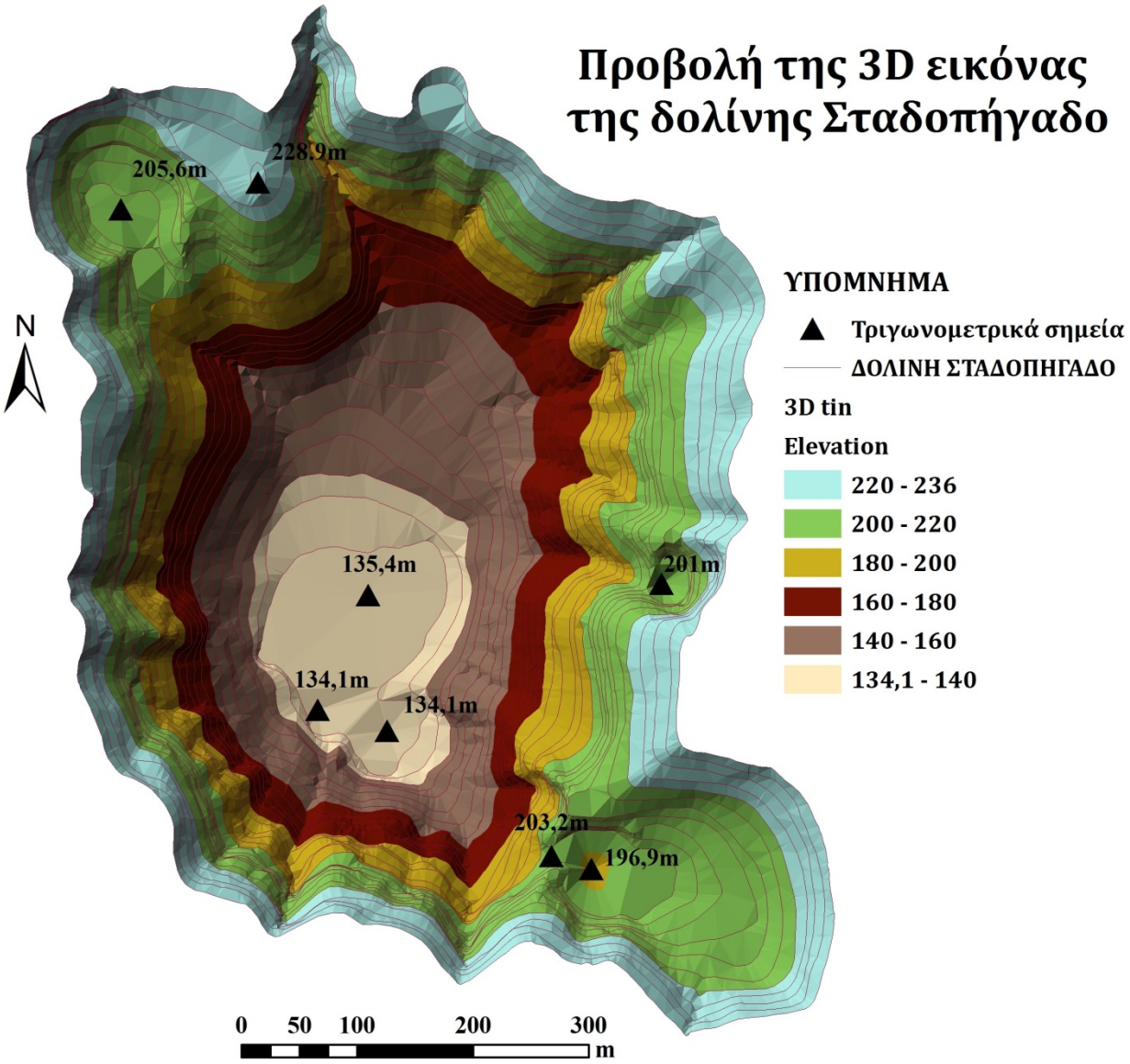
6.4. Οι δολίνες

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν 267 δολίνες, με το 87% να εξελίσσεται στα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή πετρώματα, το μέγεθος τους κυμαίνεται από μικρό, μεσαίο, μεγάλο, διαμορφώνονται σε επίπεδα πεδία και υπάρχουν επίσης και οι δολίνες επαφών δηλαδή μερικές δολίνες που αναπτύσσονται στα σημεία επαφής μεταξύ ασβεστολιθικών κροκαλολατυποπαγών πετρωμάτων και γύψου ή Τριαδικού ασβεστόλιθου (β.λ. παράρτημα: Καρστ Γεωμορφολογικός Χάρτης της περιοχής του Ξηρόμερου). Σημαντική είναι η ύπαρξη των λιμνοδολίνων στα κοκκινοχώματα και των ανθρωπογενών ψευδό λιμνοδολίνων που αντιπροσωπεύουν τις υδρο δεξαμενές, το πιο σημαντικό για την επιβίωση και ανάπτυξη της περιοχής μελέτης. Το σχήμα τους είναι κυρίως χωνοειδές, δισκοειδές και αστεροειδές (Εικόνα 6.13). Υπάρχουν κυρίως δολίνες διάλυσης και σπανιότερα εγκατακρημνησιγενείς.


Τύποι των δολίνων στην περιοχή του Ξηρόμερου
ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Κρστική λεκάνη
Δισκοειδές δολίνες
Χωνοειδές δολίνες
Εγκατακρεμνησιγενείς δολίνες
Πιθανό ρήγμα
Ρήγμα
Πλευρικά κορήματα-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
Παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων-ΟΛΟΚ.
Κοκκινοχώματα-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
Φλύσχης-ΑΝΩ.ΗΩΚΑΙΝΟ_ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ
Πυριτικοί σχιστόλιθοι-ΔΟΓΓΕΡ
Ασβετόλιθοι-ΤΡΙΑΔΙΚΟ_ΔΟΓΓΕΡΙΟ
Δολομίτες-ΤΡΙΑΔΙΚΟ
Κροκαλολατυποπαγείς Ασβεστόλιθοι -ΤΡΙΑΔ.
Γύψος-ΤΡΙΑΔΙΚΟ
N
W
E
S
0 500 1.000 2.000 3.000 4.000
Meters

Εικόνα 6.13

Με την χρήση του προγράμματος Arc GIS 9.3.1. δημιουργηθήκαν θεματικοί χάρτες (παράδειγμα: Εικόνα 6.14) και geodatabase των κυριών χαρακτηριστικών των δολινών και με βάση αυτές πραγματοποιηθήκαν μορφομετρικές αναλύσεις που εκτίθενται στον Πίνακα 6.3.



Εικ.6.14

Πινάκας 6.3: Μορφολογικά χαρακτηριστικά των δολινών της περιοχής του Ξηρόμερου

No.	***Μέγιστο υψόμετρο δολίνης (m)***	***Ελάχιστο υψόμετρο δολίνης (m)***	***Επιφάνεια της δόλινης (m^2)***	***Βάθος της δόλινης (m)***	***Διάμετρος δολίνης (km)***	***Γεωλογικές πληροφορίες***
1.	*240*	*134,1*	*493711*	*105,9*	*1,1 x 0,7*	*κροκαλο-λατυποπαγή, ασβεστόλιθος*
2.	*272*	*267,2*	*6255*	*4,8*	*1 x 0,6*	*ασβεστόλιθος*
3.	*260*	*256*	*337*	*4*	*0,02 x 0,02*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
4.	*252*	*250*	*738*	*2*	*0,05 x 0,04*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
5.	*228*	*225*	*3683*	*3*	*0,08 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
6.	*256*	*255*	*269*	*1*	*0,02 x 0,02*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
7.	*276*	*274*	*1797*	*2*	*0,06 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
8.	*268*	*206*	*2320*	*62*	*0,07 x 0,08*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
9.	*304*	*303*	*212*	*1*	*0,12 x 0,8*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
10.	*284*	*282,2*	*2889*	*1,8*	*0,08 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
11.	*288*	*284*	*981*	*4*	*0,05 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
12.	*288*	*287*	*211*	*1*	*0,03 x 0,02*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
13.	*264*	*263*	*345*	*1*	*0,03 x 0,02*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
14.	*280*	*268*	*97278*	*12*	*0,4 x 0,34*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

15.	*272*	*268*	*2020*	*4*	*0,26 x 0,21*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
16.	*252*	*251*	*567*	*1*	*0,3 x 0,21*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
17.	*244*	*232*	*18319*	*12*	*0,21 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
18.	*324*	*320*	*3156*	*4*	*0,07 x 0,53*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
19.	*260*	*258,2*	*10580*	*1,8*	*0,14 x 0,1*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
20.	*304*	*303,8*	*582*	*0,2*	*0,03 x 0,03*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
21.	*312*	*311*	*679*	*1*	*0,07 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
22.	*232*	*230,7*	*6624*	*1,3*	*0,1 x 0,6*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
23.	*216*	*212,8*	*49084*	*3,2*	*0,26 x 0,26*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
24.	*226*	*223*	*18145*	*3*	*0,17 x 0,14*	*κροκαλο-λατυποπαγή, ασβεστόλιθος*
25.	*268*	*267*	*543*	*1*	*00,4 X 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
26.	*274*	*273*	*345*	*1*	*0,06 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή,*
27.	*318*	*317*	*554*	*1*	*0,1 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
28.	*208*	*199*	*42685*	*9*	*0,34 x 0,15*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
29.	*264*	*261,8*	*7380*	*2,2*	*0,15 x 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
30.	*232*	*206*	*117921*	*28*	*0,53 x 0,12*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

31.	*212*	*210*	*3174*	*2*	*0,14 x 0,07*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
32.	*248*	*243,1*	*23826*	*4,9*	*0,2 x 0,16*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
33.	*248*	*247,9*	*2200*	*0,1*	*0,08 x 0,23*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
34.	*248*	*245*	*14340*	*3*	*0,19 x 0,09*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
35.	*208*	*198*	*40944*	*10*	*0,3 x 0,2*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
36.	*248*	*246,9*	*5393*	*1,1*	*0,1 x 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
37.	*252*	*251,5*	*510*	*0,5*	*0,026 x 0,23*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
38.	*252*	*248,2*	*5419*	*3,8*	*0,9 x 0,74*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
39.	*252*	*251,2*	*1581*	*0,8*	*0,05 x 0,36*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
40.	*253*	*252*	*1864*	*1*	*0,064 x 0,04*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
41.	*250*	*248,5*	*7367*	*1,5*	*0,11 x 0,08*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
42.	*226*	*224,2*	*6799*	*1,8*	*0,1 x 0,09*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
43.	*216*	*214*	*2568*	*2*	*0,12 X 0,56*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
44.	*258*	*255*	*19504*	*3*	*0,14 x 0,13*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
45.	*246*	*243*	*13786*	*3*	*0,15 X 0,09*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
46.	*254*	*251,9*	*3206*	*2,1*	*0,078 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
47.	*278*	*275,4*	*6909*	*2,6*	*0,11 x 0,7*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

48.	*242*	*241*	*4295*	*3*	*0,1 x 0,44*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
49.	*242*	*236*	*34076*	*8*	*0,31 x 0,09*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
50.	*348*	*347,6*	*258,1*	*0,4*	*0,56 x 0,46*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
51.	*254*	*250,3*	*13438*	*3,7*	*0,15 x 0,98*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
52.	*324*	*321*	*1516*	*3*	*0,52 x 0,36*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
53.	*368*	*363*	*15628*	*5*	*0,13 x 0,11*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
54.	*348*	*346,1*	*1997*	*1,9*	*0,6 x 0,4*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
55.	*344*	*341,3*	*5459*	*2,7*	*0,09 x 0,67*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
56.	*360*	*359,2*	*2058*	*1,8*	*0,6 x 0,38*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
57.	*360*	*353*	*15663*	*7*	*0,15 x 0,1*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
58.	*352*	*348,3*	*7731*	*1,7*	*0,98 x 0,9*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
59.	*348*	*343,8*	*8633*	*4,2*	*0,11 x 0,1*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
60.	*348*	*340,1*	*11948*	*7,9*	*0,14 x 0,11*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
61.	*340*	*327,9*	*20556*	*12,1*	*0,15 x 0,15*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
62.	*340*	*339,6*	*1388*	*0,4*	*0,46 x 0,40*	*κροκαλο-λατυποπαγ*
63.	*352*	*340,2*	*9735*	*11,8*	*0,11 x 0,10*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
64.	*360*	*356,8*	*5222*	*3,2*	*0,09 x 0,74*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

65.	*356*	*353*	*6430*	*3*	*0,10 x 0,073*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
66.	*332*	*329,1*	*7299*	*2,9*	*0,12 x 0,65*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
67.	*376*	*369,7*	*20055*	*5,3*	*0,16 x 0,14*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
68.	*348*	*345,1*	*5604*	*2,9*	*0,82 x 0,54*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
69.	*328*	*325*	*1407*	*3*	*0,1 x 0,08*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
70.	*332*	*324*	*15208*	*8*	*0,044 x 0,038*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
71.	*316*	*311*	*10894*	*5*	*0,13 x 0,12*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
72.	*344*	*333,7*	*14027*	*9,3*	*0,13 x 0,12*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
73.	*348*	*347,1*	*1428*	*0,9*	*0,05 x 0,03*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
74.	*348*	*339*	*9181*	*9*	*0,14 x 0,075*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
75.	*344*	*340,5*	*9113*	*3,5*	*0,1 x 0,087*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
76.	*344*	*342*	*348*	*2*	*0,02 x 0,017*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
77.	*356*	*350*	*18918*	*4*	*0,196 x 0,13*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
78.	*356*	*355,6*	*1005*	*0,4*	*0,04 x 0,028*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
79.	*356*	*345,1*	*16160*	*10,9*	*0,18 x 0,08*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
80.	*364*	*356,1*	*8495*	*7,9*	*0,1 x 0,098*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
81.	*352*	*351,1*	*1279*	*0,9*	*O,05 x 0,03*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

82.	*348*	*346*	*2668*	*2*	*0,065 x 0,057*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
83.	*284*	*243,5*	*130938*	*40,5*	*0,5 x 0,2*	*γύψος, κροκαλο-λατυποπαγή*
84.	*300*	*294,9*	*12605*	*5,1*	*0,12 x 0,10*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
85.	*292*	*289*	*11095*	*3*	*0,13 x 0,087*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
86.	*294*	*291,4*	*42954*	*2,6*	*0,4 x 0,07*	*κροκαλο-λατυποπαγή, ασβεστόλιθος*
87.	*290*	*286*	*7245*	*4*	*0,2 x 0,068*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
88.	*338*	*335,9*	*7032*	*2,1*	*O,15 x 0,067*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
89.	*342*	*340*	*2090*	*2*	*0,12 x 0,085*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
90.	*318*	*317,9*	*1130*	*0,1*	*0,054 x 0,044*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
91.	*318,5*	*322*	*11246*	*3,5*	*0,04 x 0,03*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
92.	*339*	*337*	*398*	*2*	*0,15 x 0,07*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
93.	*350*	*348*	*8300*	*2*	*0,055 x 0,046*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
94.	*350*	*348*	*789*	*2*	*0,14 x 0,14*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
95.	*354*	*351,5*	*11183*	*2,5*	*0,049 x0,045*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
96.	*323*	*322,8*	*2013*	*0,2*	*0,13 x 0,091*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
97.	*342*	*341,8*	*3556*	*0,2*	*0,052 x 0,043*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

98.	*342*	*339,6*	*3746*	*2,4*	*0,095 x 0,045*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
99.	*350*	*339,5*	*8146,29*	*10,5*	*0,07 x 0,069*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
100.	*346*	*339,8*	*45401,45*	*6,2*	*0,12 x 0,08*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
101.	*379*	*378,5*	*14267*	*0,5*	*0,21 x 0,038*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
102.	*362*	*360*	*213*	*2*	*0,16 x 0,1*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
103.	*370*	*368,2*	*4833,5*	*1,8*	*0,031 x 0,03*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
104.	*362*	*360*	*790*	*2*	*0,098 x 0,057*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
105.	*524*	*464*	*83156*	*40*	*0,022 x 0,014*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
106.	*380*	*376,1*	*15368*	*3,9*	*0,22 x 0,22*	*Ασβεστόλιθος*
107.	*460*	*418,5*	*38815*	*41,5*	*0,37 x 0,21*	*Ασβεστόλιθος*
108.	*452*	*428*	*4013*	*6*	*0,51 x 0,48*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
109.	*480*	*464*	*2096*	*16*	*0,22 x 0,19*	*Ασβεστόλιθος*
110.	*370*	*367,9*	*9903*	*2,1*	*0,60 x 0,55*	*κροκαλο-λατυποπαγή, ασβεστόλιθος*
111.	*379*	*378,5*	*5197*	*0,5*	*0,044 x 0,04*	*Ασβεστόλιθος*
112.	*378*	*361,8*	*22533*	*16,5*	*0,13 x 0,1*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
113.	*560*	*557,3*	*1599*	*2,7*	*0,97 x 0,062*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
114.	*420*	*419,1*	*4050*	*0,9*	*0,19 x 0,13*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

115.	*444*	*438,1*	*6208*	*5,9*	*0,5 x 0,4*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
116.	*372*	*268,2*	*10642*	*3,8*	*0,08 x 0,04*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
117.	*416*	*415,2*	*2789*	*0,8*	*0,04 x 0,035*	*κροκαλο-λατυποπαγ*
118.	*412*	*406,1*	*6459*	*5,9*	*0,14 x 0,09*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
119.	*400*	*398,8*	*1607*	*1,2*	*0,06 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
120.	*448*	*447,6*	*1394*	*0,4*	*0,09 x 0,085*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
121.	*524*	*512,1*	*13659*	*11,9*	*0,05 x 0,04*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
122.	*492*	*486,2*	*7517*	*5,8*	*0,038 x 0,036*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
123.	*376*	*375*	*3239*	*1*	*0,13 x 0,13*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
124.	*464*	*463,1*	*3512*	*0,9*	*0,09 x 0,09*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
125.	*492*	*491*	*2114*	*1*	*0,07 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
126.	*392*	*390,2*	*4508*	*1,8*	*0,07 x 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
127.	*384*	*383,8*	*1587*	*0,2*	*0,054 x 0,049*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
128.	*600*	*598*	*489*	*2*	*0,08 x 0,068*	*κροκαλο-λατυποπαγή,*
129.	*542*	*536,1*	*7860*	*5.9*	*0,05 x 0,04*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
130.	*542*	*536,2*	*5872*	*5,8*	*0, 026 x 0,02*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
131.	*498*	*494,1*	*6888*	*3,9*	*0,1 x 0,1*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

132.	*554*	*550,8*	*8611*	*3,2*	*0,09 x 0,08*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
133.	*394*	*393,5*	*706*	*0,5*	*0,14 x 0,6*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
134.	*382*	*381*	*16385*	*1*	*0,81 x 0,26*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
135.	*454*	*444,5*	*7846*	*0,5*	*0,03 x 0,03*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
136.	*410*	*407,9*	*10290*	*2,1*	*0,17 x 0,12*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
137.	*406*	*400,9*	*17272*	*5,1*	*0,1 x 0,08*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
138.	*526*	*525*	*3369*	*1*	*0,12 x 0,09*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
139.	*612*	*611,8*	*745*	*0,2*	*0,16 x 0,11*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
140.	*620*	*617,9*	*997*	*2,1*	*0,064 x 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
141.	*608*	*606,1*	*2917*	*1,9*	*0,26 x 0,20*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
142.	*580*	*571,9*	*11610*	*8,1*	*0,36 x 0,32*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
143.	*582*	*581,9*	*5699*	*0,1*	*0,66 x 0,53*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
144.	*580*	*572,2*	*9745*	*7,8*	*0,15 x 0,12*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
145.	*500*	*497,5*	*2805*	*2,5*	*0,97 x 0,09*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
146.	*536*	*527,8*	*15415*	*7,2*	*0,12 x0,08*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
147.	*408*	*402,2*	*11365*	*5,8*	*0,07 x 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
148.	*612*	*609,8*	*3542*	*2,2*	*0,18 x 0,1*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

149.	*572*	*559,5*	*10509*	*12,5*	*0,13 x 0,096*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
150.	*548*	*541*	*17230*	*7*	*0,086 x 0,052*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
151.	*594*	*586,8*	*4724*	*7,2*	*0,1 x 0,1*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
152.	*552*	*548,1*	*3125*	*3,9*	*0,196 x 0,09*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
153.	*530*	*529,1*	*981*	*0,9*	*0,098 x 0,057*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
154.	*512*	*510,2*	*3008*	*1,8*	*0,075 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
155.	*604*	*602*	*659*	*2*	*0,036 x 0,034*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
156.	*468*	*466*	*334*	*2*	*0,07 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
157.	*636*	*634*	*258*	*2*	*0,019 x 0,016*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
158.	*640*	*638*	*350*	*2*	*0,31 x 0,21*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
159.	*640*	*638*	*436*	*2*	*0,038 x 0,034*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
160.	*628*	*626*	*785*	*2*	*0,03 x 0,026*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
161.	*648*	*646*	*653*	*2*	*0,44 x 0,36*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
162.	*632*	*630*	*456*	*2*	*0,022 x 0,017*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
163.	*628*	*626*	*794*	*2*	*0,59 x 0,27*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
164.	*624*	*623,1*	*262*	*0,9*	*0,48 x 0,36*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
165.	*614*	*612*	*349*	*2*	*0,022 x 0,014*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

166.	*638*	*637,8*	*1174*	*0,2*	*0,020 x 0,015*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
167.	*640*	*638*	*547*	*2*	*0,016 x 0,017*	*Γύψος*
168.	*656*	*651,9*	*1471*	*4,1*	*0,041 x 0,036*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
169.	*654*	*653,2*	*1531*	*0,8*	*0,022 x 0,022*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
170.	*640*	*638*	*129*	*2*	*0,037 x 0,052*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
171.	*626*	*625,7*	*417*	*0,3*	*0,036 x 0,047*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
172.	*638*	*637,1*	*1839*	*0,9*	*0,064 x 0,036*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
173.	*634*	*631,3*	*2138*	*0,7*	*0,039 x 0,02*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
174.	*634*	*633,5*	*27682*	*0,5*	*0,064 x 0,032*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
175.	*280*	*277,1*	*3860*	*2,9*	*0,73 x 0,34*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
176.	*220*	*218*	*437*	*2*	*0,03 x 0,03*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
177.	*204*	*202*	*239*	*2*	*0,092 x 0,05*	*Ασβεστόλιθος*
178.	*204*	*195,5*	*83778*	*8,5*	*0,018 x 0,018*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
179.	*276*	*268,5*	*14459*	*14,5*	*0,017 x 0,013*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
180.	*292*	*291,3*	*12219*	*0,7*	*0,36 x 0,26*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
181.	*336*	*328*	*1893*	*2*	*0,14 x 0,13*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
182.	*328*	*326*	*349*	*2*	*0,13 x 0,08*	*κροκαλο-λατυποπαγή,*

						ασβεστόλιθος
183.	*316*	*311,1*	*856*	*4,9*	*0,04 x 0,04*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
184.	*296*	*294*	*328*	*2*	*0,02 x 0,12*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
185.	*328*	*323*	*7191*	*5*	*0,03 x 0,03*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
186.	*328*	*327,5*	*3881*	*0,5*	*0,031 x 0,027*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
187.	*324*	*322*	*476*	*2*	*0,084 x 0,072*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
188.	*312*	*311*	*1261*	*1*	*0,1 x 0,45*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
189.	*296*	*264*	*523*	*2*	*0,016 x 0,018*	*Δολομίτης*
190.	*230*	*225,5*	*2665*	*4,5*	*O,04 x 0,036*	*κροκαλο-λατυποπαγή, δολομίτης*
191.	*252*	*248*	*5325*	*4*	*0,017 x 0,018*	*κροκαλο-λατυποπαγή, δολομίτης*
192.	*208*	*204,2*	*3069*	*3,8*	*0,057 x 0,053*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
193.	*256*	*252*	*679*	*4*	*0,08 x 0,074*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
194.	*368*	*352*	*2470*	*16*	*0,06 x 0,056*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
195.	*336*	*328*	*758*	*8*	*0,036 x 0,027*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
196.	*296*	*292*	*342*	*4*	*0,049 x 0,040*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
197.	*300*	*298*		*2*	*0,031 x 0,027*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

198.	*300*	*298*		*2*	*0,023 x 0,022*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
199.	*256*	*254*	*359*	*2*	*0,027 x 0,024*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
200.	*292*	*290*	*578*	*2*	*0,019 x 0,018*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
201.	*402*	*401,7*	*890*	*0,3*	*0,017 x 0,016*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
202.	*238*	*236*	*453*	*2*	*0,022 x 0,009*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
203.	*292*	*290*	*323*	*2*	*0,044 x 0,025*	*κροκαλο-λατυποπαγή, δολομίτης*
204.	*269*	*265,2*	*752*	*3,8*	*0,037 x 0,034*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
205.	*316*	*300*	*1498*	*16*	*0,02 x 0,017*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
206.	*328*	*319,1*	*58998*	*8,9*	*0,035 x 0,028*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
207.	*272*	*259,8*	*21021*	*12,2*	*0,035 x 0,034*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
208.	*324*	*319,6*	*4517*	*4,4*	*0,35 x 0,32*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
209.	*232*	*230*	*378*	*2*	*0,16 x 0,12*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
210.	*300*	*298*	*456*	*2*	*0,05 x 0,04*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
211.	*380*	*378,1*	*7706*	*1,9*	*0,028 x 0,025*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
212.	*348*	*333,4*	*30960*	*14,6*	*0,1 x 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
213.	*352*	*348,6*	*5851*	*3,4*	*0,11 x 0,08*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

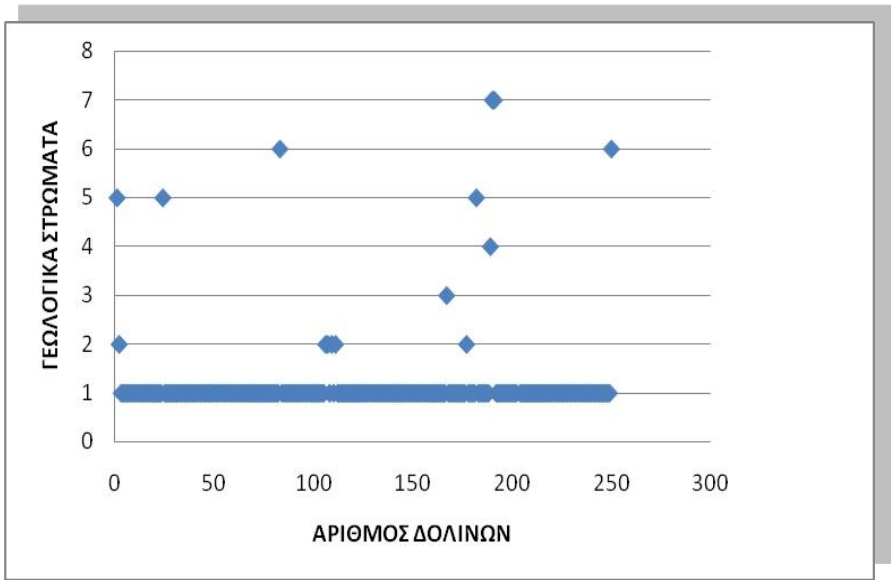
214.	*296*	*291*	*28056*	*5*	*0,23 x 0,14*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
215.	*396*	*392*	*1141*	*4*	*0,09 x 0,07*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
216.	*304*	*302,1*	*3100*	*1,9*	*0,19 x 0,16*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
217.	*328*	*324*	*663*	*4*	*0,042 x 0,037*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
218.	*308*	*304*	*10857*	*4*	*0,067 x 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
219.	*300*	*296,8*	*8697*	*3,2*	*0,033 x 0,032*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
220.	*312*	*316*	*889*	*4*	*0,13 x 0,11*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
221.	*260*	*255*	*35619*	*5*	*0,11 x 0,07*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
222.	*260*	*258*	*358*	*2*	*0,04 x 0,038*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
223.	*264*	*259,7*	*6166*	*4,3*	*0,24 x 0,23*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
224.	*272*	*269,8*	*3272*	*2,2*	*0,023 x 0,016*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
225.	*256*	*253,7*	*9601*	*2,3*	*0,085 x 0,078*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
226.	*272*	*270*	*5885*	*2*	*0,07 x 0,049*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
227.	*292*	*291*	*1779*	*1*	*0,16 x 0,07*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
228.	*256*	*250,5*	*43228*	*5,5*	*0,12 x 0,1*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
229.	*314*	*307,2*	*7596*	*6,8*	*0,048 x 0,04*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
230.	*294*	*293*	*2847*	*1*	*0,24 x 0,23*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

231.	*262*	*261,8*	*457*	*0,2*	*0,09 x 0,088*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
232.	*280*	*277,1*	*1322*	*2,9*	*0,066 x 0,058*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
233.	*330*	*328*	*492*	*2*	*0,024 x 0,023*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
234.	*330*	*328*	*247*	*2*	*0,036 x ,0048*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
235.	*386*	*384*	*258*	*2*	*0,064 x 0,038*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
236.	*276*	*272*	*407*	*4*	*0,018 x 0,015*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
237.	*374*	*372*	*789*	*2*	*0,027 x 0,026*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
238.	*270*	*268*	*2006*	*2*	*0,022 x 0,022*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
239.	*258*	*356*	*263*	*2*	*0,011 x 0,011*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
240.	*258*	*256,2*	*17780*	*1,8*	*0,09 x 0,078*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
241.	*252*	*350*	*405*	*2*	*0,018 x 0,024*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
242.	*248*	*240*	*15543*	*8*	*0,1 x 0,18*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
243.	*254*	*253,7*	*12562*	*0,3*	*0,17 x 0,14*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
244.	*258*	*256*	*12606*	*2*	*0,019 x 0,014*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
245.	*258*	*257,2*	*10664*	*0,8*	*0,13 x 0,11*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
246.	*258*	*256*	*3769*	*2*	*0,15 x 0,085*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
247.	*262*	*260*	*129*	*2*	*0,09 x 0,07*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

248.	*232*	*230,7*	*6624*	*1,3*	*0,1 x 0,6*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
249.	*216*	*212,8*	*49084*	*3,2*	*0,26 x 0,26*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
250.	*226*	*223*	*18145*	*3*	*0,17 x 0,14*	*κροκαλο-λατυποπαγή, ασβεστόλιθος*
251.	*268*	*267*	*543*	*1*	*00,4 X 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
252.	*274*	*273*	*345*	*1*	*0,06 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή,*
253.	*318*	*317*	*554*	*1*	*0,1 x 0,05*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
254.	*208*	*199*	*42685*	*9*	*0,34 x 0,15*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
255.	*264*	*261,8*	*7380*	*2,2*	*0,15 x 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
256.	*232*	*206*	*117921*	*28*	*0,53 x 0,12*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
257.	*212*	*210*	*3174*	*2*	*0,14 x 0,07*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
258.	*248*	*243,1*	*23826*	*4,9*	*0,2 x 0,16*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
259.	*248*	*247,9*	*2200*	*0,1*	*0,08 x 0,23*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
260.	*248*	*245*	*14340*	*3*	*0,19 x 0,09*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
261.	*208*	*198*	*40944*	*10*	*0,3 x 0,2*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
262.	*248*	*246,9*	*5393*	*1,1*	*0,1 x 0,06*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
263.	*252*	*251,5*	*510*	*0,5*	*0,026 x 0,23*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

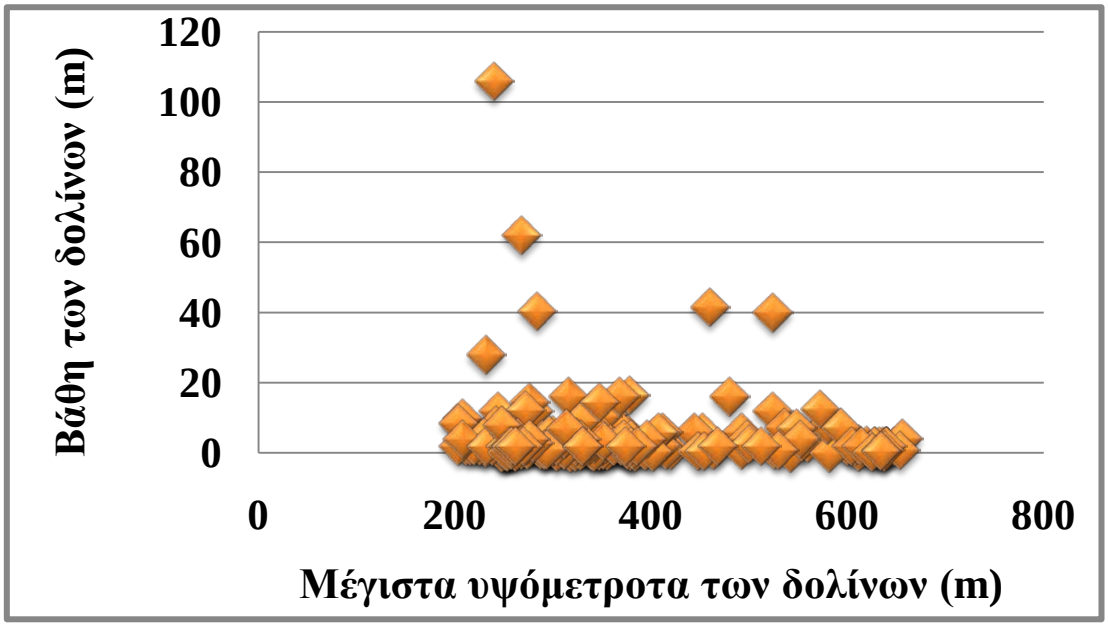
264.	*252*	*248,2*	*5419*	*3,8*	*0,9 x 0,74*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
265.	*252*	*251,2*	*1581*	*0,8*	*0,05 x 0,36*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
266.	*253*	*252*	*1864*	*1*	*0,064 x 0,04*	*κροκαλο-λατυποπαγή*
267.	*542*	*536,2*	*5872*	*5,8*	*0, 026 x 0,02*	*κροκαλο-λατυποπαγή*

Βάσει του Πινάκα 7.3 δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνες: 6.15, 6.16, 6.17, 6.18) σχέσεων των κύριων χαρακτηριστικών των μορφομετρικών αναλύσεων:

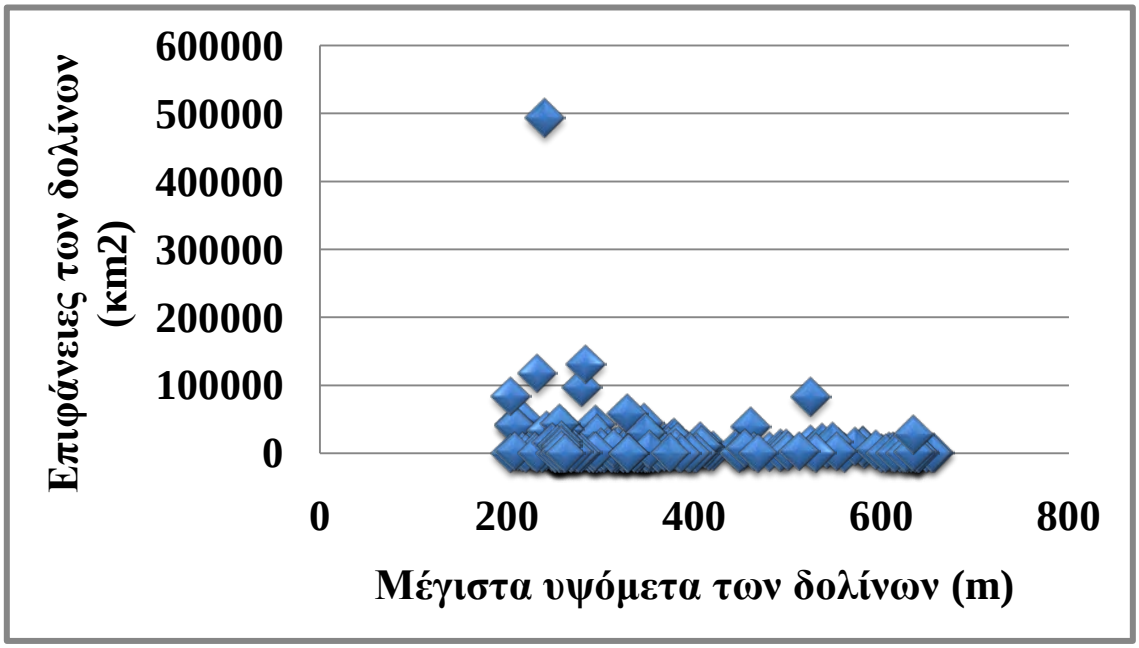


1. κροκαλολατυποπαγή
2. ασβεστόλιθος
3. γύψος
4. δολομίτης
5. κροκαλολατυποπαγή, ασβεστόλιθος
6. γύψος
7. κροκαλολατυποπαγή, δολομίτη

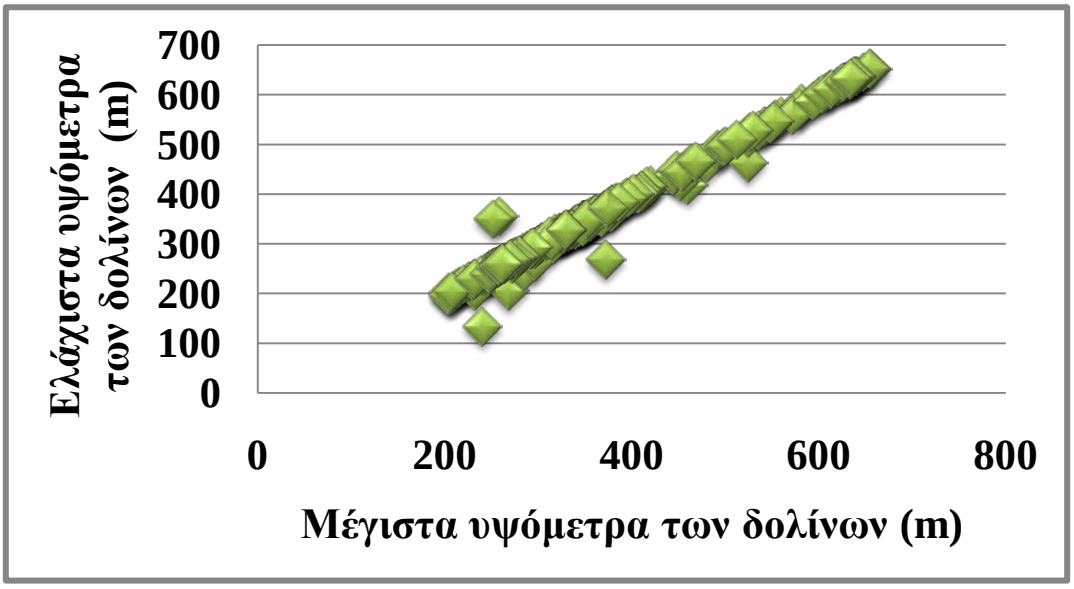
Εικ.6.15: Διαγραμματική απεικόνιση του αριθμού των δολινών σε σχέση με το τύπο του γεωλογικού υπόβαθρου της περιοχής του Ξηρόμερου



Εικ.6.16: Διαγραμματική απεικόνιση των βαθών των δολινών σε σχέση με τα μέγιστα υψόμετρα των δολινών του Ξηρόμερου



Εικ.6.17: Διαγραμματική απεικόνιση των μέγιστων υψόμετρων των δολινών σε σχέση με τις επιφάνειες των δολινών της περιοχής του Ξηρόμερου



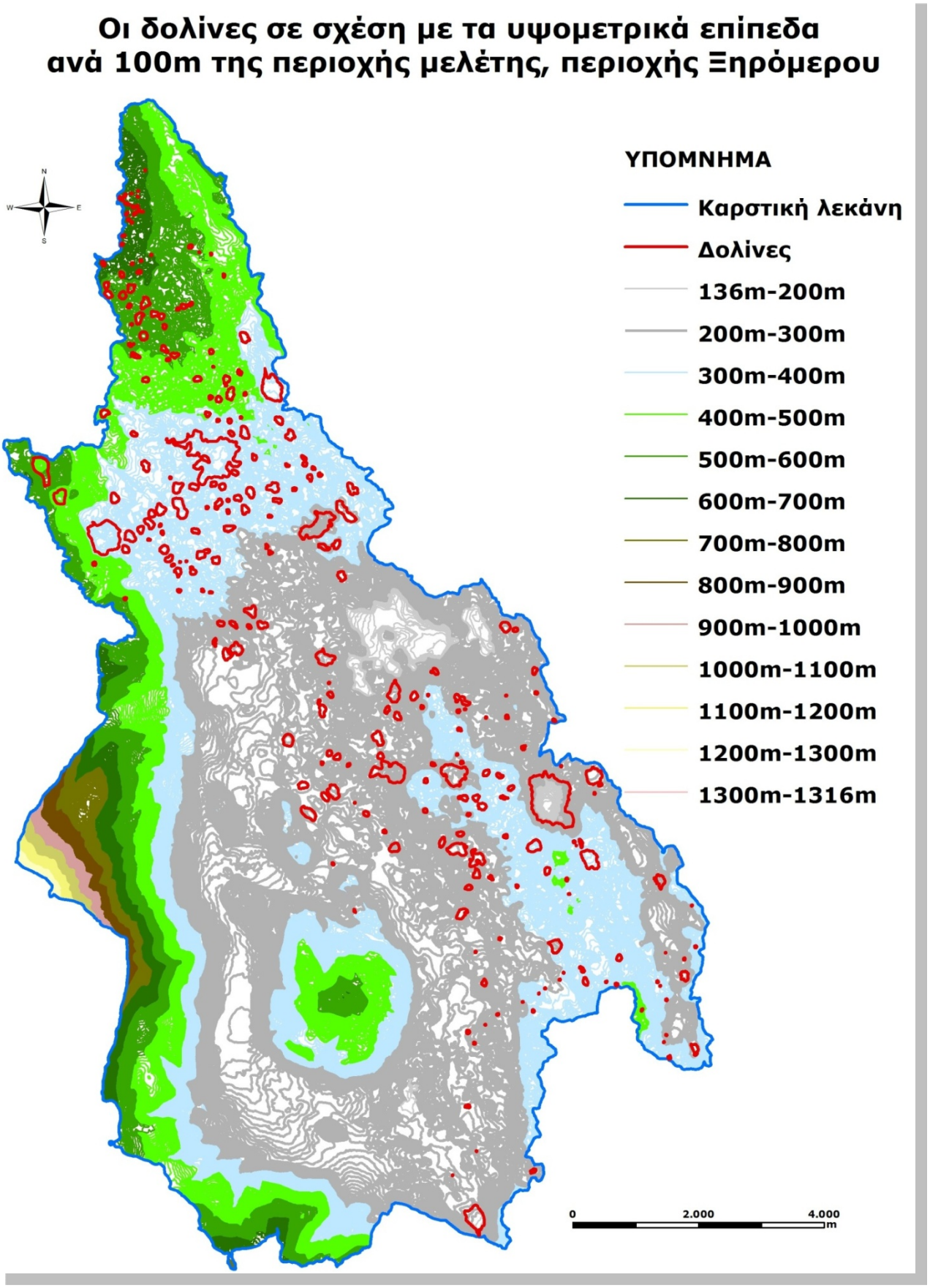
Εικ.6.18: Διαγραμματική απεικόνιση των μέγιστων υψόμετρων των δολινών σε σχέση με τα ελάχιστα υψόμετρα των δολινών της περιοχής του Ξηρόμερου

6.4.1. Γεωγραφική ανασκόπηση των δολινών

Οι δολίνες της περιοχής μελέτης απλώνονται 85% σε υψόμετρα από 200m μέχρι 300m (Πινάκας 6.4, Εικόνα 6.19). Στο παρακάτω κείμενο έγινε γεωγραφική ανάλυση των πολγών.

Πίνακας 6.4. Ο αριθμός των δολινών σε σχέση με το υψόμετρο της περιοχής του Ξηρόμερου

Υψομετρικά επίπεδα (m)	**Νο. Δολίνες**
136 - 200	**102**
200 – 300	**100**
300 – 400	**20**
400 – 500	**21**
500 – 600	**24**
600 – 700	-
700 – 800	-
800 – 900	-
900 – 1000	-
1000 – 1100	-
1100 – 1200	-
1200 - 1300	-
1300 – 1316	-
∑	**267**


Οι δολίνες σε σχέση με τα υψομετρικά επίπεδα
ανά 100m της περιοχής μελέτης, περιοχής Ξηρόμερου
ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Καρστική λεκάνη
Δολίνες
136m-200m
200m-300m
300m-400m
400m-500m
500m-600m
600m-700m
700m-800m
800m-900m
900m-1000m
1000m-1100m
1100m-1200m
1200m-1300m
1300m-1316m
N
W
E
S
0
2.000
4.000
m

Εικόνα 6.19

Οι δολίνες με βάση την υψομετρική διακύμανση από βορά προς νότο είναι:

1. Πιο νοτιά, κάτω από την προηγούμενη περιοχή, κάτω από το χωριό Τρύφος, **από 600m μέχρι 500m**, με μήκος 5km υπάρχουν 24 δολίνες.

   Οι δολίνες είναι στα κροκαλολατυποπαγή.

   Έχουμε εμφάνιση δυο πιθανών ρηγμάτων, ένα με διεύθυνση βορά προς νότο, δυτικά από τις δολίνες, και άλλο κάτω από τις δολίνες, σε υψόμετρο περίπου 480m -500m με διεύθυνση δυτικά προς ανατολικά.

2. Πιο νοτιά, κάτω από την προηγούμενη περιοχή, **500m μέχρι 400m**, όπου το υψόμετρο ανεβαίνει από νότο προς βορά, με μήκος 1km, υπάρχουν 21 δολίνες.

   Η περιοχή είναι στα κροκαλολατυποπαγή.

3. Από τα **400m μέχρι 300m**, με μήκος 4km υπάρχουν 20 δολίνες.
   - Η δολίνη Χώνες (Εικόνα 6.20), στα 352m όπου έχουμε μια καταβόθρα η οποία παρακολουθεί το ρήγμα (Εικόνα 6.21) με διεύθυνση βόρειο-βορειοανατολικά προς νότιο-νοτιοδυτικά.

Εικ.6.20: Δολίνη Χώνες

Εικ.6.21: Δολίνη Χώνες, το ρήγμα

- Η εξέλιξη της δολίνης είναι από βορά προς νοτιοανατολικά.
- Είναι στα κροκαλολατυποπαγή.
- Στα δυτικά εντοπίζονται στρώματα γύψου όπου το υψόμετρο ανεβαίνει απότομα στα 460m.
- Πιο βόρεια από την δολίνη υπάρχει ένα ποτάμι περιοδικής ροής (Εικόνες: 6.22, 6.23), όπου το ακολουθούν πέντε επίγειες δεξαμενές ύδατος οι οποίες έχουν κοκκινοχώματα στην βάση. Πολύ κοντά στη δολίνη στην ανατολική πλευρά της βρίσκεται και ένα φρέαρ στα 380m.

Εικ.6.22: Το κανάλι από την δολιίνη Χώνες

Εικ.6.23: Το κανάλι προς την δολίνη Χώνες

- **Η δολίνη Ύψιλον** είναι στο δυτικό τμήμα της περιοχής, έχει σταδιακή εξέλιξη, πρώτο στάδιο είναι στα 360m και το δεύτερο είναι στα 340m υψόμετρο. Είναι στα κροκαλολατυποπαγή, επίσης στη δυτική και νοτιοδυτική πλευρά έχουμε εμφανίσεις των ασβεστολίθων του Παντοκράτορα οι οποίοι κατεβαίνουν μέχρι το δεύτερο στάδιο της εξέλιξης.

- **Η δολίνη Αγκίστρια** είναι στο βόρειο-κεντρικό τμήμα της περιοχής, με χαμηλότερο υψόμετρο στα 337m. Η δολίνη είναι στα κροκαλολατυποπαγή. Στα νότιά της περνάει ένα πιθανό ρήγμα με διεύθυνση νότιο-νοτιοδυτικά προς νότιο-βορειοανατολικά. Έχει μια περιοδική ροή η οποία έρχεται προς τη δολίνη με διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά, αρχίζει στα 380m και χάνεται στην δολίνη.

4. Στο κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής, κάτω από την προηγούμενη περιοχή, από βορά προς νότο, **από 300m μέχρι 200m υψόμετρο έχουμε 100 δολίνες και από 200m μέχρι 100m υψόμετρο έχουμε 102 δολίνες,** με χαμηλότερο υψόμετρο στα 103m στον πυθμένα της δολίνης Σταδοπήγαδο (στα 200m). Αυτή η περιοχή είναι σαν απαλό κυματοειδές πυκνό επίπεδο δολίνων.

- **Η δολίνη Παλαιοσκοπία,** είναι περίπου 1km πιο δυτικά από το χωριό Κατούνα, έχει σταδιακή εξέλιξη. Το πρώτο στάδιο είναι στα 280m και το δεύτερο στα 240m. Είναι στο κροκαλολατυποπαγές. Στη νότιο-νοτιοανατολική πλευρά έχουμε εμφάνιση των γύψων οι

οποίες κατεβαίνουν μέχρι το δεύτερο στάδιο της εξέλιξης στα 280m της δόλινης, στο τμήμα όπου εμφανίζεται και μια καταβόθρα.

- **Η δολίνη Σταδοπήγαδο** (Εικόνα 6.24) είναι 400m μακριά από το χωριό Κονοπίνα προς νοτιοανατολικά.

Εικ.6.24: Πανόραμα της δολίνης Σταδοπήγαδο

- Με πιο μικρό υψόμετρο στα 130m, μήκος 800m, και πλάτος 550m, βρίσκεται στα κροκαλολατυπαπαγή, Το μικρότερο υψόμετρο είναι στα 130m.
- Στη δυτική πλευρά της δόλινης υπάρχει ρήγμα (Εικόνα 6.25) με κατεύθυνση βόρειο-βορειοδυτικά προς νότιο-νοτιοανατολική η επιφάνεια της δυτικής πλαγίας είναι στις γύψους (Εικόνα 6.26), ενώ αυτή η πλευρά έχει πολύ απότομη πλαγιά με κλίση 70° – 80°.

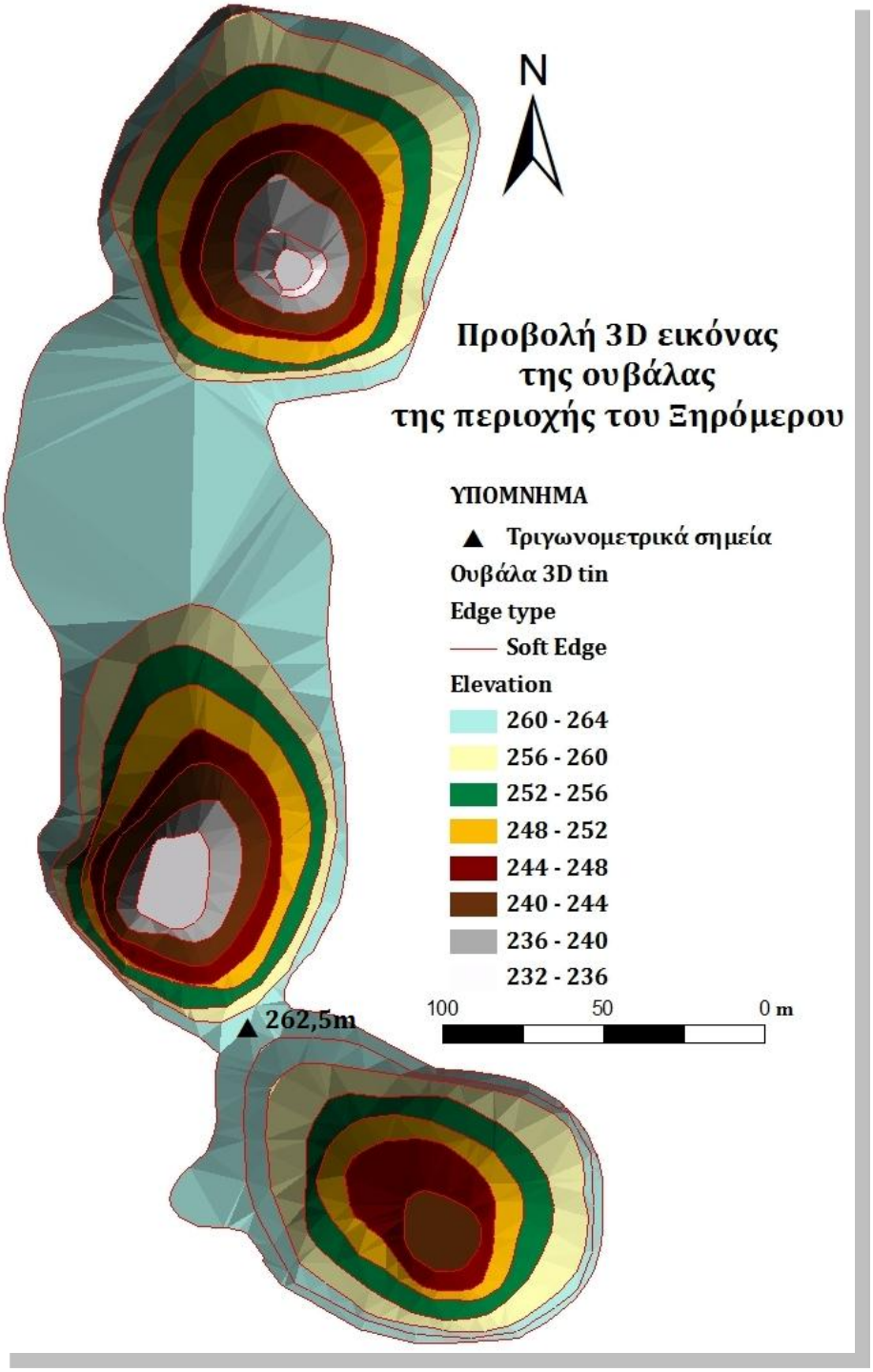
Εικ.6.25: Το ρήγμα της δολίνης Σταδοπήγαδα

Εικ.6.26: Γύψος της δολινής Σταδοπήγαδο

- Έχει χοανοειδή σταδιακή εξέλιξη, σε έξι στάδια στα 240m -βασικό, 220m, 200m, 180m. 160m, 140m.
- Στην περιφέρειά της υπάρχουν 7 επίγειες δεξαμενές ύδατος.

6.5. Οι ουβάλες, γεωγραφική ανασκόπηση

Με την χρήση του προγράμματος Arc GIS 9.3.1. δημιουργηθήκαν θεματικοί χάρτες (6.27) και geodatabase (Πίνακας 7.5, Εικόνα) των κυριών χαρακτηριστικών των ουβάλων.



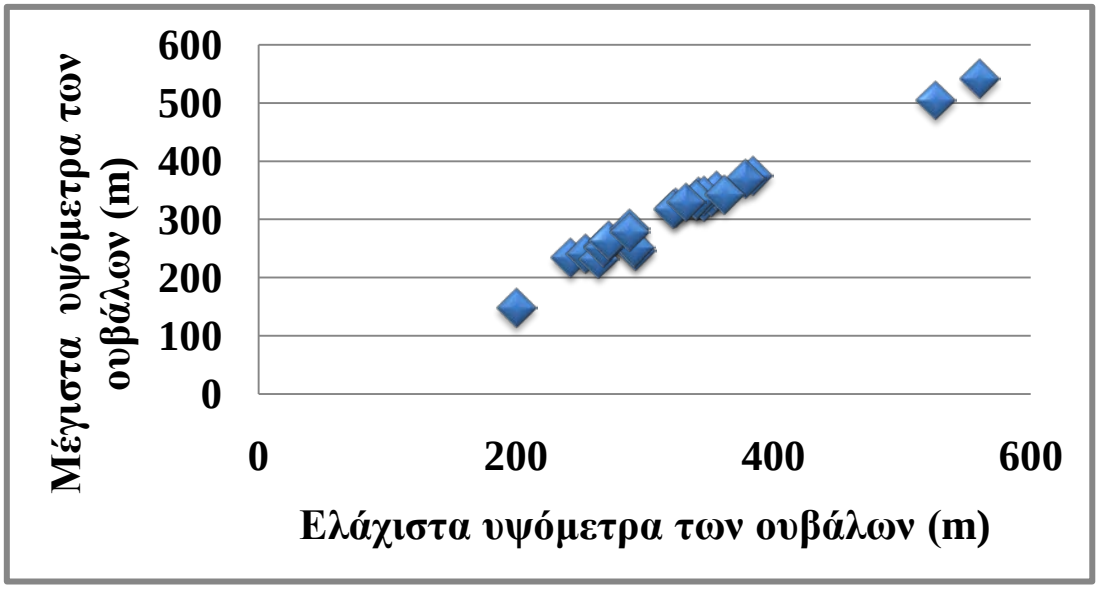
Εικόνα 6.27

Κατά τη συνεχή εξέλιξη και ένωση των δυο ή τριών, δολινών, στην περιοχή μελέτης, εξελίχτηκαν 23 ουβάλες στα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή πετρώματα (Πινάκας 6.5).

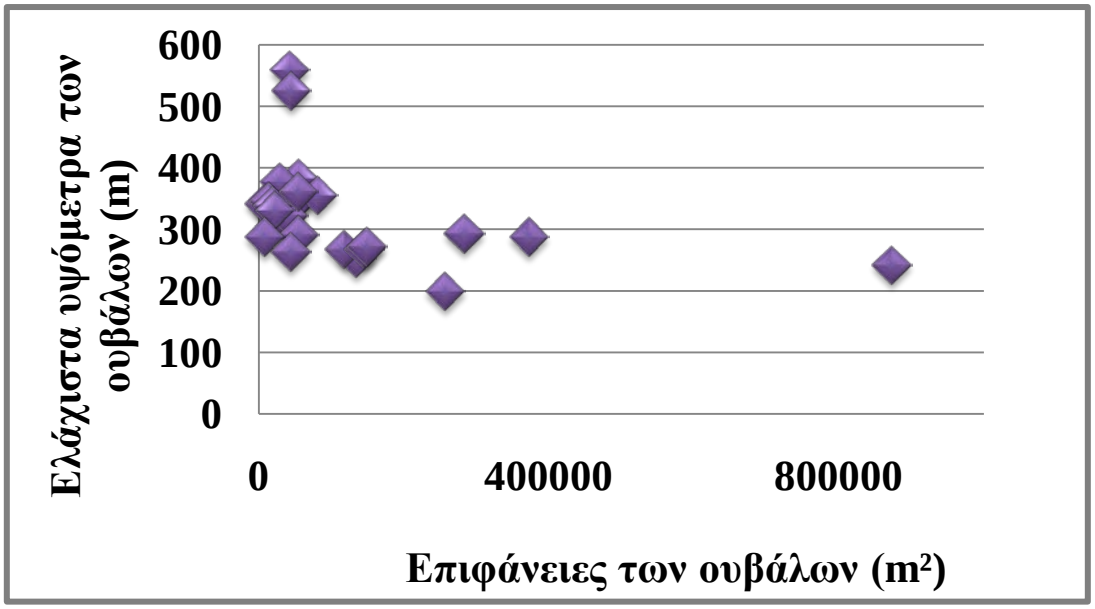
Πινάκας 6.5: Μορφολογικά χαρακτηριστικά των ουβάλων της περιοχής του Ξηρόμερου

No.	*Μέγιστο υψόμετρο της ουβάλας (m)*	*Ελάχιστο υψόμετρο της ουβάλας (m)*	*Βάθος της ουβάλας (m)*	*Επιφάνεια της ουβάλας (m^2)*	*Όγκος ουβάλας (m^3)*
1.	*148*	*200*	*16*	*257197*	*2115516*
2.	*234*	*242,3*	*8,3*	*872811*	*3258905*
3.	*331,8*	*340*	*8,2*	*45566*	*147254*
4.	*330,5*	*346*	*15,5*	*22863*	*214069*
5.	*375,1*	*384*	*8,9*	*55178*	*291960*
6.	*340*	*352*	*8*	*54919*	*386120*
7.	*319,6*	*324*	*4,4*	*30731*	*54626*
8.	*241*	*254*	*13*	*134788*	*875409*
9.	*246,4*	*292,8*	*46,4*	*283338*	*6926259*
10.	*541,9*	*560*	*18,1*	*42912*	*552712*
11.	*340*	*342*	*2*	*8159*	*11212*
12.	*317,8*	*322*	*4,2*	*39957*	*83871*
13.	*349,1*	*356*	*6,9*	*81729*	*382058*
14.	*370*	*378*	*8*	*28632*	*148807*
15.	*504,9*	*526*	*21,1*	*44687*	*459494*
16.	*252*	*292*	*40*	*54582*	*1148332*
17.	*341,1*	*346*	*4,9*	*14046*	*49292*
18.	*333,6*	*340*	*6,4*	*18934*	*64315*
19.	*342,9*	*362*	*19,1*	*53951*	*669694*
20.	*330,1*	*332*	*1,9*	*22001*	*30949*
21.	*232*	*264*	*32*	*43617*	*860484*
22.	*253,3*	*268*	*14,7*	*118068*	*926871*
23.	*250,9*	*268*	*17,1*	*143998*	*1485259*

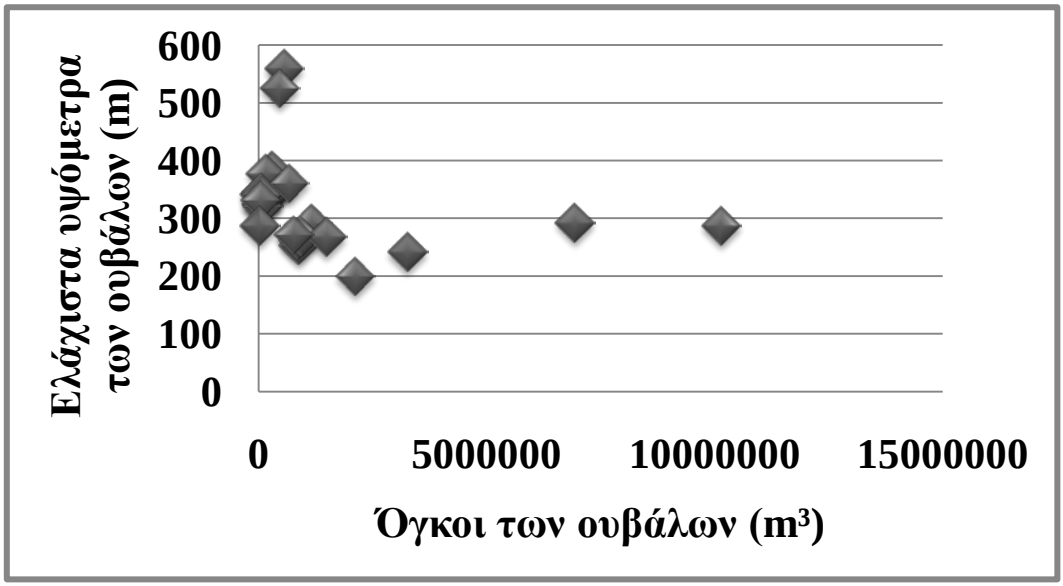
Βάσει του Πινάκα 6.5 δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνες: 6.28, 6.29, 6.30) σχέσεων των κύριων χαρακτηριστικών των μορφομετρικών αναλύσεων:



Εικ.6.28: Διαγραμματική απεικόνιση των μέγιστων υψομέτρου των ουβάλων σε σχέση με τα ελάχιστα υψόμετρα των ουβάλων της περιοχής του Ξηρόμερου



Εικ.6.29: Διαγραμματική απεικόνιση των ελάχιστων υψόμετρων των ουβάλων σε σχέση με τις επιφάνειες των ουβάλων της περιοχής του Ξηρόμερου

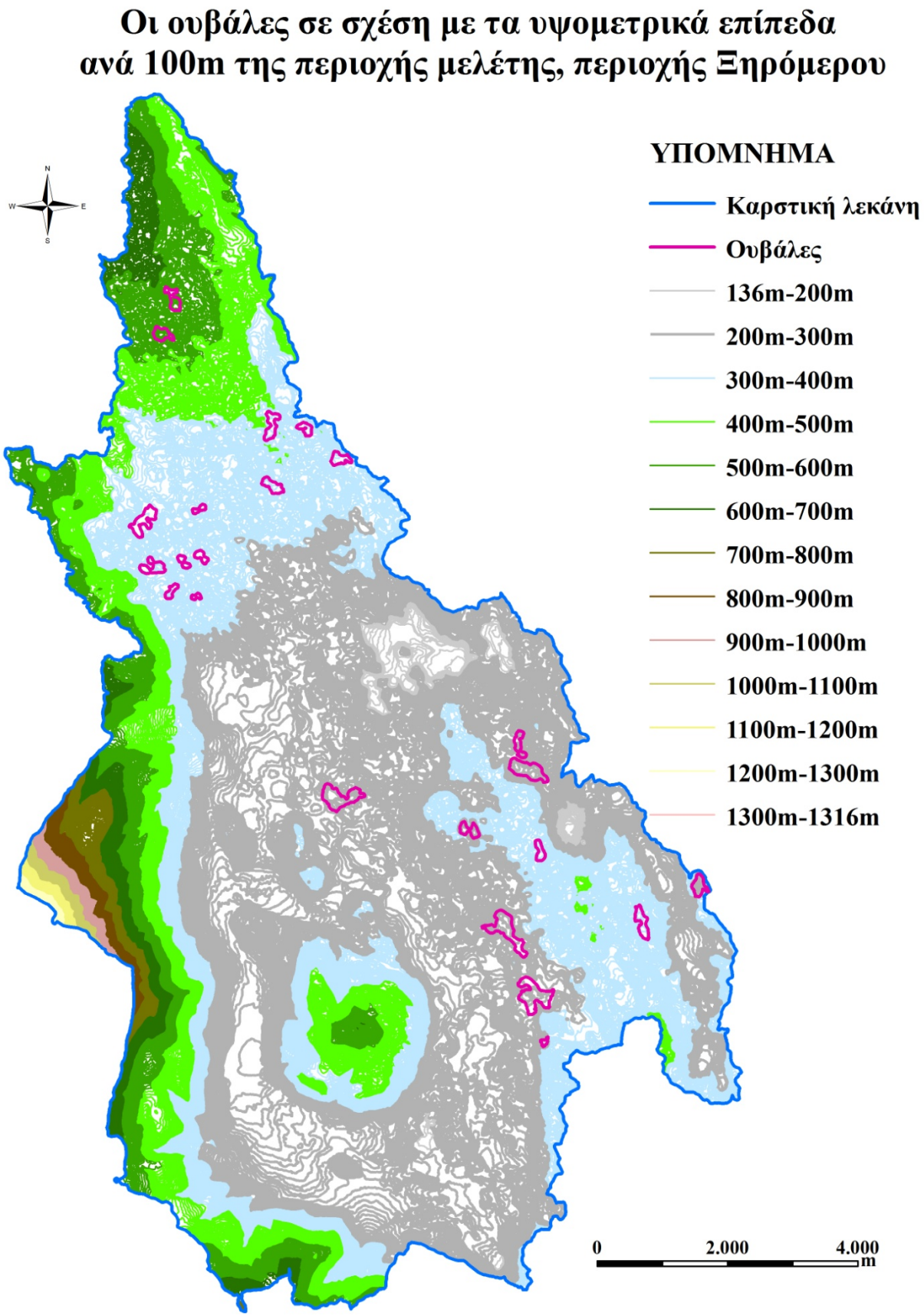


Εικ.6.30: Διαγραμματική απεικόνιση των ελάχιστων υψόμετρων των ουβάλων σε σχέση με τους όγκους των ουβάλων της περιοχής του Ξηρόμερου

Οι ουβάλες της περιοχής μελέτης απλώνονται στα υψόμετρα από 200m μέχρι 400m (Πίνακας 6.6, Εικόνα 6.31). Στο παρακάτω κείμενο έγινε γεωγραφική ανάλυση των ουβάλων.

Πινάκας 6.6: Ο αριθμός των ουβάλων σε σχέση με το υψόμετρο της περιοχής του Ξηρόμερου

Υψομετρικά επίπεδα (m)	**No. Ουβάλες**
136 - 200	-
200 – 300	**8**
300 – 400	**13**
400 – 500	-
500 – 600	**2**
600 – 700	-
700 – 800	-
800 – 900	-
900 – 1000	-
1000 – 1100	-
1100 – 1200	-
1200 - 1300	-
1300 – 1316	-
∑	**23**


Οι ουβάλες σε σχέση με τα υψομετρικά επίπεδα
ανά 100m της περιοχής μελέτης, περιοχής Ξηρόμερου
ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Καρστική λεκάνη
Ουβάλες
136m-200m
200m-300m
300m-400m
400m-500m
500m-600m
600m-700m
700m-800m
800m-900m
900m-1000m
1000m-1100m
1100m-1200m
1200m-1300m
1300m-1316m
0
2.000
4.000
m

Εικόνα 6.31

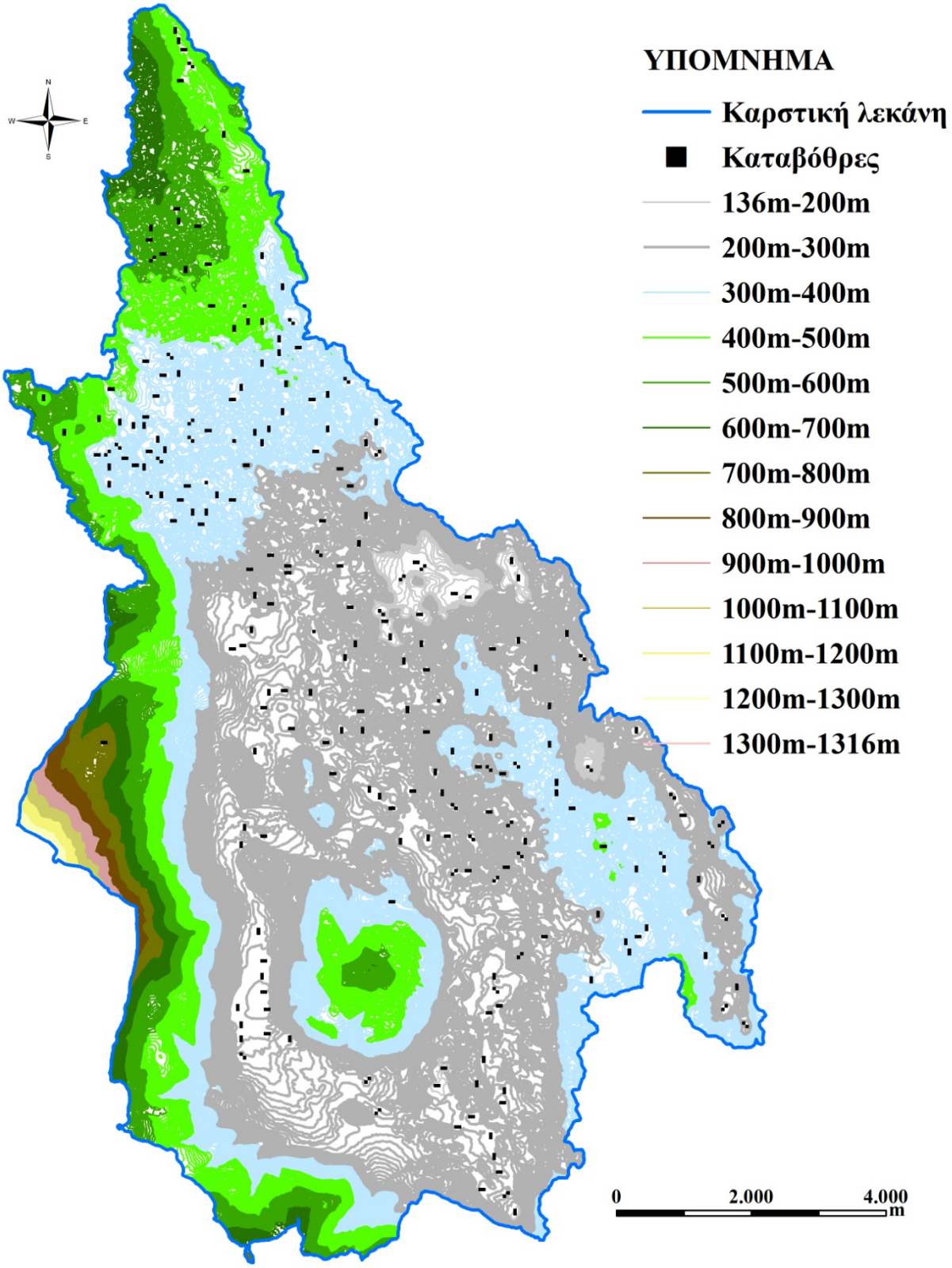
6.6. Καταβόθρες

Με την χρήση του προγράμματος Arc GIS 9.3.1. δημιουργηθήκαν θεματικοί χάρτες και geodatabase των κυριών χαρακτηριστικών των καταβόθρων και με βάση αυτές πραγματοποιηθήκαν μορφομετρικές αναλύσεις που εκτίθενται στον Πίνακα 6.7, Εικόνα 6.32.

Πίνακας 6.7: Ο αριθμός των καταβόθρων σε σχέση με το υψόμετρο της περιοχής του Ξηρόμερου

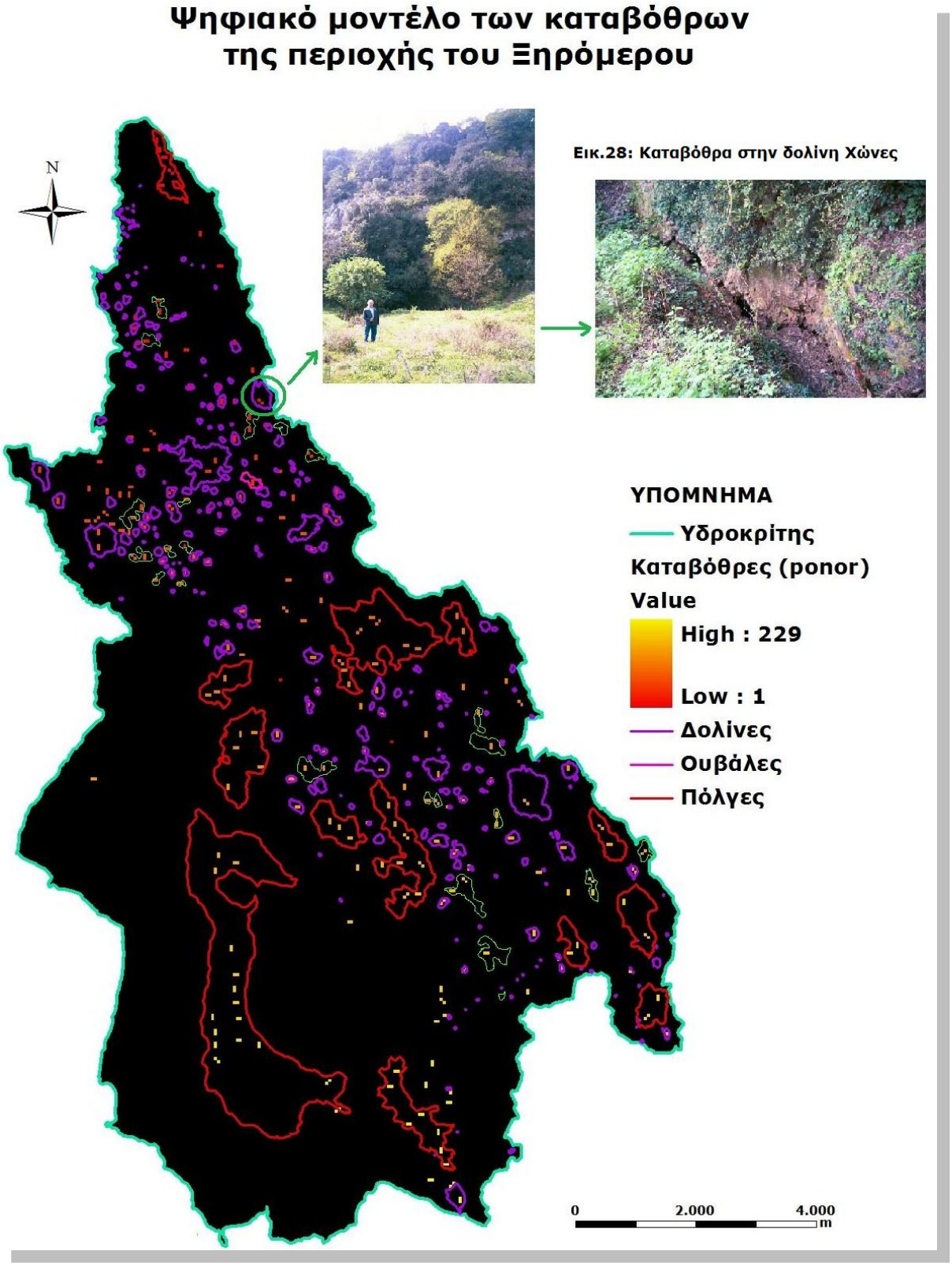
Υψομετρικά επίπεδα	**No. Καταβόθρες**
136min. - 200	**15**
200 – 300	**142**
300 – 400	**67**
400 – 500	**19**
500 – 600	
600 – 700	-
700 – 800	-
800 – 900	-
900 – 1000	-
1000 – 1100	-
1100 – 1200	-
1200 - 1300	-
1300 – 1316 max.	-
∑	**229**

Οι καταβόθρες σε σχέση με τα υψομετρικά επίπεδα ανά 100m της περιοχής μελέτης, περιοχής Ξηρόμερου



Εικόνα 6.32

Στην κατεύθυνση των ρηγμάτων απλώνονται κατά τόπους σχιστές καταβόθρες (6.32) ή θαμμένες με κοκκινοχώματα.



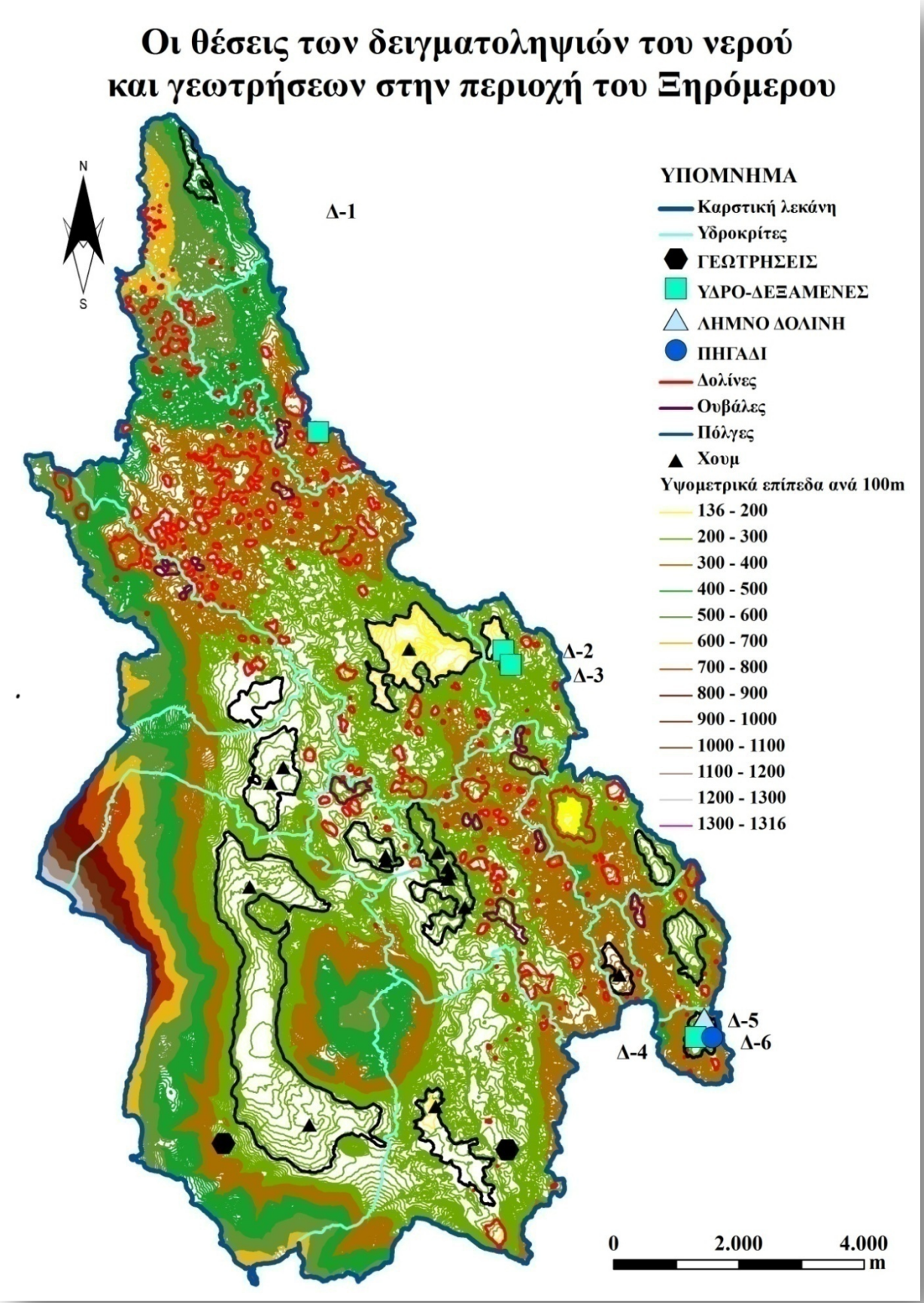
Εικόνα 6.33

7. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΞΗΡΟΜΕΡΟΥ

7.1. Υδρογεωλογία και υδρολογία

Στην περιοχή μελέτης έγιναν οι παρακάτω αναφερόμενες υδρολογικές έρευνες:

- γεωτρητική ; έρευνα να (γεωτρήσεις: ΥΓ – 3, και ΠΓ – 2; Εικόνα 8.1)
- δειγματοληψίες νερού από έξι (6) από θέσεις: 4 υδροδεξαμενές, μια λήμνοδολίνη και απο ένα πηγάδι (Εικόνα 7.1).


Οι θέσεις των δειγματοληψιών του νερού
και γεωτρήσεων στην περιοχή του Ξηρόμερου
N
S
Δ-1
Δ-2
Δ-3
Δ-4
Δ-5
Δ-6
ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Καρστική λεκάνη
Υδροκρίτες
ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ
ΥΔΡΟ-ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ
ΛΗΜΝΟ ΔΟΛΙΝΗ
ΠΗΓΑΔΙ
Δολίνες
Ουβάλες
Πόλγες
Χουμ
Υψομετρικά επίπεδα ανά 100m
136 - 200
200 - 300
300 - 400
400 - 500
500 - 600
600 - 700
700 - 800
800 - 900
900 - 1000
1000 - 1100
1100 - 1200
1200 - 1300
1300 - 1316
0
2.000
4.000
m

Εικόνα 7.1

7.1.1. Γεωτρητική ερεύνα της περιοχής μελέτης

Από την γεωτρητική έρευνα (γεωτρήσεις: **ΥΓ – 3**, στο υψόμετρο 233,5m, και **ΠΓ – 2**, στο υψόμετρο 215m; (Εικόνα 7.1, Πίνακας 7.1, 7.2) που εκτελέστηκε στην περιοχή μελέτης της κοινότητας του χωριού Αετού από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα 1990, διαπιστώθηκε ότι ακόμα και όταν ο σχηματισμός των κροκαλολατυποπαγών εκτείνεται σε αρνητικά υψόμετρα δεν αναπτύσσεται σε αυτόν αξιόλογος υδροφόρος ορίζοντας και μόνο τοπικά διαμορφώνονται πολύ ασθενείς υδροφορίες.

Πίνακας 7.1: Στοιχεία ερευνητικών γεωτρήσεων στην περιοχή κεντρικού Ξηρόμερου

α/α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΟΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ	ΠΑΡΟΧΗ (m^3/h)	ΓΕΩΛ. ΣΧΙΜΑΤΙΣΜΟΣ
1.	**ΠΓ – 2**	**Αετός**	**220,83**	**250**	**8”**	**–**	**Κροκαλολατυποπαγή**
2.	**ΥΓ – 3**	**Αετός**	**233,50**	**280**	**8”**	**12**	**Ασβεστ. Παντοκράτορα**

ΥΓ – 3 Ερευνητική υδρογεώτρηση, ΠΓ – 2 Πιεζομετρική δειγματοληπτική

Πίνακας 7.2: Χημική ανάλυση νερού υδρογεωλογικής έρευνας περιοχής κεντρικού Ξηρόμερου

ΣΗΜΕΙΟ	ΚΑΤΙΟΝΤΑ (p.p.m)				Ανιόντα (p.p.m)					pH	ΣΥΝΟΛΟ ΔΙΕΛΕΥ-ΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ (p.p.m)	ΑΓΩΓΙ-ΜΟΤΗΤΑ (T25°C)	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ		
ΥΔΡΟ-ΛΗΨΙΑΣ	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^-	Cl^-	$SO_4^{=}$	NO_3^-	NO_2 / NH_3				ΟΛΙΚΗ	ΠΑΡΟ-ΔΙΚΗ	ΜΟΝΙΜΗ
ΥΓ – 3	125.3	2,92	5.98	0.39	395	102.83	3,36	13.02	Αρν. / Αρν.	7.5	585.8	760	39.2	21.7	3.3

7.1.2. Αξιολόγηση των γεωτρήσεων

Στα Τριαδικά κροκαλολατυποπαγή **ΠΓ – 2** (Αετός) διαπιστώθηκε ότι δεν διαμορφώνεται ενιαίος και αξιόλογος υδροφόρος ορίζοντας. Η υδροφορία που παρουσιάζεται είναι τοπική και αμελητέα. Ακόμη διαπιστώθηκε η σχεδόν καθολική πλήρωση των διακένων των κροκαλολατυποπαγών με αργιλικό και γυψούχο υλικό. Τέλος διαπιστώθηκε αυξημένη περατότητα στους ασβεστόλιθους που βρίσκονται στη βάση των κροκαλολατυποπαγών.

Στους ασβεστόλιθους του Παντοκράτορα **ΥΓ – 3** (Αετός) διαμορφώνονται καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες (από 216m, με βάθος 12m, μέχρι 231,4m) μικρής δυναμικότητας, λόγω του μικρού δευτερογενούς πορώδους τους. Αναπτύχθηκε με τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων υδροχλωρικού οξέος, που οπωσδήποτε επηρέασε πρόσκαιρα το χημισμό του νερού. Η υδραυλική κλίση είναι προς Νότο και οριοθετούνται από το σχηματισμό των κροκαλολατυποπαγών με τον οποίο έρχονται σε επαφή και ο οποίος παίζει το ρόλο του φραγμού στις περισσότερες περιπτώσεις. Παρόμοια υδρογεωλογική συμπεριφορά και τρόπο διακίνησης υπόγειου νερού παρουσιάζουν και οι Τριαδικοί δολομίτες, οι οποίοι ευρισκόμενοι τις περισσότερες φορές σε επαφή με τους ασβεστόλιθους του Παντοκράτορα, δημιουργούν ενιαίους τοπικούς υδροφόρους ορίζοντες όπως π.χ. στην περιοχή Μεροβίγλι. Παρόλα αυτά, η ποσιμότητα του νερού της γεώτρησης ΥΓ – 3 είναι καλή έως ικανοποιητική και η γεώτρηση μπορεί να παραχωρηθεί για την ικανοποίηση των αρδευτικών αναγκών ύδρευσης της Κοινότητας Αετού.

7.1.3. Δειγματοληψίες και χημική ανάλυση του νερού

Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες νερού κατά την περίοδο Ιουνίου 2005 από έξι (6) θέσεις (Πίνακες: 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8; Εικόνα 7.1). Τα δείγματα συλλέχθηκαν από τις τέσσερεις (4) τεχνητές υδροδεξαμενές, μια λημνοδολίνη και ένα πηγάδι. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν αυτή την περίοδο κυρίως λόγω της έντονης καλλιέργειας στην περιοχή μελέτης Σκοπός των δειγματοληψιών στην περιοχή μελέτης ήταν κυρίως να βεβαιωθεί η ποιότητα του νερού για την χρήση στην καλλιέργεια καθώς και η ποσιμότητά του για τα ζώα.

Στην συνέχεια έγινε η χημική ανάλυση και γνωμάτευση των δειγμάτων του νερού της περιοχής του Ξηρόμερου στα εργαστήρια του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Διοικητικός Τομεας Προγραμματισμού & Εφαρμογών ΓΚΠΣ, Δ/ΝΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΫΔΡΟΛΟΠΑΣ & ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ.

7.1.4. Αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων

❖ **ΔΕΙΓΜΑ Νο1**

Πίνακας 7.3: Χημική ανάλυση του νερού της περιοχής του Ξηρόμερου, της δολίνης Μιζίτρια, ΔΕΙΓΜΑ Νο1.

	Παράμετρος	**Μονάδα μέτρησης**	**Αποτέλεσμα Δοκιμής**	**Πρότυπη μέθοδος**
	Ηλεκτρ. Αγωγιμότητα, με αντιστάθμιση στους 25°C	μονάδα pH, °C	178	ΕΛΟΤ EN 27888 : 1993
	pH (25°C), (θερμοκρασία pH & αγωγιμοτ.)	mg/ ℓ	7,25 (27,8)	ISO 10523 :1994
Συγκέντρωση ιόντων	Χλωροϊόντα (CC^{1-})	mg/ ℓ	6	ISO 9297: 1989
	Ασβέστιο (Ca^{2+})	mg/ ℓ	32	ISO 6058 : 1984
	Μαγνήσιο (Mg^{2+})	mg/ ℓ	1	υπολογιστικά
	Νάτριο (Na^{1+})		3,4	ISO 9964-3 : 1993
	Σύνθετη αλκαλικότητα	mmo ℓ / ℓ	0,00	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
	Ολική αλκαλικότητα	meq/ ℓ	1,58	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
Αρδευτικές Παράμετροι	Υπολειμματικό Na_2CO_3	%	0,0	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Na (%)	%	δ, λ	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Mg (%)		5,5	υπολογιστικά
	Σχέση προσρόφησης νατρίου (S.A.R.)	$mgCaCO_3$/ ℓ	0,2	υπολογιστικά
	Ολική	$mgCaCO_3$/ ℓ	84	ISO 6059 : 1984
	Παροδική	$mgCaCO_3$/ ℓ	79	ΕΛΟΤΕΝ ISO 9963-1:1996
	Μόνιμη	%	5	υπολογιστικά
	(1)Νιτρικά(NO_3^{1-})	mg/ ℓ	<1,6	

❖ **ΔΕΙΓΜΑ No2**

Πίνακας 7.4: Χημική ανάλυση του νερού της υδρο-δεξαμενής περιοχής του Ξηρόμερου, της πόλγης No2, ΔΕΙΓΜΑ No2.

	Παράμετρος	**Μονάδα μέτρησης**	**Αποτέλεσμα Δοκιμής**	**Πρότυπη μέθοδος**
	Ηλεκτρ. Αγωγιμότητα, με αντιστάθμιση στους 25°C	μονάδα pH, °C	202	ΕΛΟΤ EN 27888 : 1993
	pH (25°C), (θερμοκρασία pH & αγωγιμοτ.)	mg/ ℓ	7,23 (28,0)	ISO 10523 :1994
Συγκέντρωση ιόντων	Χλωροϊόντα (CC^{1-})	mg/ ℓ	15	ISO 9297: 1989
	Ασβέστιο (Ca^{2+})	mg/ ℓ	21	ISO 6058 : 1984
	Μαγνήσιο (Mg^{2+})	mg/ ℓ	4	υπολογιστικά
	Νάτριο (Na^{1+})		11	ISO 9964-3 : 1993
	Σύνθετη αλκαλικότητα	mmo ℓ / ℓ	0,00	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
	Ολική αλκαλικότητα	meq/ ℓ	0,88	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
Αρδευτικές Παράμετροι	Υπολειμματικό Na_2CO_3	%	0,0	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Na (%)	%	26,0	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Mg (%)		16,6	υπολογιστικά
	Σχέση προσρόφησης νατρίου (S.A.R.)	$mgCaCO_3$/ ℓ	0,6	υπολογιστικά
	Ολική	$mgCaCO_3$/ ℓ	67	ISO 6059 : 1984
	Παροδική	$mgCaCO_3$/ ℓ	44	ΕΛΟΤΕN ISO 9963-1:1996
	Μόνιμη	%	23	υπολογιστικά
	(1)Νιτρικά(NO_3^{1-})	mg/ ℓ	<1,6	

❖ **ΔΕΙΓΜΑ No3**

Πίνακας 7.5: Χημική ανάλυση του νερού της υδροδεξαμενής της περιοχής του Ξηρόμερου, της πόλγης No2, ΔΕΙΓΜΑ No3.

	Παράμετρος	**Μονάδα μέτρησης**	**Αποτέλεσμα Δοκιμής**	**Πρότυπη μέθοδος**
	Ηλεκτρ. Αγωγιμότητα, με αντιστάθμιση στους 25°C	μονάδα pH, °C	249	ΕΛΟΤ EN 27888 : 1993
	pH (25°C), (θερμοκρασία pH & αγωγιμοτ.)	mg/ ℓ	8.45 (28,0)	ISO 10523 :1994
Συγκέντρωση ιόντων	Χλωροϊόντα (CC^{1-})	mg/ ℓ	10	ISO 9297: 1989
	Ασβέστιο (Ca^{2+})	mg/ ℓ	30	ISO 6058 : 1984
	Μαγνήσιο (Mg^{2+})	mg/ ℓ	5	υπολογιστικά
	Νάτριο (Na^{1+})		11	ISO 9964-3 : 1993
	Σύνθετη αλκαλικότητα	mmo ℓ / ℓ	0,04	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
	Ολική αλκαλικότητα	meq/ ℓ	0,97	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
Αρδευτικές Παράμετροι	Υπολειμματικό Na_2CO_3	%	0,0	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Na (%)	%	19,5	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Mg (%)		18,3	υπολογιστικά
	Σχέση προσρόφησης νατρίου (S.A.R.)	$mgCaCO_3$/ ℓ	0,5	υπολογιστικά
	Ολική	$mgCaCO_3$/ ℓ	97	ISO 6059 : 1984
	Παροδική	$mgCaCO_3$/ ℓ	49	ΕΛΟΤΕΝ ISO 9963-1:1996
	Μόνιμη	%	48	υπολογιστικά
	(1)Νιτρικά(NO_3^{1-})	mg/ ℓ	<1,6	

❖ **ΔΕΙΓΜΑ No4**

Πίνακας 7.6: Χημική ανάλυση του νερού της υδροδεξαμενής της περιοχής του Ξηρόμερου, της πόλγης Σπηλιά, ΔΕΙΓΜΑ No4.

	Παράμετρος	**Μονάδα μέτρησης**	**Αποτέλεσμα Δοκιμής**	**Πρότυπη μέθοδος**
	Ηλεκτρ. Αγωγιμότητα, με αντιστάθμιση στους 25°C	μονάδα pH, °C	204	ΕΛΟΤ EN 27888 : 1993
	pH (25°C), (θερμοκρασία pH & αγωγιμοτ.)	mg/ ℓ	7,72 (28,0)	ISO 10523 :1994
Συγκέντρωση ιόντων	Χλωροϊόντα (CC^{1-})	mg/ ℓ	<5	ISO 9297: 1989
	Ασβέστιο (Ca^{2+})	mg/ ℓ	36	ISO 6058 : 1984
	Μαγνήσιο (Mg^{2+})	mg/ ℓ	2	υπολογιστικά
	Νάτριο (Na^{1+})		3,0	ISO 9964-3 : 1993
	Σύνθετη αλκαλικότητα	mmo ℓ / ℓ	0,00	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
	Ολική αλκαλικότητα	meq/ ℓ	1,81	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
Αρδευτικές Παράμετροι	Υπολειμματικό Na_2CO_3	%	0,0	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Na (%)	%	6,3	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Mg (%)		7,7	υπολογιστικά
	Σχέση προσρόφησης νατρίου (S.A.R.)	$mgCaCO_3$/ ℓ	0,1	υπολογιστικά
	Ολική	$mgCaCO_3$/ ℓ	98	ISO 6059 : 1984
	Παροδική	$mgCaCO_3$/ ℓ	91	ΕΛΟΤΕΝ ISO 9963-1:1996
	Μόνιμη	%	7	υπολογιστικά
	(1)Νιτρικά(NO_3^{1-})	mg/ ℓ	<1,6	

❖ **ΔΕΙΓΜΑ No5**

Πίνακας 7.7: Χημική ανάλυση του νερού της λημνοδολίνης περιοχής του Ξηρόμερου, της πόλγης Σπηλιά, ΔΕΙΓΜΑ No5.

	Παράμετρος	**Μονάδα μέτρησης**	**Αποτέλεσμα Δοκιμής**	**Πρότυπη μέθοδος**
	Ηλεκτρ. Αγωγιμότητα, με αντιστάθμιση στους 25°C	μονάδα ρH, °C	227	ΕΛΟΤ EN 27888 : 1993
	ρH (25°C), (θερμοκρασία ρH & αγωγιμοτ.)	mg/ ℓ	7,59 (27,9)	ISO 10523 :1994
Συγκέντρωση ιόντων	Χλωροϊόντα (CC^{1-})	mg/ ℓ	<5	ISO 9297: 1989
	Ασβέστιο (Ca^{2+})	mg/ ℓ	39	ISO 6058 : 1984
	Μαγνήσιο (Mg^{2+})	mg/ ℓ	2	υπολογιστικά
	Νάτριο (Na^{1+})		3,8	ISO 9964-3 : 1993
	Σύνθετη αλκαλικότητα	mmo ℓ / ℓ	0,00	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
	Ολική αλκαλικότητα	meq/ ℓ	2,03	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
Αρδευτικές Παράμετροι	Υπολειμματικό Na_2CO_3	%	0,0	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Na (%)	%	7,5	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Mg (%)		6,2	υπολογιστικά
	Σχέση προσρόφησης νατρίου (S.A.R.)	$mgCaCO_3$/ ℓ	0,2	υπολογιστικά
	Ολική	$mgCaCO_3$/ ℓ	105	ISO 6059 : 1984
	Παροδική	$mgCaCO_3$/ ℓ	102	ΕΛΟΤΕΝ ISO 9963-1:1996
	Μόνιμη	%	3	υπολογιστικά
	(1)Νιτρικά(NO_3^{1-})	mg/ ℓ	<1,6	

❖ **ΔΕΙΓΜΑ Νο6**

Πίνακας 7.8: Χημική ανάλυση του νερού του πηγαδιού της περιοχής Ξηρόμερου, της πόλγης Σπηλιά, ΔΕΙΓΜΑ Νο6.

	Παράμετρος	**Μονάδα μέτρησης**	**Αποτέλεσμα Δοκιμής**	**Πρότυπη μέθοδος**
	Ηλεκτρ. Αγωγιμότητα, με αντιστάθμιση στους 25°C	μονάδα pH, °C	468	ΕΛΟΤ EN 27888 : 1993
	pH (25°C), (θερμοκρασία pH & αγωγιμοτ.)	mg/ ℓ	7,24 (27,6)	ISO 10523 :1994
Συγκέντρωση ιόντων	Χλωροϊόντα (CC^{1-})	mg/ ℓ	6	ISO 9297: 1989
	Ασβέστιο (Ca^{2+})	mg/ ℓ	91	ISO 6058 : 1984
	Μαγνήσιο (Mg^{2+})	mg/ ℓ	3	υπολογιστικά
	Νάτριο (Na^{1+})		4,9	ISO 9964-3 : 1993
	Σύνθετη αλκαλικότητα	mmo ℓ / ℓ	0,0	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
	Ολική αλκαλικότητα	meq/ ℓ	4,10	ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1:1996
Αρδευτικές Παράμετροι	Υπολειμματικό Na_2CO_3	%	0,0	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Na (%)	%	4,10	υπολογιστικά
	Διαλυμένο Mg (%)		5,0	υπολογιστικά
	Σχέση προσρόφησης νατρίου (S.A.R.)	$mgCaCO_3$/ ℓ	0,1	υπολογιστικά
	Ολική	$mgCaCO_3$/ ℓ	239	ISO 6059 : 1984
	Παροδική	$mgCaCO_3$/ ℓ	205	ΕΛΟΤΕΝ ISO 9963-1:1996
	Μόνιμη	%	34	υπολογιστικά
	(1)Νιτρικά(NO_3^{1-})	mg/ ℓ	22	

Πίνακας 7.9: Χημική ανάλυση του νερού, των διαλυμένων μετάλλων σε mg/ ℓ της πόλγης Σπηλιά, ΔΕΙΓΜΑ Νο6.

Νο. ΕΙΓΜ.	**Κάδμιο**	**Χρώμιο**	**Ψευδάργυρος**	**Χαλκός**	**Αρσενικό**
Νο 6	**0.04**	**<0.2**	**13**	**14**	**<0.2**

7.1.5. Γνωμάτευση των δειγμάτων

Τα δείγματα **No1, No2, No4, No5**: Διττανθρακικά ασβεστούχα νερά, μικρής περιεκτικότητας σε άλατα, με κανονικές τιμές διαλυμένου νατρίου %, διαλυμένου μαγνησίου και SAR και με σχεδόν μηδενική συγκέντρωση νιτρικών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών κρίνονται πολύ καλά για αρδευτική χρήση.

Το δείγμα **No3**: Αλκαλικό, ασβεστούχο νερό, πολύ μικρής περιεκτικότητας σε άλατα, με πρωτεύον άλας το διττανθρακικό ασβέστιο, με κανονικές τιμές διαλυμένου νατρίου %, διαλυμένου μαγνησίου %, και SAR και με σχεδόν μηδενική συγκέντρωση νιτρικών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών κρίθηκε κατάλληλο για αρδευτική χρήση.

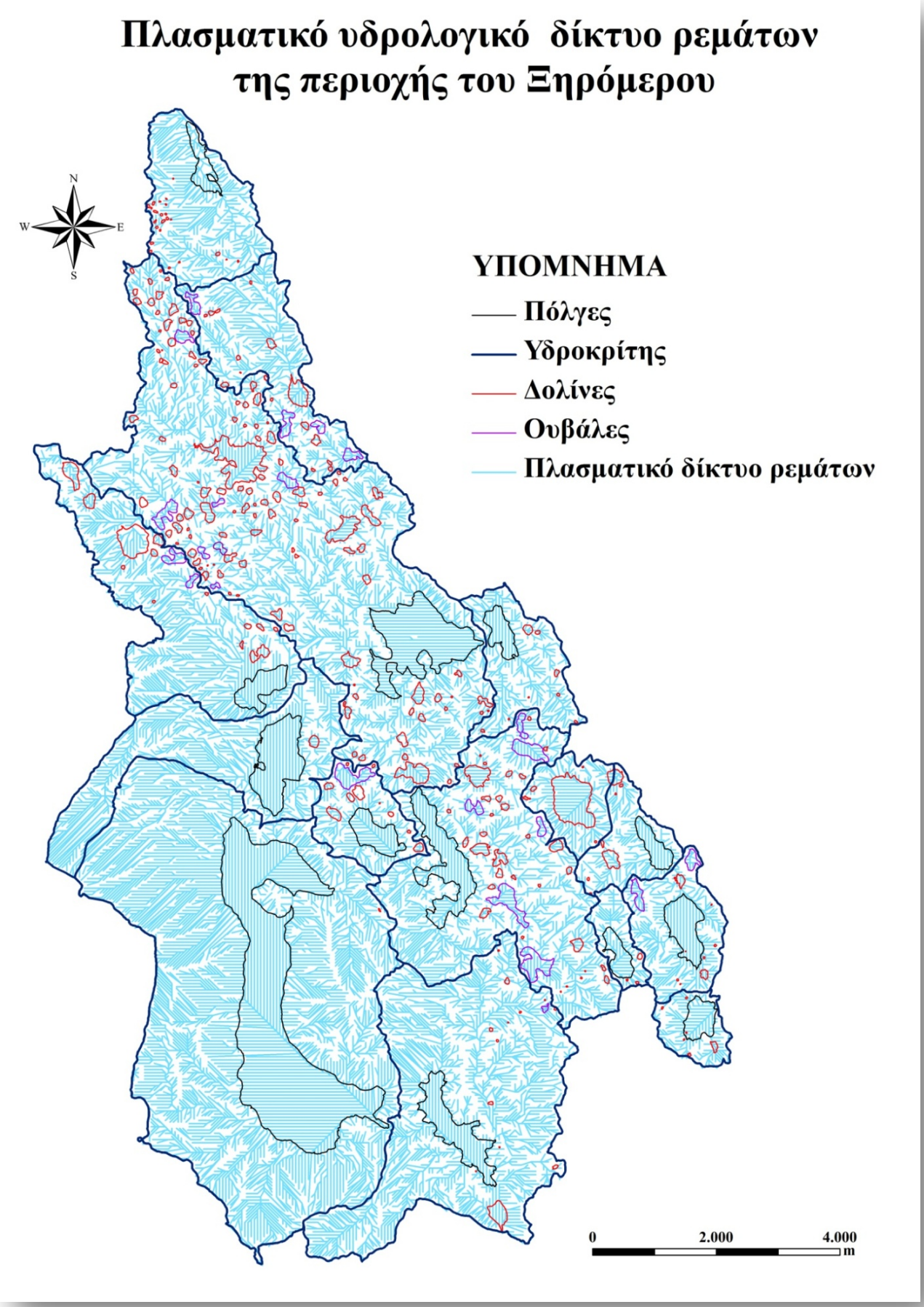
Το δείγμα **No6**: Διττανθρακικό ασβεστούχο νερό, μικρής περιεκτικότητας σε άλατα, με κανονικές τιμές διαλυμένου νατρίου %, διαλυμένου μαγνησίου % και SAR. Οι συγκεντρώσεις νιτρικών και διαλυμένων μετάλλων βρίσκονται εντός των επιτρεπομένων ορίων για ανθρώπινη κατανάλωση. Κρίνεται κατάλληλο επίσης για αρδευτική χρήση.

Τα δείγματα. **No2** και **No4** παρουσιάζουν θολερότητα, υποκίτρινη χροιά και ίζημα.

Το δείγμα **No3** παρουσιάζει υψηλή θολερότητα, κίτρινη χροιά και ίζημα.

7.2. Υδρογεωλογική έρευνα

Στην περιοχή μελέτης το ετήσιο ύψος βροχής υπερβαίνει τα 1000mm όπου η πραγματική ετήσια εξάτμιση φθάνει τα 650mm έτσι ώστε το υπόλοιπο νερό των 100mm διατίθεται για την επιφανειακή απορροή. Το μεγαλύτερο ποσοστό νερού από τα υπόλοιπα 250mm κατεισδύει μέσα στα κροκαλολατυποπαγή που έχουν τη μεγαλύτερη καρστική ανάπτυξη, ενώ ένα μικρότερο ποσοστό από αυτά, κατεισδύει μέσα στους ασβεστόλιθους του Παντοκράτορα λόγω του μικρού καρστικού επιφανειακού αναπτύγματός τους. Το πλασματικό υδρολογικό δίκτυο της περιοχής του Ξηρόμερου που δημιουργήθηκε για την αναγνώριση των καρστικών μορφών μέσω του δικτύου περιοδικών επιφανειακών νερών των βροχοπτώσεων (Εικόνα 7.2) επίσης υποδεικνύει και την σχέση των περιοδικών ρεμάτων του νερού σε σχέση με τη δημιουργία των καρστικών μορφών.


Πλασματικό υδρολογικό δίκτυο ρεμάτων
της περιοχής του Ξηρόμερου
N
W
E
S
ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Πόλγες
Υδροκρίτης
Δολίνες
Ουβάλες
Πλασματικό δίκτυο ρεμάτων
0
2.000
4.000
m

Εικόνα 7.2

Στη περιοχή του Ξηρόμερου, οι κύριοι λιθολογικοί σχηματισμοί που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη υδρογεωλογική ανάπτυξη είναι:

- **Τριαδικά ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή** έχουν τη μεγαλύτερη καρστική ανάπτυξη και κατείσδυση νερού υπογείως. Τα κροκαλολατυποπαγή επίσης συγγενετικά περιέχουν και μεγάλα ποσά αργιλικού υλικού που πληρώνουν τα διάκενα του ιδίου σχηματισμού όπου αυτό περιορίζει πολύ την υδροπερατότητα του σχηματισμού στο βάθος και κατά συνέπεια την ανάπτυξη αξιόλογης υδροφορίας. Η μικρή υδροφορία αναπτύσσεται μόνο σε ορισμένες καρστικές κοιλότητες οι οποίες εξελίσσονται στις θέσεις της επαφής λατυποπαγών – γύψου που έχουν κυματοειδώς διαμορφωθεί σαν αποτέλεσμα της πιθανής τεκτονικής των πτυχώσεων που έχει υποστεί η περιοχή στο παρελθόν. Το βάθος της επαφής κροκαλολατυποπαγών – εβαπορίτων κυμαίνεται από 60m έως 260m και παρουσιάζει κλίση περίπου 4,5% – 5,5% στην περιοχή Τρύφου – Κωμποτής και 1,5% – 2% στην περιοχή Αετού – Σκουρτού.

- **Εβαπόριτες** οι οποίοι περιλαμβάνουν γύψους και ανιδρύτες παρουσιάζουν μικρή επιφανειακή εξάπλωση αλλά το ανάπτυγμα τους κάτω από τα Τριαδικά κροκαλολατυποπαγή είναι καθολικό και μεγάλου πάχους. Παρόλο της μεγάλης διαλυτότητας της γύψου και της γρήγορης καρστικοποίησής της ο υδρογεωλογικός της ρόλος στην περιοχή μελέτης έχει περιοδικά ρολό υπόβαθρου των υπερκείμενων Τριαδικών κροκαλολατυποπαγών το οποίο περιοδικά επιτρέπει ανάπτυξη της μικρής υδροφορίας στις θέσεις της επαφής λατυποπαγών – γύψου.
- **Οι ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα, Τριαδικοί δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι** έχουν περιορισμένες δυνατότητες των καρστικών υδροφόρων οριζόντων τους, οι οποίοι είναι μικρής δυναμικότητας και κυρίως εκμεταλλεύονται για τη συμπλήρωση και βελτίωση της τοπική ύδρευσης.

- **Διλουβιακές αποθέσεις** αποτελούνται από χερσαίες αποθέσεις πού έχουν δημιουργηθεί κατά το μεγαλύτερο μέρος από την αποσάθρωση των Τριαδικών λατυποπαγών και είναι οι ερυθροί άργιλοι, αμμούχο υλικό, καθώς και διάσπαρτες κροκάλες κυρίως ανθρακικής προελεύσεως. Επικάθονται στα Τριαδικά κροκαλολατυποπαγή με πάχη που κυμαίνονται από 5 έως 20m, ελάχιστα υδατοπερατές με συνέπεια να δημιουργούνται υδροφόροι ορίζοντες παρά πολύ μικρής δυναμικότητας.

Η επαναφόρτιση εμφανίζεται μέσω των υψηλότερων ασβεστόλιθων και των δολομιτών με σχετικά μικρή απορροή επάνω στα χαμηλότερα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή και την υποκείμενη γύψο. Η ιδιαίτερα διαλυτή μήτρα της υποκείμενης γύψου παράγει μια τοπογραφικά χαμηλή έκταση των ασβεστολιθικών κροκαλολατυποπαγών.

Η ελάχιστη απορροή και η διαχωρισμένη ροή σε αυτήν την επιφάνεια προτείνουν ότι τα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή έχουν μια σχετικά ομοιόμορφη μέτρια διαπερατότητα. Ενώ οι περισσότερες επιφανειακές καρστικές μορφές οι οποίες έχουν χαρτογραφηθεί αναπτύσσονται στα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή, η πυκνότητά τους μπορεί να ήταν μεγαλύτερη εάν η μήτρα ήταν στρωματώδεις ασβεστόλιθοι. Στην περιοχή εμφανίζονται λίγοι αγωγοί, πιθανώς λόγω της υψηλής παραγωγής των υπολειμματικών κοκκινοχωμάτων από το γύψο. Τα χώματα συσσωρεύονται σε όλες τις επιφάνειες, ειδικά στις δολίνες, και η απορροή είναι ανεπαρκής να τις μεταφέρει μέσω του καρστ για να δημιουργήσει τις ανοικτότερες σπηλιές.

Βόρεια του γενικού υδροκρίτη βρίσκεται το χαμηλότερο επίπεδο βάσεων η στάθμη της θάλασσας στον Αμβρακικό Κόλπο, ανατολικά του γενικού υδροκρίτη, είναι ένα σημαντικό εσωτερικό επίπεδο βάσεων το νερό της λίμνης Αμβρακία (~25 μ επάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας), παρόλο που δεν υπάρχει κανένα εμπειρικό στοιχείο για να προσδιοριστεί το ενιαίο επίπεδο των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης ή η κλίση τους.

Στους σχηματισμούς κροκαλολατυποπαγών και ασβεστόλιθων Παντοκράτορα διαμορφώνονται πολύ φτωχοί τοπικοί υδροφόροι ορίζοντες, μικρής δυναμικότητας, που εξασφαλίζουν μονό περιορισμένες ποσότητες νερού.

Η κατείσδυση και διακίνηση του υπόγειου νερού στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης εξαρτάται από την κατά τόπους περατότητα των κροκαλολατυποπαγών και του μεγέθους της κλίσης της επιφάνειας επαφής των κροκαλολατυποπαγών με την υποκείμενη γύψο, εκεί όπου η επιφάνεια επαφής βρίσκεται σε θετικά υψόμετρα, ενώ στην περίπτωση που η επαφή βρίσκεται σε αρνητικά υψόμετρα τότε το ρόλο του τοπικού «επιπέδου βάσεως» παίζει το επίπεδο της θάλασσας. Το νερό καρστικοποιεί το ασβεστολιθικό και γυψούχο συνδετικό υλικό των κροκαλολατυποπαγών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται επιφανειακές και υπόγειες καρστικές μορφές.

Η διαπερατότητα των κοκκινοχωμάτων φαίνεται γενικά χαμηλή. Τα στοιχεία μελέτης προτείνουν ότι τα υπόγεια νερά εμφανίζονται σε δύο υδροφόρους ορίζοντες σε χαμηλότερό και κεντρικό υπόγειο επίπεδο. Οι υδροφόροι ορίζοντες χωρίζονται από ένα λεπτό στρώμα αργίλου και μάργας. Ο ανώτερος ορίζοντας είναι πιθανόν στα 4-12m κάτω από την επιφάνεια και ο χαμηλότερος είναι μεταξύ 15-30m. Τα βαθύτερα φρεάτια στην περιοχή μελέτης παράγουν τις χρησιμοποιήσιμες ποσότητες του νερού επειδή είτε δεν φθάνουν στον υδροφόρο ορίζοντα, και/ή

ίσως επειδή τα περισσότερα υπόγεια νερά περιορίζονται στους αγωγούς που είναι απίθανο να διασχίσουν.

7.3. Καρστική υδρογραφική λεκάνη της περιοχής του Ξηρόμερου

Οι καρστικές μορφές της περιοχής του Ξηρόμερου έχουν έντονη καρστικοποίηση που εκφράζεται με πολύ δυνατά εξελισσόμενο καρστικό τοπίο πλούσιο σε καρστικές μορφές (V-VI φάση εξέλιξη του καρστ) και με καρστικά υδρογραφικά χαρακτηριστικά της ξηρής καρστικής κοιλάδας που αποτελείται από ένα σύστημα κλειστών καρστικών υδροκριτών στα οποία τα χαρακτηριστικά επαναφορτίσεων του νερού είναι κακώς καθορισμένα. Στην περιοχή μελέτης επισημάνθηκαν δεκαπέντε (15) υδροκρίτες από τους οποίους δεκατρείς (13) ανήκουν στις πόλγες και δυο (2) στις ομάδες των δολίνων.

7.3.1. Περιοδικό υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης

Στη περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν κανονικά ποτάμια και πολύ σπάνια έχουμε εμφάνιση του περιοδικού υδρογραφικού δικτύου με περιοδικές ροές, όπου η διάρκειά τους και η ποσότητα εξαρτάται κυρίως από τα μετεωρολογικά χαρακτηρίστηκα των περιόδων της χρονιάς ή των εποχών.

Τα περιοδικά ποτάμια είναι λίγα, κυρίως έχουν απλό χαρακτήρα, ενώ παρατηρούνται τρία με εκτεταμένες περιοδικές ροές οι οποίες καταλήγουν στην:

- πόλγη (στα 440m) η οποία είναι βόρειο-βορειοανατολικά του χωρίου Τρύφος
- στην πόλγη Φραζία (στα 200m) η οποία είναι νότιο-νοτιοδυτικά του χωρίου Κατούνα,
- και στην δολίνα Χώνες (στα 300 m) η οποία είναι νότιο-νοτιοανατολικά και του χωριού Τρύφος.

Αλλά περιοδικά ποτάμια είναι μικρού μήκους και πολύ σπάνια ενώ οι ροές τους τελειώνουν στις κυρίως δολίνες.

7.3.2. Υδροδότηση της περιοχής μελέτης

Σε γενικές γραμμές η περιοχή μελέτης αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα έλλειψης πόσιμου και αρδευτικού νερού.

Η κύρια υδροδότηση της περιοχής μελέτης γίνεται από την καρστική πηγή των Αχυρών (ή Κεφαλόβρυσο) που βρίσκεται στις ανατολικές παρυφές των Ακαρνανικών ορέων σε υψόμετρο περίπου 460m. Η πηγή έχει υδρομαστεύσει πλήρως, ενώ το 40% της παροχής της καταλήγει με

φυσική ροή στις δεξαμενές του χωριού Κατούνα, χωρητικότητας περίπου 500m^3; το 30% της παροχής υδρεύει τα χώρια Παπαδάτος, Φυτείες, Μπαμπίνη, Σκουρτού, Χρισοβίτσα και Πρόδρομος; και το 30% της παροχής ενισχύει την ύδρευση του Δήμου Αμφιλοχίας.
Το νερό, επίσης, παρέχεται στην περιοχή του Ξηρόμερου και από την γειτονική περιοχή της λίμνης Αμβρακίας που παρέχει δίκτυο πόσιμου νερού σε δύο κύρια χωριά την Κατούνα και Κονοπίνα.

7.3.3. Τεχνητές υδροδεξαμενές της περιοχής μελέτης

Το γεωργικό νερό αποθηκεύεται σε υδροδεξαμενές, τροφοδοτείται μέσω σωληνώσεων από τις γειτονικές περιοχές εκτός του υδροκρίτη της περιοχής μελέτη. Επίσης, το νερό συλλέγεται πρώτιστα μέσω των βροχοπτώσεων και από τη διαρροή υπόγειων νερών από τον ανώτερο υδροφόρο ορίζοντα των υπόγειων νερών στα κοκκινοχώματα. Μερικές από τις δεξαμενές είναι φυσικές ή τροποποιημένες δολίνες διάλυσης (Εικόνα 7.3), αλλά πιο πολλές είναι πλήρως ανασκαμμένα κοιλώματα ή υδροδεξαμενές στα κοκκινοχώματα (Εικόνα 7.4).

Εικ.7.3: Φυσικές δολίνες διάλυσης

Εικ.7.4: Τεχνητή υδροδεξαμενή

Είναι πιθανό ότι το φυσικά συγκεντρωμένο νερό στις δολίνες έδωσε στους τοπικούς ανθρώπους την ιδέα να επεκτείνουν αρχικά τις φυσικές δολίνες και στην συνέχεια να ανασκάπτουν τις ύδροδεξαμενές στα κοκκινοχώματα όπου στο παρελθόν δεν υπήρχε καμία δολίνη (Εικόνες 7.5, 7.6, 7.7).

Εικ.7.5: Υδροδεξαμενές στην περιοχή της πόλγης Φράξιας

Εικ.7.6: Υδροδεξαμενές στην περιοχή της δολίνης Χωνες

Εικ.7.7: Υδροδεξαμενές στην περιοχή της πόλγης Χώνες

Η ιδέα για τις εκσκαφές δεξαμενών έχει προκύψει από τις μικρές αλλουβιακές δολίνες (Εικόνα 7.8) οι οποίες μια περίοδο του χρόνου μαζεύουν νερά, ενώ η έλλειψη του νερού γίνεται αισθητή στην συνέχεια κατά τη θερινή περίοδο.

Εικ.7.8: Η αλλουβιακή δολίνη η οποία χρησιμοποιείται ως επίγεια δεξαμενή στην δολίνη Χώνες

Για αυτό το λόγο οι κάτοικοι των περιβαλλόντων χωριών στις περιοχές μελέτης τις έχουν διαμορφώσει και μεγαλώσει και τις χρησιμοποιούν σαν επίγειες δεξαμενές ύδατος προκειμένου να εξασφαλίσουν κάποιες ποσότητες νερού για τις αρδεύσεις διαφόρων καλλιεργειών.

Πολλές από τις δεξαμενές των οποίων διατηρούνται τα υπόγεια νερά, άλλες είναι στις πιο διαπερατές θέσεις και είναι ευθυγραμμισμένες με το τσιμέντο για αποφύγουν την απώλεια νερού στο έδαφος. Το επίπεδο νερού στις δεξαμενές δεν είναι αξιόπιστος δείκτης του υδροφόρου ορίζοντα καθώς το επίπεδο του νερού μπορεί να διαφέρει περισσότερο από ένα μέτρο μεταξύ των κοντινών δεξαμενών, ανάλογα με το πότε μια συγκεκριμένη δεξαμενή τροποποιήθηκε από την τελευταία άντληση του νερού στα χωράφια.

Στην περιοχή μελέτης έχουμε περίπου 385 υδροδεξαμενές, υπάρχουν κυρίως μέσα στις πόλγες και δολίνες ή στην κοντινή περιφέρειά τους, παρακολουθώντας τις κλίσεις του εδάφους και των περιοδικών ροών οι οποίες ρέουν προς τα χαμηλότερα σημεία των μορφών. Εμφανίζονται στην σειρά ή στις ομάδες με τα φρέατα.

Επίσης, στις διλουβιακές αποθέσεις της περιοχής μελέτης έχουμε και λιμνοδολίνες (Εικόνα 7.9), περίπου 12, κυρίως στο κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής, είναι μικρές δολίνες πληρωμένες με νερό ολόκληρο τον χρόνο ή σε μια περίοδο του χρόνου οπού διατηρούν περιοδικό χαρακτήρα.

Εικ.7.9: Λιμνοδολίνη και καταβόθρα στην περιοχή της πόλγης Σπήλια

7.3.4. Φρέατα κι κρήνες της περιοχής μελέτης

Τα φρέατα στην περιοχή είναι περίπου 75, κυρίως μέσα στις πόλγες και δολίνες ή στην πιο κοντινή περιφέρειά τους και ακολουθούν τις περιοδικές ροές οι οποίες ρέουν προς τις μορφές, εμφανιζόμενες κυρίως σαν γκρουπ αλλά και σαν μεμονωμένα φρέατα. Παρέχουν νερό στα εκτρεφόμενα ζώα σε μικρά οικόπεδα, αλλά δεν θεωρούνται σημαντικές πηγές.

Οι κρήνες στην περιοχή είναι περίπου 20, στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της περιοχής έχουμε μόνο 2 και στο νότιο-νοτιοδυτικό και νότιο κομμάτι της περιοχής έχουμε τις υπόλοιπες 18.

8. ΚΑΡΣΤ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ

8.1. Μελέτη του καρστ με τη χρήση τηλεπισκόπησης

Όπως είναι γνωστό, τα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή, σαν κύρια πετρώματα της περιοχής μελέτης είναι πιο διαλυτά στη φύση από τα συμπαγή στρώματα των ανθρακικών πετρωμάτων. Συνεπώς, τα χαρακτηριστικά των καρστικών μορφών παρουσιάζουν διαφορετικές μορφές σε σχέση με αυτά που υπάρχουν σε κλασικά καρστικά τόπια. Για την καλύτερη κατανόηση των καρστικών μορφών της περιοχής του Ξηρόμερου χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου Landsat 7.TM (9 Σεπτέμβρη, 1992 στις 9:25 ώρα UTC). Η τεχνική επεξεργασία και ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, της περιοχής του Ξηρόμερου, πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ERDAS IMAGINE 9.1. Επίσης, στο ίδιο πρόγραμμα έγινε η βελτίωση, αξιολόγηση και η ανάλυση των συνιστωσών με τη μέθοδο Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal component analysis PCA) και ο μετασχηματισμός σε Tasseled Cap (TCT).

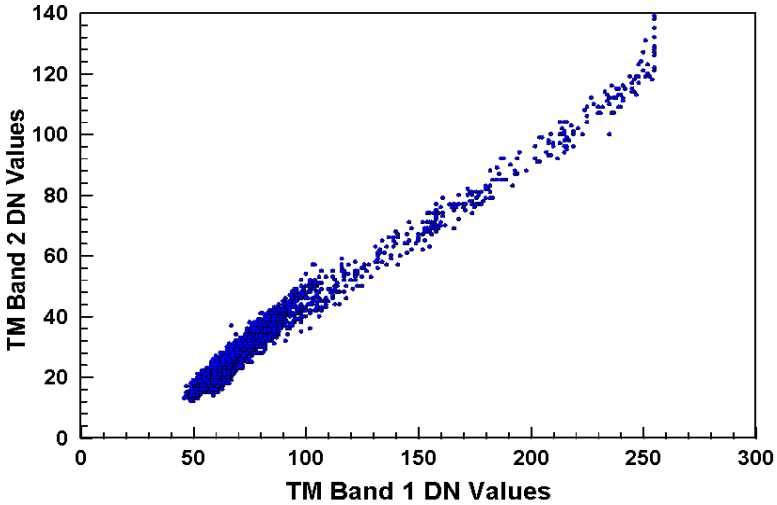
8.2. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal component analysis-PCA)

Η ανάλυση των κυρίων συνιστωσών είναι μία τεχνική μετασχηματισμού της εικόνας η οποία χρησιμοποιείται για διάφορες εφαρμογές στην Τηλεπισκόπηση.

Σκοπός της τεχνικής είναι να μετατρέψει δεδομένα με υψηλό βαθμό συσχέτισης σε νέα δεδομένα μη συσχετισμένα.

Στην περίπτωση αυτή υπάρχει υψηλός βαθμός συσχέτισης (εάν ένα pixel έχει υψηλή ανάκλαση στην φασματική ζώνη 1 έχει υψηλή τιμή και για την 2). Κάθε pixel της εικόνας προβάλλεται στο χώρο και η τοποθέτηση του είναι το σημείο τομής του επιπέδου ανάκλασης για κάθε φασματική ζώνη.

Οι φασματικές ζώνες του παραδείγματος (Εικόνα 8.1) έχουν υψηλό βαθμό συσχέτισης και επομένως δεν περιέχουν ανεξάρτητη πληροφορία σε σημείο που να μπορεί να προβλεφθεί η τιμή ενός pixel της φασματικής ζώνης 1 εάν γνωρίζουμε την τιμή του αντίστοιχου pixel στην 2.



Εικ.8.1: Συσχετισμός της φασματικής ζώνης 1 (μπλέ του ορατού) προς την φασματική ζώνη 2 (πράσινο του ορατού) του Landsat 5 TM

Γενικά ισχύει ότι υπάρχει επανάληψη στην πληροφορία μεταξύ κυρίως των γειτονικών φασματικών ζωνών και ακριβώς αυτή την επανάληψη καλείται η ανάλυση κύριων συνιστωσών να μειώσει. Αφαιρώντας την επαναλαμβανόμενη πληροφορία η πληροφορία παραμένει η ίδια αλλά τα δεδομένα έχουν μικρότερο όγκο. Με βάση αυτήν την τεχνική οι N αρχικές εικόνες μετατρέπονται σε N αριθμό συνιστωσών-εικόνων. Οι εικόνες συνιστώσες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εικόνες για τη δημιουργία σύνθετων έγχρωμων εικόνων κλπ.

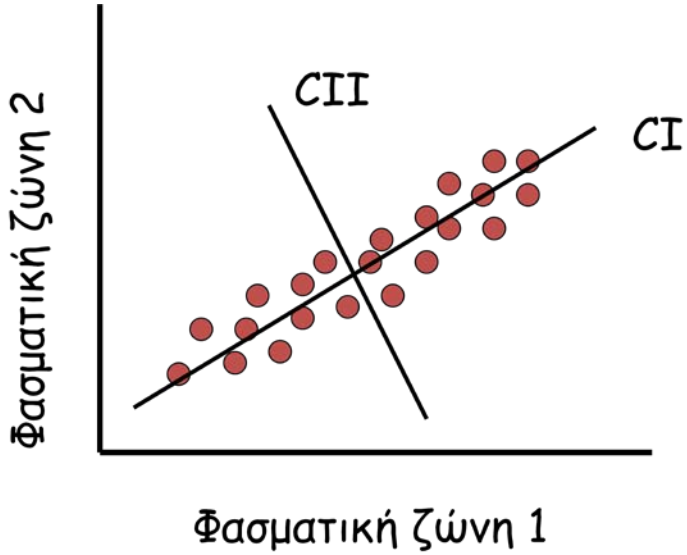
Ο μετασχηματισμός Κύριων Συνιστωσών είναι ένας γραμμικός μετασχηματισμός. Η δομή του μπορεί να περιγραφεί ως μια γραμμική σύνθεση π.χ. παράγει νέες εικόνες (συνιστώσες)

πολλαπλασιάζοντας κάθε αρχική φασματική ζώνη με ένα συντελεστή και προσθέτοντας τα αποτελέσματα:

C= w1B1+w2B2+w3B3…….wnBn

Οι συντελεστές στους μετασχηματισμούς ονομάζονται ιδιοδιανύσματα. Για κάθε αριθμό αρχικών εικόνων δημιουργείται ίδιος αριθμός εξισώσεων μετασχηματισμού επομένως δημιουργείται ίδιος αριθμός εικόνων συνιστωσών.

Στο σχήμα (Εικόνα 8.2) η συνιστώσα CI είναι προσανατολισμένη κατά μήκος του άξονα μέγιστης μεταβλητότητας. Η συνιστώσα CII κάθετη στην CI και κατά μήκος της ελάχιστης μεταβλητότητας.



Εικ.8.2: Για να γίνει αντιληπτό το αποτέλεσμα της μετατροπής σε κύριες συνιστώσες ας σκεφθούμε τη διεργασία ως έναν μαθηματικό προσδιορισμό νέων αξόνων στο χώρο ώστε οι νέες εικόνες να έχουν χαμηλό συσχετισμό και να είναι ιεραρχημένες σύμφωνα με την περιεχόμενη πληροφορία.

Έχουμε δύο αρχικές εικόνες και δύο εικόνες-συνιστώσες ως αποτέλεσμα οι οποίες περιγράφουν όλη την πληροφορία των αρχικών δεδομένων. Η μείωση των αρχικών δεδομένων επιτυγχάνεται διότι η πρώτη εικόνα συνιστώσα καταλαμβάνει το μέγιστο της μεταβλητότητας περιέχει π.χ. το 90% της αρχικής πληροφορίας. Έτσι με τα μισά αρχικά δεδομένα έχουμε το 90% της πληροφορίας.

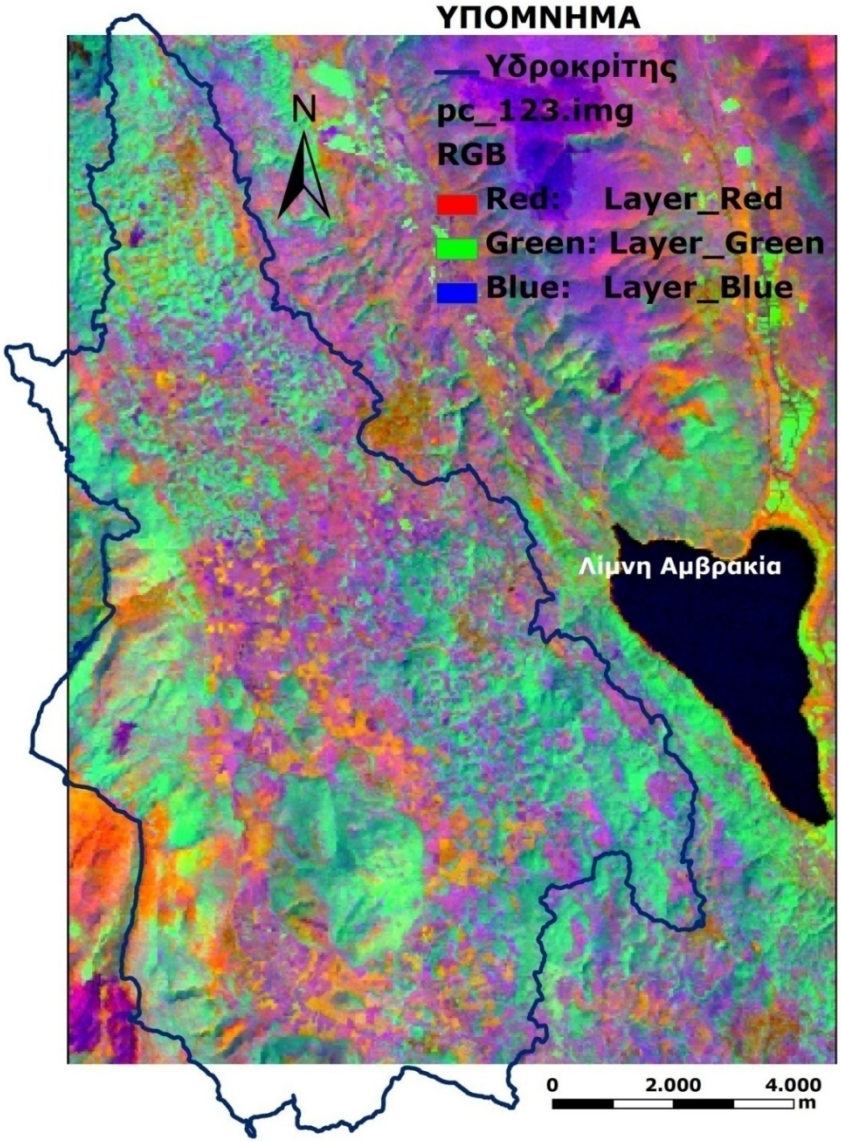
Η δημιουργία των εικόνων συνιστωσών συνοδεύεται από στατιστικά δεδομένα και πίνακες χρήσιμα στην κατανόηση και ερμηνεία των εικόνων συνιστωσών.

Πίνακας συσχέτισης (correlation matrix): Έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί δείχνει τον βαθμό συσχέτισης μεταξύ των αρχικών εικόνων και επομένως εμφανίζει τον βαθμό επαναληψιμότητας της πληροφορίας.

Ιδιοτιμές: Μαζί με το ποσοστό μεταβλητότητας προσδιορίζουν το ποσό της πληροφορίας για κάθε συνιστώσα (κυρίως ενδιαφέρον έχουν τα ποσοστά της πληροφορίας ανά εικόνα συνιστώσα).

Πίνακας Ιδιοδιανυσμάτων: Εκφράζουν τον βαθμό συσχετισμού μεταξύ κάθε συνιστώσας και των αρχικών εικόνων. Μαζί με τις ιδιοτιμές είναι τα σημαντικότερα δεδομένα.

Τυποποιημένος μετασχηματισμός των συνιστωσών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των έξι ζωνών των συνιστωσών, με εξαίρεση τη θερμική ζώνη. Στη συνεχεία προσδιορίστηκαν οι παρακάτω ιδιοτιμές: PC1 = 90%, PC2 = 6,5%, PC3 = 2,3%, PC4 = 0,5%, PC5 = 0,3% και PC6 = 0,01%. Με την χρήση των τριών πρώτων εικόνων συνιστωσών δημιουργήθηκε ψευδέγχρωμη εικόνα (Εικόνα 8.3).



Εικ.8.3: PCA έγχρωμη εικόνα με χρήση των τριών πρώτων στοιχείων ως RGB

8.3. Ανάλυση δεδομένων του Tasseled Cap Μετασχηματισμού (TCs)

Ο Tasseled Cap (TCs) μετασχηματισμός, γνωστός ως Kauth-Thomas Transforms, χρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυση του φασματικού περιεχόμενου των πληροφοριών των δορυφορικών δεδομένων (Kauth και Thomas, 1976). Οι διαφορετικές ζώνες μίας πολυφασματικής εικόνας μπορεί να προβληθούν ως καθορισμός του N- διαστατού χώρου όπου N είναι ο αριθμός των ζωνών. Κάθε εικονοστοιχείο, τοποθετείται σύμφωνα με την ψηφιακή του τιμή σε κάθε ζώνη, βρίσκεται εντός του N-διαστατού χώρου. Η κατανομή αυτών των εικονοστοιχειών καθορίζεται από την απορρόφηση/αντανάκλαση του φάσματος εκ μέρους των επιφανειακών υλικών που αντιπροσωπεύονται στην εικόνα. Αυτή η ομαδοποίηση των εικονοστοιχειών ονομάζεται «δομή των δεδομένων» (Crist and Kauth, 1986). Η δομή των δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πολυδιάστατο υπέρ-ελλειψοειδές. Οι κύριοι άξονες αυτής της δομής των δεδομένων δεν είναι απαραιτήτως ευθυγραμμισμένοι με τους άξονες του χώρου των δεδομένων που ορίζεται ως ζώνες εισόδου της εικόνας. Έχουν περισσότερη άμεση σχέση με απορρόφηση των φασμάτων. Για λόγους καλύτερης προβολής, πρέπει να γίνει περιστροφή τους N-διαστατού χώρου έτσι ώστε ένας ή δύο από τους άξονες αυτής της δομής των δεδομένων να ευθυγραμμιστούν με το πρόγραμμα προβολής X και Y άξονες. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε πως οι άξονες που είναι μεγαλύτεροι που παράγονται από τις κορυφές απορρόφησης, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή για τη δομή των δεδομένων. Οι TCs υπολογίζονται εφαρμόζοντας ένα γραμμικό συγγενικό μετασχηματισμό, ουσιαστικά με βάση τη μετατροπή των δεδομένων φασματικών ζωνών σε εισαγωγείς σε ένα νέο σύνολο δεδομένων συνθετών τιμών. Ο μετασχηματισμός εξαρτάται από το αισθητήριο όργανο, στην προκειμένη περίπτωση του Landsat TM. Το πρωτότυπο TCs αρχικά προέρχεται για τις τέσσερις ζώνες του αισθητήρα Landsat MSS. Στην συνέχεια, TC μετασχηματισμός επεκτάθηκε σε Landsat TM/ETM (Crist και Cicone, 1984) και IKONOS αισθητήρες (Horne, 2003).

Ως προς τα δεδομένα Landsat 5 TM οι συντελεστές της επίτευξης του TCs παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 8.1.

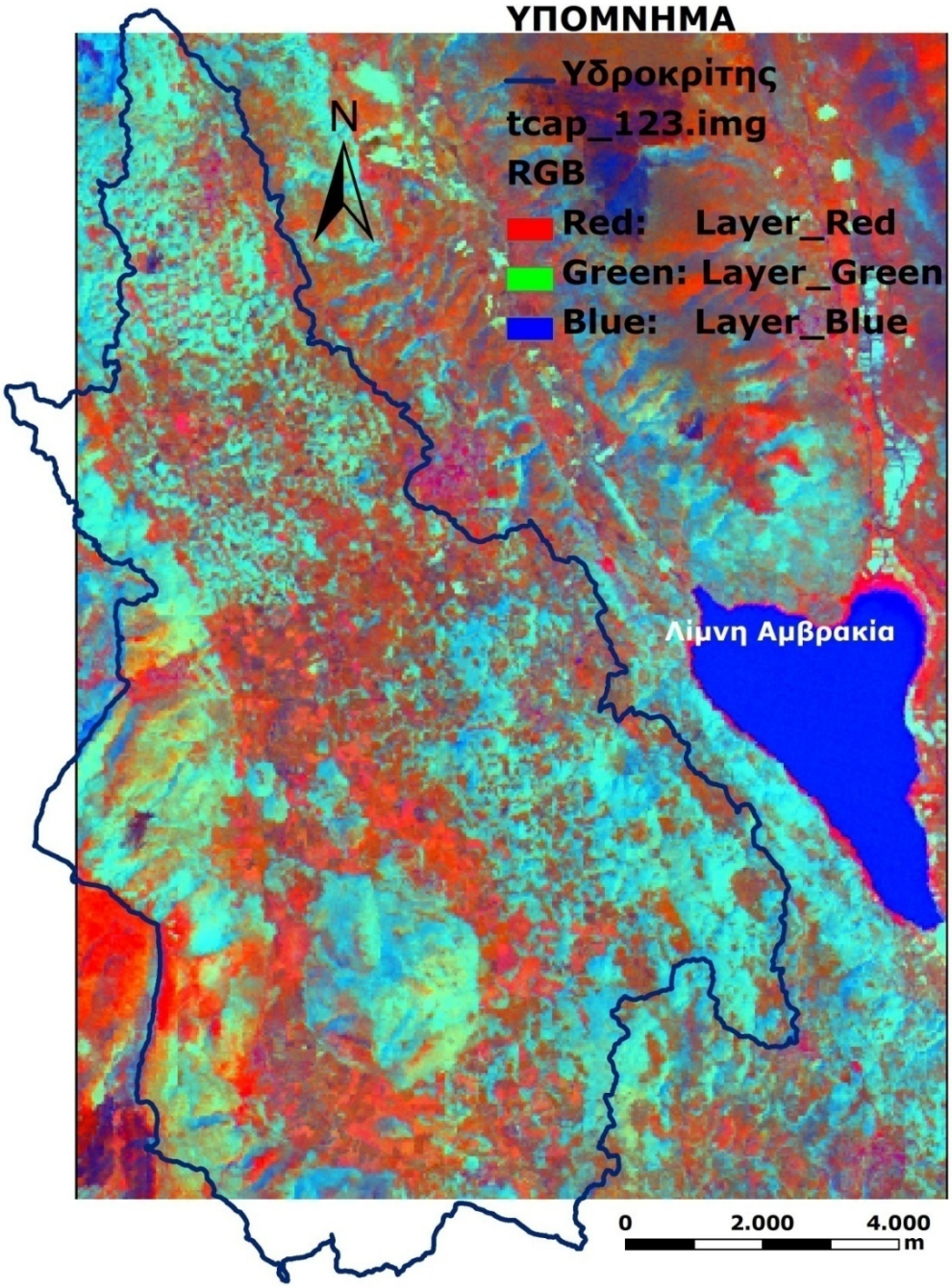
Πίνακας 8.1: TC συντελεστές για Thematic Mapper αισθητήρα (πηγή: ERDAS, Imagine)

	Επίπεδο 1	**Επίπεδο 2**	**Επίπεδο 3**	**Επίπεδο 4**	**Επίπεδο 5**	**Επίπεδο 6**
1	0.3037	0.2793	0.4743	0.5585	0.5082	0.1863
2	-0.2848	-0.2435	-0.5436	0.7243	0.084	-0.18
3	0.1509	0.1973	0.3279	0.3406	-0.7112	-0.4572
4	0.8832	-0.0819	-0.458	-0.0032	-0.0563	0.013
5	0.0573	0.026	0.0335	-0.1943	0.4766	-0.8545
6	0.1238	-0.9038	0.4042	0.4041	-0.0261	0.024

Η έρευνα παρουσιάζει τρεις άξονες δομής δεδομένων (Crist et al, 1986; Crist and Kauth, 1986):

- Φωτεινότητα (brightness) - ένα άθροισμα από όλες τις ζώνες, που ορίζεται στην κατεύθυνση της κύριας διακύμανσης της ανακλαστικότητας του εδάφους.
- Βλάστηση (greenness) - κάθετο προς των άξονα φωτεινότητας, η αντίθεση μεταξύ του κοντινού υπέρυθρου και ορατών ζωνών, συνδέονται στενά με το ποσό της βλάστηση της περιοχής μελέτης
- Υγρασία (wetness) - αφορά την υγρασία του εδάφους (Lillesand και Kiefer, 1987).

Τα αποτελέσματα TCs για την περιοχή μελέτης παρουσιάζονται στην Εικόνα 8.4, ως ψευδής χρωματική σύνθεση της εικόνας όπου φωτεινότητα, βλάστηση και υγρασία υποδηλώνονται αντίστοιχα ως κόκκινο, πράσινο και μπλε. Τέλος ένα φίλτρο υγιούς διέλευσης εφαρμόσθηκε για την πιο έντονη απεικόνιση της εικόνας και επισήμανση των γραμμικών στοιχείων.



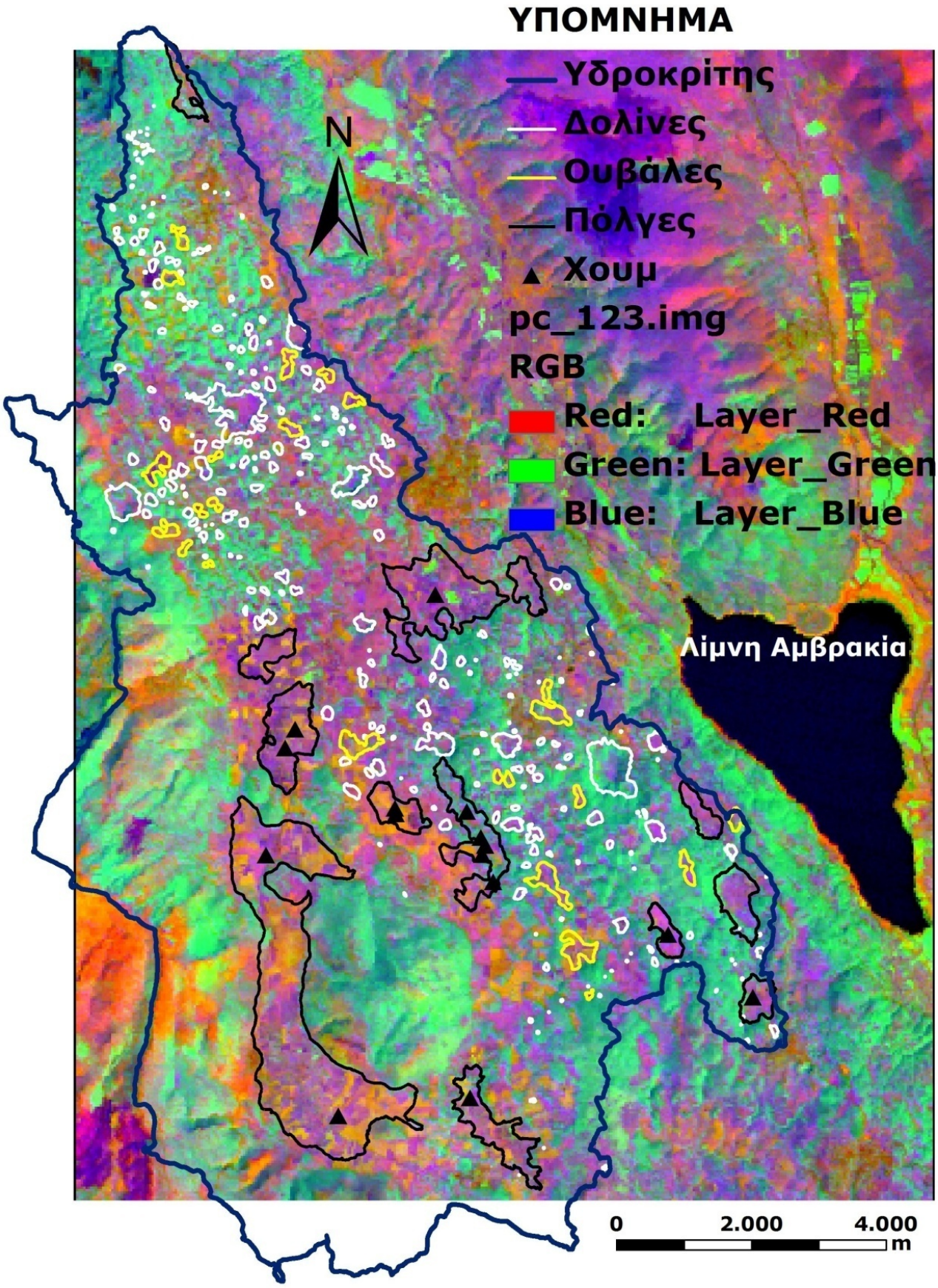
Εικ.8.4: TCs έγχρωμη εικόνα

(Φωτεινότητα = κόκκινο, Βλάστηση= πράσινο, Υγρασία = μπλε)

8.4. Συμπεράσματα

Τα χαρακτηριστικά των δικτύων αποστράγγισης, της μορφολογίας, της εδαφολογικής κάλυψης και άλλων διαγνωστικών παραμέτρων, όπως βλάστηση και υγρασία, μπορούν να μελετηθούν χρησιμοποιώντας τις πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες. Η διάφορη λιθολογία απεικονίζει την ακτινοβολία στους διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τις ιδιότητες επιφάνειας (χώμα, βλάστηση, μορφολογία κ.λπ.) συνεπώς, η αξιολόγηση τέτοιων ιδιοτήτων και των αθροιστικών αποτελεσμάτων τους μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα σχετικά με τον τύπο και την κατάσταση της λιθολογίας. Επειδή όλες οι φυσικές ή μη φυσικές επιφάνειες απεικονίζουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σύμφωνα με τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους, οι Landsat TM πολυφασματικές ζώνες μικρής κλίμακας θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλες για την ανίχνευση και μελέτη των κοινών καρστικών γεωμορφών εάν η κλίμακα προσαρμόζεται ανάλογα με το μέγεθος της καρστικής μορφής ή της περιοχής μελέτης.

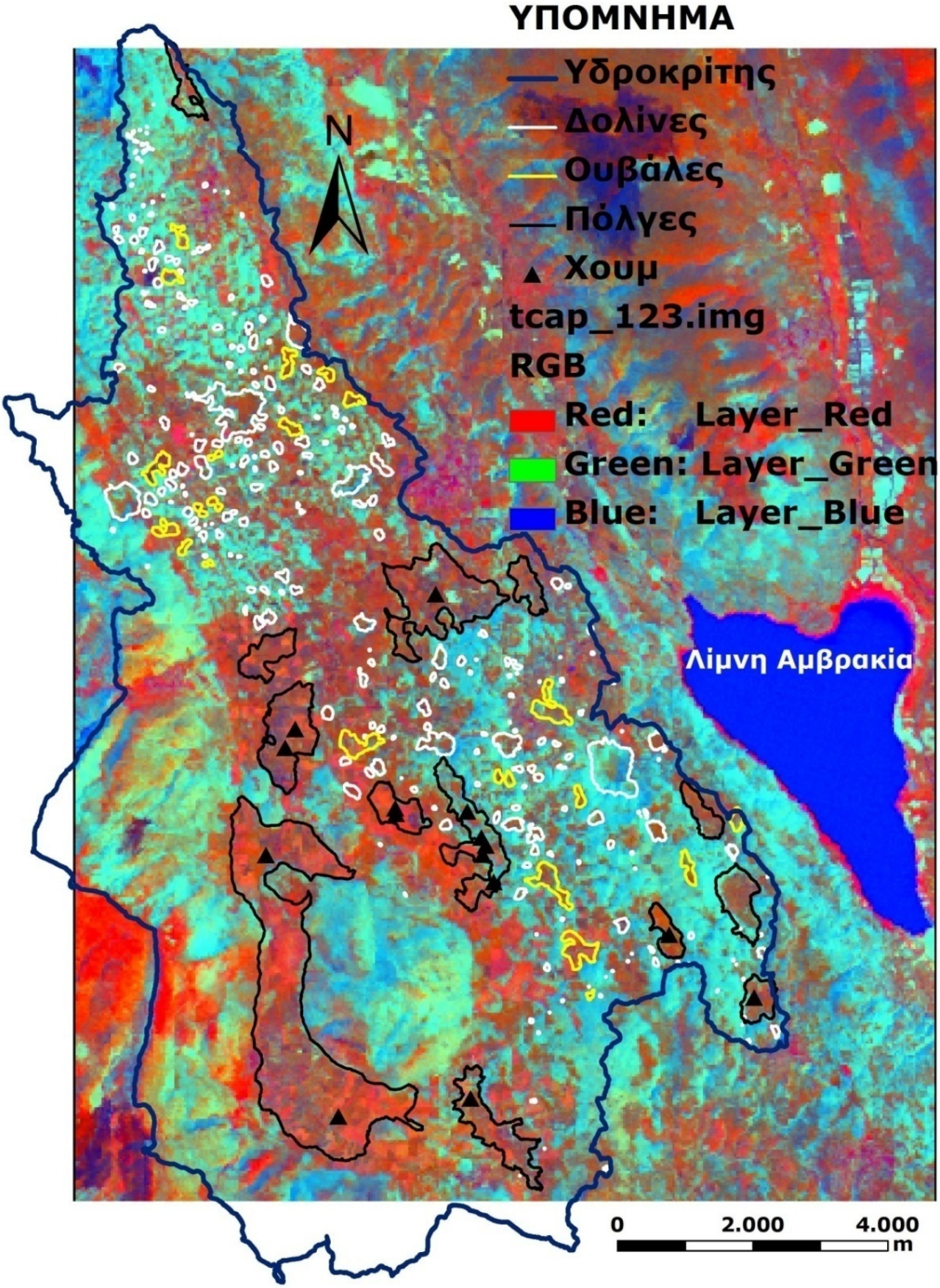
Στην περιοχή μελέτης, με τη μέθοδο των κύριων συστατικών (Principal Component method) τα σύνορα των μορφών του καρστ δεν μπορούν να είναι σαφώς αναγνωρισμένα (Εικόνα 8.5), αλλά μπορούν μόνο να συναχθούν. Μπορούν να αναγνωρισθούν μόνο μεγάλες καρστικές μορφές όπως ο υδροκρίτης των μεγαλύτερων πολγών, όπου ασβεστόλιθοι μπορεί να συνορεύουν με κροκαλολατυποπαγή, κοκκινοχώματα, παλαιούς και νέους κώνους κορηματών, ενώ μικρότερες καρστικές μορφές όπως οι δολίνες και ουβάλες είναι πολύ δύσκολο ή και αδύνατο να διακριθούν από μακριά. Επίσης, ορισμένα χούμ είναι αναγνωρισμένα λόγω της αλλαγής χρωμάτων στις θέσεις τους και αυτό εξαρτάται κατά πάσα πιθανότητα από την πιο πλούσια φυτική κάλυψη τους, ή τη διαφορετική γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων τους σχετικά με την γεωλογική βάση των πολγών τους. Αυτό ελέγχεται εν μέρει από την χωρική ανάλυση των χρησιμοποιούμενων δορυφορικών συστημάτων.



Εικ.8.5: Έγχρωμη εικόνα PCA με τις καρστικές μορφές του τοπίου του Ξηρόμερου

Με τις μεθόδους TCs, έναντι της προηγούμενης PCA μεθόδου, τα όρια μερικών καρστικών μορφών ελέγχονται πιο σαφώς και μερικές ακόμη αναγνωρίζονται (Εικόνα 8.6). Επίσης εάν συγκρίνουμε το γεωλογικό χάρτη της περιοχής έρευνας με τη δορυφορική εικόνα TCs, η διαφορά προκρίνεται σαφέστερα. Από τις δορυφορικές εικόνες TCs και συγκριτική ανάλυση με τους γεωλογικούς χάρτες και το καρστ - μορφολογικοί χάρτες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μερικές καρστικές μορφές αναγνωρίζονται σχεδόν σαφώς. Ο συνδυασμός χρωμάτων φωτεινότητας σαφώς καθορίζει ορισμένες από πυθμένες μεγάλων καρστικών μορφών ως ασβεστόλιθους, κροκαλολατυποπαγή ή κοκκινοχώματα από τους πυθμένες των μεγάλων πολγών και μεγάλων δολινών.

Η βλάστηση – υγρασία και οι συνδυασμοί των χρωμάτων καθορίζονται ιδιαίτερα στις πλαγιές των ασβεστόλιθων ή δολομιτών, καθώς και η επαφή της τεκτονικής προέλευσης των δύο διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών των ασβεστόλιθων, είτε ασβεστόλιθων με δολομίτη, όπως αναπτύσσονται στην κατεύθυνση κατά μήκος των ρηγμάτων.



Εικ.8.6: Έγχρωμη εικόνα TC με τις καρστικές μορφές του τοπίου του Ξηρόμερου

Το Ξηρόμερο δεν είναι μια κλασική καρστική περιοχή των ασβεστόλιθων. Τα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή διαμορφώνουν ασυνήθιστο τοπίο λόγω του μεγέθους των καρστικών γεωμορφών, του τύπου της φυτοκάλυψης,κ.ά. Ελλείψει του επιφανειακού υδρολογικού δικτύου, όλα αυτά καθιστούν δύσκολη την αναγνώριση των καρστικών μορφών και χαρακτηριστικών εξ αποστάσεως. Αντίθετα, στις κλασικές ασβεστολιθικές ή δολομιτικές καρστικές περιοχές η μεταβολή της ανακλαστικότητας της γεωλογίας του εδάφους, της βλάστησης και της υγρασίας του εδάφους, εκφράζονται με μεγαλύτερη σαφήνεια με τη μέθοδο της TCs.

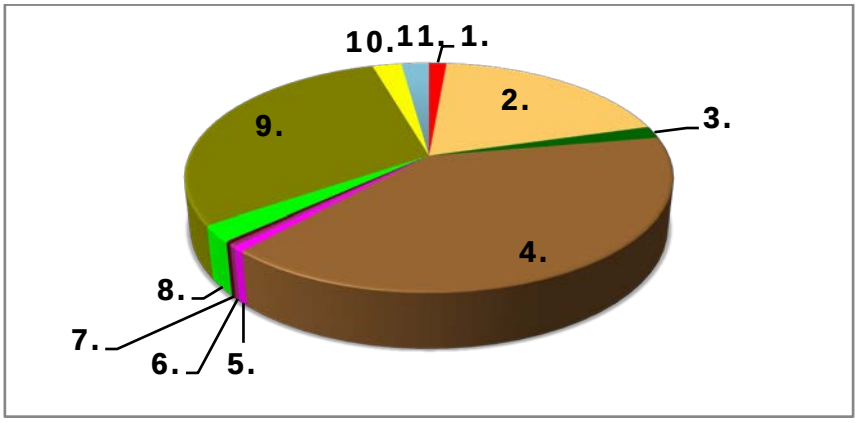
9. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

9.1. Χρήσεις γης

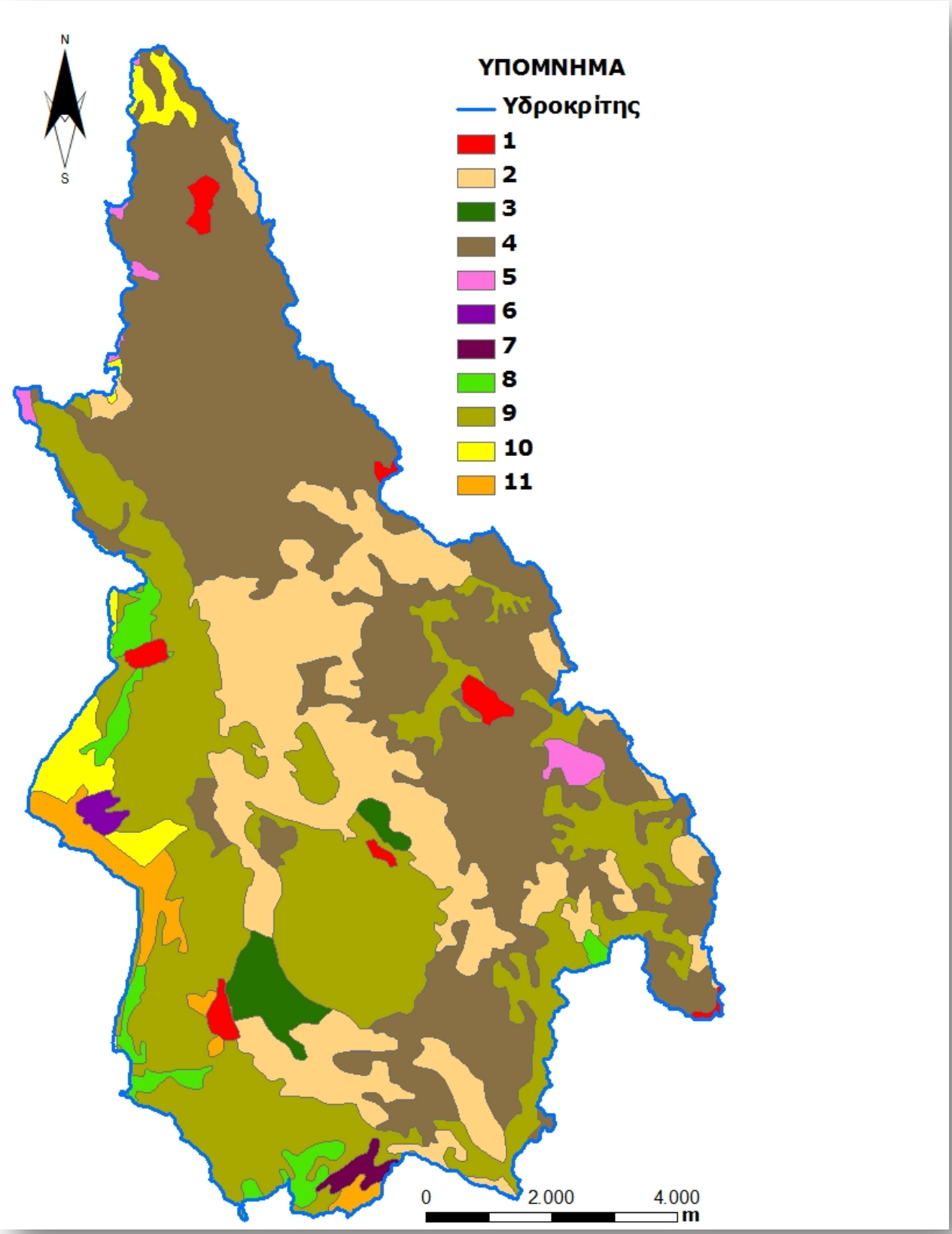
Με βάση το χάρτη Χρήσεων Γης του προγράμματος Corine Land Cover (2000) (έκδοση 13) συμπληρώθηκαν τα ψηφιακά δεδομένα σχετικά με την κάλυψη της γης της περιοχής μελέτης. Η περιοχή μελέτης καλύπτεται από 11 κατηγορίες χρήσεων γης, η κατανομή των οποίων παρουσιάζεται στον Πίνακα 9.1, στο διάγραμμα της Εικόνας 9.1 και στο χάρτη της Εικόνας 9.2.

Πινάκας 9.1: Αναλυτική κατανομή των Χρήσεων Γης στην περιοχή μελέτης

No.	Κωδικός	Περιγραφή	Έκταση (km²)	Ποσοστό (%)
1.	112	Ασυνεχής αστική δόμηση	1,455	1,39
2.	211	Μη αρδευόμενη καλλιεργήσιμη γη	20,149	19,19
3.	242	Σύνθετα συστήματα καλλιεργειών	1,811	1,73
4.	243	Οικόπεδο κυρίως καταληφθέν από τη γεωργία, με σημαντικές εκτάσεις φυσικής	41,39	39,4
5.	311	Δάση πλατύφυλλων	0,787	0,75
6.	312	Δάση κωνοφόρων	0,357	0,36
7.	313	Μικτά δάση	0,415	0,38
8.	321	Λιβάδια	2,423	2,3
9.	323	Σκληρόφυλλη βλάστηση	31,491	30
10.	324	Μεταβατικά δάση/θαμνότοποι	2,423	2,3
11.	333	Εκτάσεις αραιής βλάστησης	2,296	2,2
-	∑	Υδροκρίτης της περιοχής του Ξηρόμερου	105	100



Εικ. 9.1: Διάγραμμα αναλυτικής κατανομής των Χρήσεων Γης στην περιοχή μελέτης (συμπληρωμένο υπόμνημα στο Πινάκα 9.1)

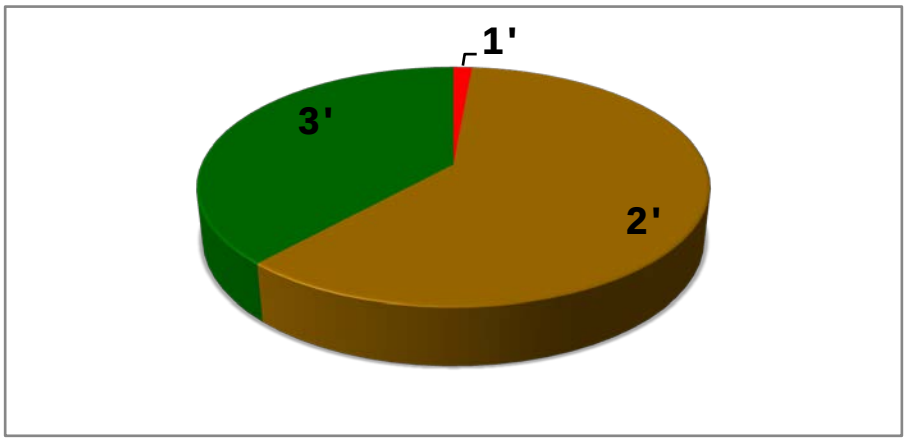


Εικ.9.2: Συμπληρωμένος αναλυτικός χάρτης της κατανομής των Χρήσεων Γης της περιοχής του Ξηρόμερου με βάση τα ψηφιακά δεδομένα του προγράμματος Corine Land Cover 2000 (έκδοση 13; 02/2010)(συμπληρωμένο υπόμνημα στο Πίνακα 9.1)

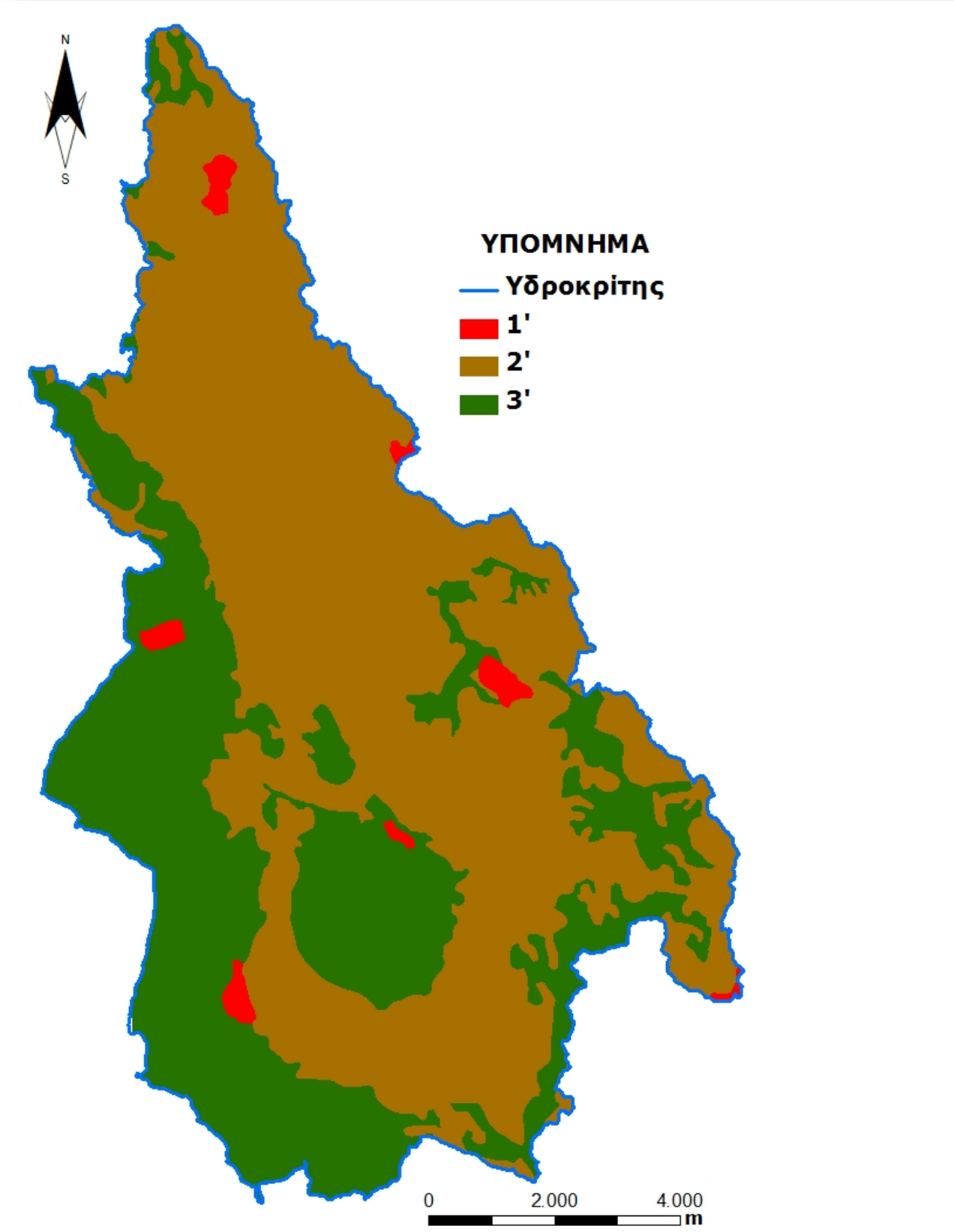
Από την ομαδοποίηση των προαναφερόμενων κατηγοριών, προέκυψαν τρεις κύριες κατηγορίες, τα στοιχεία των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.2 και στο διάγραμμα της Εικόνας 9.3 καθώς και στο χάρτη της Εικόνας 9.4.

Πινάκας 9.2: Συνοπτική κατανομή των Χρήσεων Γης στην περιοχή του Ξηρόμερου

Νο'.	**Περιγραφή**	**Έκταση (km²)**	**Ποσοστό (%)**
1'.	Τεχνητές επιφάνειες	1,455	1,39
2'.	Φυσική βλάστηση	63,35	60,32
3'.	Καλλιεργείς	40,192	38,29
Σ	Υδροκρίτης της περιοχής του Ξηρόμερου	105	100



Εικ.9.3: Διάγραμμα συνοπτικής κατανομής των Χρήσεως Γης στην περιοχή μελετής, περιοχή του Ξηρόμερου (συμπληρωμένο υπόμνημα στον Πίνακα 9.2)



Εικ.9.4: Χάρτης συνοπτικής κατανομής των χρήσεων γης στην περιοχής μελέτης (συμπληρωμένο υπόμνημα στον Πίνακα 9.2)

Από την ανάλυση των προαναφερόμενων στοιχείων, προέκυψε ότι το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης (περίπου 60,32%) καλύπτεται από καλλιέργειες που είναι κυρίως στην ημιορεινή ζώνη των κροκαλολατυποπαγών. Ενώ, σχεδόν όλο το υπόλοιπο μέρος (περίπου 38,29%) καλύπτεται από φυσική βλάστηση είναι κυρίως ορεινές ζώνες των ασβεστόλιθων και δολομιτών. Αντίθετα, ένα πολύ μικρό ποσοστό (περίπου 1,39%) αντιστοιχεί σε τεχνητές επιφάνειες, όπως δρόμοι και αστικές κατασκευές. Είναι εμφανές από τη συγκεκριμένη διαδικασία, ότι στην περιοχή έρευνας οι κατοικημένες εκτάσεις είναι πολύ λίγες, γεγονός που συμφωνεί με την αναφορά που έγινε παραπάνω για τον πληθυσμό της.

Το γεγονός ότι ένα μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης καλύπτεται από καλλιέργειες οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στε αυτές τις περιοχές αναμένεται σημαντική περιβαλλοντική πίεση εξαιτίας του ανθρώπινου παράγοντα (χρήση εντομοκτόνων, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, βοσκότοποι, κτλ.) παρόλο την έλλειψη του νερού ύδρευσης. Αυτό το γεγονός θα έχει βλαπτική επίπτωση στην ποιότητα των διαθέσιμων υπογείων υδάτων και του αποθηκευμένου νερού των τεχνιτών δεξαμενών.

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ –ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Στη σύγχρονη Γεωγραφία θεωρείται αναγκαία η έρευνα των μεθόδων και της ύλης διδασκαλίας της καρστικής γεωμορφολογίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της διδακτορικής διατριβής γίνεται προσπάθεια συνοπτικής περιγραφής των γενικών αρχών της καρστικής γεωμορφολογίας και εξοικείωσης των χρηστών με την πρακτική διάσταση μιας πολύ σημαντικής επιστήμης. Οι γενικές αρχές της καρστικής γεωμορφολογίας αντλούνται από τον ανεξάντλητο θησαυρό και την εμπειρία ενός μεγάλου αριθμού εξαιρετικών επιστημόνων και ερευνητών. Μερικοί από αυτούς παρατίθενται στο κείμενο και αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Σε αυτό το σημείο μου δίνεται η ευκαιρία να τους ευχαριστήσω για τον πλούτο που άφησαν πίσω τους.

Η εργασία αυτή συντελέστηκε στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής με θέμα "Γεωμορφολογική εξέλιξη του καρστ στην περιοχή του Ξηρόμερου – Βορειοδυτική Ακαρνανία, Δυτική Ελλάδα" οπού η περιοχή της μελέτης καταλαμβάνει έκταση 106,76 km^2 στο τμήμα βορειοανατολικά του νομού Αιτωλοακαρνανίας. Η παρούσα μελέτη στοχεύει να δώσει έμφαση στα καρστικά χαρακτηριστικά της περιοχής του Ξηρόμερου τονίζοντας την ολοκληρωμένη γεωγραφική εικόνα της περιοχής βασισμένη στα φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά της.

Σε γενικές γραμμές το Ξηρόμερο απειλείται από το φαινόμενο της ερημοποίησης με αναλογία περίπου 19 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Οι κάτοικοι ασχολούνται κυρίως με τη μικρή οικογενειακή εκμετάλλευση της παραδοσιακής μορφής. Σημαντικότερη θέση έχει η κτηνοτροφική παραγωγή. Τα βοσκοτόπια καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις και το ήπιο κλίμα και η ντόπια παραγωγή ζωοτροφών δίνουν στο νομό σημαντική θέση σε σχέση με την εκτροφή αιγοπροβάτων, βοοειδών και χοίρων. Ταυτόχρονα υπάρχουν ακμάζουσες τυροκομικές μονάδες που παράγουν εξαιρετικής ποιότητας τυρί και τροφοδοτούν τα μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας.

Το Ξηρόμερο είναι μια μη τυπική καρστική περιοχή. Τα καρστικά μορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά περιπλέκονται κυρίως από τα 100m μέχρι 200m των Τριαδικών ασβεστολιθικών κροκαλολατυποπαγών όπου και βασίζεται το 64% της περιοχής μελέτης. Άλλες καρστικοποιημένες γεωλογικές μονάδες είναι κατά 2% η υποκείμενη Τριαδική γύψος, 150m πάχους, με τη διάλυση της γύψου των ίδιων ασβεστολιθικών κροκαλολατυποπαγών. Στην συνέχεια ακλουθούν ασβεστόλιθοι και δολομίτες, με 24%, από το Άνω Τριαδικό μέχρι τις αρχές του Ιουρασικού. Σε σχέση με αυτό το φαινόμενο της γεωλογικής εξέλιξης της περιοχής μελέτης οι καρστικές μορφές δεν μπορούν να γίνουν επαρκώς κατανοητές βασισμένες στους όρους της καρστικής εξέλιξης.

Η γεωγραφία είναι συνθέτη επιστήμη που διερευνά τα γεωγραφικά φαινόμενα και διαδικασίες, συνδέοντας τις φυσικές και ανθρωπογενείς επιστήμες και διεργασίες, προσφέροντας ταυτόχρονα μια σύνθετη και ολοκληρωμένη πληροφόρηση μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για την ανάπτυξη και προστασία της διαδρομής στο μέλλον, η οποία επιτυγχάνεται μέσω του σχεδιασμού της χρήσης γης (land use) και του πολεοδομικού σχεδιασμού (urban planning) του αστικού περιβάλλοντος. Η διδακτορική διατριβή σχετίζεται με την έρευνα και συλλογή χρήσιμων γεωγραφικών πληροφοριών οι οποίες οδήγησαν στη δημιουργία ενός geodatabase συστήματος με απεριόριστες δυνατότητες προσφέροντας ποιοτική πληροφορία και σημαντικά αποτελέσματα. Αναφορικά με το μηχανισμό ανάκτησης των γεωγραφικών πληροφοριών και τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου geodatabase του συστήματος πραγματοποιήθηκε ανάκτηση της πληροφορίας με τρόπο μεθοδικό και απρόσκοπτο και χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές πρόβλεψης για το χρόνο στον οποίο ή geodatabase του συστήματος θα ανανεωθεί με νέες πληροφορίες. Η δημιουργία μιας πρακτικής εφαρμοσμένης ψηφιακής γεωμορφολογικής χαρτογράφησης της περιοχής του Ξηρόμερου πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις: αναζήτηση βιβλιογραφίας, χαρτογράφηση και αναγνώριση των καρστικών μορφών με χρήση του GIS λογισμικού ESRI έκδοσης ArcInfo 9.3.1. για την αξιολόγηση των τοπογραφικών, καρστ μορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης και στη συνέχεια για την αποθήκευση, την ανάλυση και την απεικόνιση λεπτομερούς geodatabase των καρστικών μορφών. Οι ψηφιακές βάσεις δεδομένων δημιουργήθηκαν έτσι ώστε ο χάρτης να μπορούσε να ενσωματώσει έξι διαφορετικά στρώματα: την τοπογραφία, γεωλογία, υδρολογία, τρισδιάστατα, καρστικές μορφές και χρήση γης. Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για καρστικές μορφές παρουσιάζονται με απλές και διάφορες μορφές, όπως τα διαφορετικά περιγράμματα χρώματος, για να παρουσιάσουν σαφώς τη σχέση τους με τις άλλες ταξινομικές πληροφορίες. Οι ψηφιοποιημένες πληροφορίες αποθηκεύονται σε ξεχωριστές υποομάδες και καθένα είναι με χωριστό στρώμα για την καλύτερη και ευκολότερη χρήση, ενώ συνοδεύονται με τερματικούς χάρτες. Η χρήση του λογισμικού ArcGIS 9.3.1., η δημιουργία geodatabase και οι χάρτες που προέκυψαν από αυτή τη μελέτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν βάση για το μέλλον:

- καλύτερη αναγνώριση, εξερεύνηση και προστασία των καρστικών μορφών
- για τη διαχείριση της χρήσης γης του καρστ
- για την μελέτη και κατανόηση του επιφανειακού και υπόγειου υδρολογικού δικτύου αποστράγγισης στην περιοχή μελέτης.

Τα χαρακτηριστικά των δικτύων αποστραγγίσεων, της μορφολογίας, της εδαφολογικής κάλυψης και άλλων διαγνωστικών παραμέτρων, όπως βλάστηση και υγρασία, μπορούν να

μελετηθούν χρησιμοποιώντας τις πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες. Η διάφορη λιθολογία απεικονίζει την ακτινοβολία στους διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τις ιδιότητες επιφάνειας (χώμα, βλάστηση, μορφολογία κ.λπ.) συνεπώς, η αξιολόγηση τέτοιων ιδιοτήτων και των αθροιστικών αποτελεσμάτων τους μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα σχετικά με τον τύπο και την κατάσταση της λιθολογίας. Επειδή όλες οι φυσικές ή μη φυσικές επιφάνειες απεικονίζουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σύμφωνα με τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους, οι Landsat TM πολυφασματικές ζώνες μικρής κλίμακας θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλες για την ανίχνευση και μελέτη των κοινών καρστικών γεωμορφών εάν η κλίμακα προσαρμόζεται ανάλογα με το μέγεθος της καρστικής μορφής ή της περιοχής μελέτης. Στην περιοχή μελέτης, με τη μέθοδο κύριων συστατικών (Principal Component method) τα σύνορα των μορφών του καρστ δεν μπορούν να είναι σαφώς αναγνωρισμένα, αλλά μπορούν μόνο να συναχθούν. Μπορούν να αναγνωρισθούν μόνο μεγάλες καρστικές μορφές όπως ο υδροκρίτης των μεγαλύτερων πολγών, όπου ασβεστόλιθοι μπορεί να συνορεύουν με κροκαλολατυποπαγή, κοκκινοχώματα, παλαιούς και νέους κώνους κορηματών, ενώ μικρότερες καρστικές μορφές όπως οι δολίνες και ουβάλες είναι πολύ δύσκολο ή και αδύνατο να διακριθούν από μακριά. Αυτό εν μέρει ελέγχεται από την χωρική ανάλυση του χρησιμοποιούμενου δορυφορικού συστήματος .

Με τις μεθόδους TCP, έναντι της προηγούμενης PCA μεθόδου, τα όρια μερικών καρστικών μορφών ελέγχονται πιο σαφώς και μερικές ακόμη αναγνωρίζονται. Επίσης εάν συγκρίνουμε το γεωλογικό χάρτη του τομέα της έρευνας με τη δορυφορική εικόνα TCP, η διαφορά προκρίνεται σαφέστερα. Από τις δορυφορικές εικόνες TCP και συγκριτική ανάλυση με τους γεωλογικούς χάρτες και τους καρστικούς - μορφολογικούς χάρτες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μερικές καρστικές μορφές αναγνωρίζονται σχεδόν σαφώς, οι οποίες είναι είτε μεταξύ δύο διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών των ασβεστόλιθων, είτε ασβεστόλιθων με δολομίτη, ή τεκτονικής προέλευσης όπως αναπτύσσονται στην κατεύθυνση κατά μήκος των ρηγμάτων.

Το μέγεθος του υδροκρίτη μιας δολίνης είναι συχνά κατά προσέγγιση ανάλογο ως προς το μέγεθος του καρστικού αγωγού –καταβόθρας στη βάση της. Αντίθετα, η πιο ομοιόμορφη υψηλή επιφάνεια διαπερατότητας των κροκαλολατυποπαγών του Ξηρόμερου διαδεδομένο επαναφορτίζεται από έναν «καλά-τσιμενταρισμένο» ασβεστόλιθο, με συνέπεια τη μικρότερη απορροή και μεγαλύτερη απόθεση των ιζημάτων στις δολίνες, προκαλώντας αποτελεσματική μείωση του μεγέθους των καρστικών αγωγών μέχρι και εξαφάνισή τους. Εντούτοις, η υψηλή διαπερατότητα υποδεικνύει ότι τα υπόγεια νερά τροφοδοτούνται από τέτοια επαναφόρτιση, καθώς επίσης σπανιότερα μέσω των ανοικτών αγωγών και είναι ιδιαίτερα ευπαθή στη μόλυνση από την αποστραγγισμένη επιφάνεια. Το σύστημα των δολινών διάλυσης και των ύδρο – δεξαμενών στα κοκκινοχώματα είναι επαρκές για τη μέτρια άντληση νερού της περιοχής μελέτης, αλλά η ποιότητα αυτού του νερού χρήζει ιδιαίτερης προστασίας από τα φυτοφάρμακα

και άλλους γεωργικούς μολυσματικούς παράγοντες. Οι χάρτες βασισμένοι στο GIS και η geodatabase που δημιουργήθηκαν μέσα σε αυτήν τη μελέτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- να αξιολογήσουν την ευπάθεια (vulnerability),
- να σχεδιαστούν τα προστατευτικά μέτρα των μεμονωμένων περιοχών της σημαντικής ευπάθειας,
- να δημιουργηθεί μέθοδος για μελλοντικά περιφερειακά πρότυπα επαναφορτίσεων των υπόγειων νερών,
- να αναπτυχθούν συμπληρωματικά σχέδια παροχής νερού και συντήρησης στην περιοχή μελέτης.

Το Ξηρόμερο είναι μια περιοχή όπου ψηλοί ασβεστόλιθοι περιβάλλουν τις πόλγες και κυματιστοί λόφοι τα χαμηλά ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή και κοκκινοχώματα με υποκείμενο γύψο. Τα υπόγεια νερά είναι απρόσιτα στα φρεάτια, αν και κάποια υπόγεια νερά είναι διαθέσιμα μέσω των ύδροδεξαμενών και μερικών λίμνοδολινών. Το νερό για την εσωτερική χρήση εισάγεται από το διπλανό υδροφόρο ορίζοντα του χωριού Αχυρών. Αυτό το σύστημα παροχής νερού είναι επαρκές για τις μέτριες απαιτήσεις της περιοχής, αλλά ανεπαρκές για τον πληθυσμό ή τη γεωργική παραγωγή και τα τοπικά - παραγόμενα υπόγεια νερά στερούνται την επαρκή προστασία από τη μόλυνση. Παρακάτω παρατίθενται συστάσεις για την αύξηση της παραγωγής του νερού και για την καλύτερη προστασία των παροχών του νερού από τη ρύπανση στην περιοχή μελέτης:

- Η πραγματοποίηση μιας λεπτομερούς υδρογεωλογικής μελέτης των πόρων των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

  Αρχικά είναι απαραίτητο το πρόγραμμα γεωτρήσεων για την διαπίστωση, διευκρίνιση και έλεγχο των φρεατίων (monitoring wells) για τον χαρακτηρισμό των παραμέτρων των υδροφόρων στρωμάτων όπως η αποθήκευση, η βιώσιμη παραγωγή, η κατάσταση και τα όρια της ροής και η σχέση τους με την λίμνη Αμβρακία. Η πιεζομετρική επιφάνεια (ποτενσιομετρική επιφάνεια) που υποστηρίζει η λίμνη μπορεί να υποστηρίξει τη μεγαλύτερη απόσυρση των υπόγειων υδάτων από τον υδροφόρο ορίζοντα από ό, τι επί του παρόντος. Τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων και της σχετικής εργασίας υπαίθρου μπορούν να ανακαλύψουν υψηλής απόδοσης φρέατα που μπορεί να δικαιολογούν την οριοθέτηση της πορείας της ροής των υπόγειων νερών και των λεκανών απορροής.
- Οι κοινότητες και τα απομονωμένα σπίτια, οι σιταποθήκες και άλλες δομές θα μπορούσαν να τροποποιηθούν εύκολα και με σχετικά χαμηλότερο κόστος, για να συγκομίσουν το νερό των βροχοπτώσεων από τις στέγες για την εσωτερική χρήση, όπως νερό για κατανάλωσης. Τα περισσότερα από τα κτήρια της περιοχής καλύπτονται με

κεραμίδια, τα οποία παρέχουν την καθαρή απορροή που χρειάζεται την ελάχιστη επεξεργασία για την κατανάλωση.

- Αξιολόγηση των σηπτικών συστημάτων των χωριών της περιοχής και διαπίστωση εάν οι βελτιώσεις είναι εφικτές για τη μείωση της μόλυνσης των υπόγειων νερών. Ένα περιφερειακό σύστημα επεξεργασίας λυμάτων δεν είναι βεβαίως οικονομικά εφικτό.
- Ο καθαρισμός όλων των χωματερών σκουπιδιών και η δημιουργία χώρου υγειονομικής ταφής στην περιοχή μελέτης,
- Σύνθεση στο GIS χαρτών και geodatabase με τις ανωτέρω συστάσεις για την αξιολόγηση και την ευπάθεια (vulnerability) στην περιοχή μελέτης, όπου με την κατάλληλη στρατηγική να μπορέσουν να αναπτυχθούν προστατευτικά μέτρα των μεμονωμένων περιοχών σημαντικής ευπάθειας, εξέταση των μελλοντικών περιφερειακών πρότυπων των υπόγειων νερών, και ανάπτυξη συμπληρωματικών μεθόδων παροχής του νερού και της συντήρησής του.

Στην περιοχή μελέτης υπάρχει γεωργική ή βιομηχανική ζήτηση για την αύξηση της προσφοράς του νερού από τον πληθυσμό της περιοχής μελέτης. Ο πληθυσμός και η γεωργική βάση του παρέχονται συγκρατημένα από τους υπάρχοντες τοπικούς υδάτινους πόρους, και συμπληρώνονται από τη πηγή Άχυρων και την λίμνη Αμβρακία. Η εντατικότερη γεωργία θα απαιτούσε πρόσθετο νερό αλλά το κόστος του συστήματος σωληνώσεων πρέπει να έχει οικονομική απόδοση.

Βαθιά δοκιμαστικές γεωτρήσεις μπορούν να παράγουν επιπλέον υπόγεια νερά και τα καλύτερα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Τα κοκκινοχώματα των πολγών και δολινών και ο ρηχός υδροφόρος ορίζοντάς τους, μπορούν να προτείνουν υδρολογικές και γεωχημικές κεκορεσμένες συνθήκες στα υποκείμενα κροκαλολατυποπαγή και τη γύψο και ενδεχομένως χαμηλή έως μέτρια διαπερατότητα. Τα φρεάτια στο ιδιαίτερα ρηγματώδες περιβάλλον των κροκαλολατυποπαγών ασβεστόλιθων μπορεί να είναι πιο παραγωγικά, εξαιτίας του μικρότερου φραξίματος των αγωγών τους από τα ιζήματα.

Οι χημικές αναλύσεις των υπόγειων νερών του Ξηρόμερου είναι σπάνιες και περιλαμβάνουν μόνο μερικά σημαντικά ιόντα. Το ασβέστιο και το δισανθρακικό άλας κυμαίνονται συνήθως από περίπου 50-200 ppm , το χλώριο είναι συχνά ανυψωμένο λόγω της

εγγύτητας της περιοχής στο Ιόνιο. Οι ιοντικές δυσαναλογίες υποδεικνύουν τουλάχιστον ένα σημαντικό ελλείπον συστατικό, το οποίο είναι πιθανό θειικό άλας από τη διάλυση γύψου και σε αυτήν την περίπτωση οι συγκεντρώσεις θειικού άλατος μπορούν να είναι υψηλές για την ανθρώπινη κατανάλωση αλλά κατάλληλες για την άρδευση και τα εκτρεφόμενα ζώα.

Η ποιότητα των παροχών νερού του Ξηρόμερου είναι αρκετά ευάλωτη στη ρύπανση. Η λίμνη Αμβρακία, ως μια μεγάλη ανοιχτή δεξαμενή των επιφανειακών υδάτων, είναι ευαίσθητη στην απορροή από την παρακείμενη περιφερειακή εθνική οδό και τις γεωργικές πρακτικές. Τα ρηχά υπόγεια νερά στα κοκκινοχώματα είναι επίσης τρωτά στη γεωργική ρύπανση, ειδικότερα από τα λιπάσματα και φυτοφάρμακα αλλά και το λίπασμα από τα εκτρεφόμενα ζώα. Τα υπόγεια νερά κοντά στα σπίτια, ειδικά στα χωριά, είναι τρωτά στα σηπτικά συστήματα των ανθρώπινων απόβλητων αποχέτευσης. Περιοχές μεγαλύτερης και μικρότερης ευπάθειας είναι προς το παρόν απροσδιόριστες, αλλά σχετίζονται με αλλαγές στην ετερογένεια των κοκκινοχωμάτων και στην ισοτροπική φύση και στην παρουσία και απουσία των υπογείων αγωγών. Τα περιθώρια των ασβεστόλιθων της περιοχής μελέτης είναι απότομα με μικρή γεωργική εκμετάλλευση και ανθρώπινη παρουσία και ενώ θεωρούνται εγγενώς τρωτοί λόγω του υψηλού διαπερατού τους, λίγοι μολυσματικοί παράγοντες είναι παρόντες. Οι ρίψεις απορριμμάτων, σκουπιδιών και οι χωματερές, αποτελούν εξαίρεση. Δεν περιλαμβάνονται χώροι υγειονομικής ταφής και οι χωματερές είναι διάσπαρτες στην περιοχή, θέτοντας το παρακείμενο νερό σε κίνδυνο (Εικόνες 1, 2).

Εικ.1: Ο σκουπιδότοπος του πυθμένα της καταβόθρας στην πόλγη Σπήλια, 0,7 χιλ. βόριο-βορειοδυτικά του χωρίου Παππαδάτος, περιοχή του Ξηρόμερου

Εικ.2: Ο σκουπιδότοπος στους πρόποδες κάτω (περίπου 0,3χιλ.) από το χωρίο Κομπωτή, περιοχή του Ξηρόμερου

Οι πιθανές επιδράσεις όλων αυτών των δραστηριοτήτων οφείλονται αυτήν την περίοδο μόνο θεωρητικώς στον ανεπαρκή χαρακτηρισμό του νερού των υδροφόρων στρωμάτων και της επιφάνειας. Απαιτούνται περισσότερες και πιο πλήρεις αναλύσεις της χημικής σύστασης του νερού. Ως εκ τούτου, η προστασία του επικάρστ και του καθαρού και πόσιμου νερού, η διατήρηση της βιοποικιλότητας και της λειτουργίας των οικοσυστημάτων, η εκτίμηση των συνεπειών των χρήσεων γης στο υπέδαφος καθώς και η κατανόηση της τροφοδοσίας στις υδρολογικές, γεωλογικές και βιολογικές διαδικασίες, οι οποίες επηρεάζουν την επιφάνεια της περιοχής μελέτης είναι ένα από τα περιβαλλοντικά θέματα, των οποίων η λύση θα έπρεπε να αναζητηθεί.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βαβιλάκη Ε., Ψιλοβίκο Α., Σωτηριάδη Α., 1981, **Μεγάλες επιφανειακές καρστικές μορφές στο όρος Μειοίκιο της Α. Μακεδονίας, 1° Πανελλήνιο Σπηλαιολογικό Συμπόσιο Δελτίο Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρίας**, Αθήνα, ΤΟΜΟΣ XVIII, σ. 441-453
- Βασιλόπουλος Α.Π., 2001, **Ανάλυση γεωμορφολογικών και γεωγραφικών δεδομένων με τη χρήση τεχνολογίας γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στο νήσο Κεφαλλήνια,** , (Διδακτορική διατριβή): Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
- Δούτσος Θ., 2000, **Γεωλογία: Αρχές και Εφαρμογές**, Leader Books Α.Ε., Αθήνα
- Ζαγκούρογλου Κ., Παπαχριστοπούλου Σ., 1982, **Η κατανομή των S, B, V στους εβαπορίτες της ευρείας περιοχής Κατούνας Αμφιλοχίας**, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Δ/ΝΣΗ Γεωχημείας, Αθήνα
- Φιλίππο Φ.Σ., 1989, **Γεωηλεκτρονική έρευνα στη περιοχή Ξηρόμερου Αιτωλοακαρνανίας**, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Δ/ΝΣΗ Γεωφυσικών Ερευνών, Αθήνα
- Καλυμενός Κ., 2002,**Υδρογεωλογικές αναγνώρισης των Δ.Δ. Καντούνας & Κονοπίνας του Δήμου Μεδέωνος Νόμου Αιτωλοακαρνανίας**, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Δ/ΝΣΗ Υδρογεωλογίας, Αθήνα
- Καμαρέτσου Β., Πρατικάκη Α., 1977, **Γεωμορφολογική μελέτη της περιοχής της Βόνιτσας**, (Διπλωματική εργασία): Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Αθηνά
- Κανδηλη Φ.Ι., 1988, **Ο υετός στην Στέρεα Ελλάδα,** (Διδακτορική διατριβή): Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθηνά
- Κατσιαβρία,Ν., 1998, **Γεωλογική μελέτη περιοχής Ξεροπόταμου Αμφιλοχίας,** Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Δ/ΝΣΗ Γεωλογίας και Γεωλογικών Χαρτογραφήσεων, Αθήνα
- Κουκουβέλας Ι.Κ., 1998, **Τεκτονική Γεωλογία**, Leader Books Α.Ε., Αθηνά
- Κυλάφη Μ., 2000, **Υδρολογική μελέτη στις πρώην κοινότητες Αστακού, Μύτικα, Ευηνοχωριού, Μεσολογγίου – Ρέματα περιοχής Αστακού, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Αιτωλοακαρνανία**, Δ/ΝΣΗ Τεχνικών Υπηρεσιών, Αγρίνιο

- Λεοντάρης Σ.Ν., 1967, **Γεωμορφολογική αιρεύναι επί της λεκάνης των Αιτωλοακαρνανικών λιμνών**, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
- Λεοντάρης Σ.Ν., Λειβαδίτης Γ., Σάμπω Β., Γουρνέλλος Θ., 1991, **Γεωμορφολογία Ελλάδας**, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
- Λέκκας Ε.Λ. (Επιστημονικός Υπεύθυνος) ,1995-1997, **Νεοτεκτονικός χάρτης Αιτωλίας κι Ακαρνανίας, Νομαρχιακή Αυτοδικήσει Αιτωλίας-Ακαρνανίας**, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα-Μεσολόγγι
- Μαριαλάκος Η. ,Φουντούλης Ι., 2001, **Σημειώσεις Νεοτεκτονικής**, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Αθήνα
- Μαριαλάκος Η. ,Φουντούλης Ι., Θεοχάρη Δ., 2001, **Διαχείριση υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών του νομού Αιτωλοακαρνανίας με τη χρήση Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών**, Πρακτικά 9^{του} Συνέδριου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Δελτίο Ελλην Γεωλ. Ετ., τ.XXXI/5 σελ. 1835-1842.
- Μαρίνου Π.Γ. & Φραγκοπουλου Ι.Α., 1973, **Σύστημα καρστικών πηγών Λάμπρας (Περιοχή Λεσινίου Αιτωλοακαρνανίας), το πρόβλημα τροφοδοσίας και χημισμός των υδάτων**, τεύχους του <<ΔΕΛΤΙΟΥ>> της Ελληνικής Επιτροπής Αρδεύσεων και Αποστραγγίσεων, ΑΘΗΝΑΙ, αριθ.62-63,
- Μερτζάνη Α.Κ., 1992, **Γεωμορφολογική εξέλιξη του Αμβρακικού κόλπου**, (Διδακτορική διατριβή): Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, , Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Αθηνά
- Μκτοπόλινος, Ν.Δ., 1990, **Γεωλογία - Πετρογραφία,** Εκδόσεις Γιαχούδη-Πανόπουλη, Θεσσαλονίκη
- Μπέλλος, Θ.Λ., 2000, **Γεωμορφολογική μελέτη της περιοχής της Δ. Ελικώνας, Ν Παρνασσού, ΝΑ. Γκιώνας**, (Διδακτορική διατριβή): Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθηνά
- Μουντράκης Δ., 1985, **Γεωλογία της Ελλάδας**, University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- Παβλοπούλος, Κ., 1997, **Γεωμορφολογική εξέλιξη της Νότιας Αττικής**, (Διδακτορική διατριβή): Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθηνά
- Παπαπέτρου-Ζαμάνη Α., 1988, **Σημειώσεις Καρστικής Γεωμορφολογίας**, Πανεπιστήμιο Αθηνών - Γεωλογικό Τμήμα, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Αθηνά
- Παπαπέτρου-Ζαμάνη Α., 1995, **Γεωμορφολογία,** Πανεπιστήμιο Αθηνών - Γεωλογικό Τμήμα, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Αθηνά

- Παπαπέτρου-Ζαμάνη Α., 1990, **Σημειώσεις Γεωμορφολογίας**, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθηνά
- Παπαδοπούλου-Βρινιώτη Κ., 1990, **Γεωμορφολογική μελέτη της περιοχής Κωπαΐδας (Βοιωτία),** (Διδακτορική διατριβή): Γεωλογικό τμήμα Πανεπιστήμιου Αθηνών, Τομέας Γεωγραφίας - Κλιματολογίας, Αθηνά
- Παπαδοπούλου-Βρινιώτη Κ., 2000, **Σημειώσεις θεμάτων Καρστικής Γεωμορφολογίας**, Πανεπιστήμιο Αθηνών - Γεωλογικό Τμήμα, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Αθήνα
- Παπαδοπούλου-Βρινιώτη Κ., 2003, **Υδροφόροι ορίζοντας σε καρστικές γεωμορφές, λειτουργιά και αξιοποίηση αυτών,** Πρόγραμμα εργασιών Πανελλαδικού Συνεδρίου, Υπουργείο Γεωργίας, Ελλάδα, Το Νερό στον 21ο αιώνα, , N° 34.
- Παπαδοπούλου-Βρινιώτη Κ., 2002, **Το κωνικό καρστ της Ελλάδας ως παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής**, Περιβάλλων Ενέργια και Ανάπτυξη, Πρακτικά Συνεδρίου Ρόδου, Ρόδος, σ. 46-49.
- Παπανικολάου Ι.Δ., 1988, **Γεωλογία της Ελλάδας**, Πανεπιστήμιο Αθηνών - Γεωλογικό Τμήμα, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Αθηνά.
- Παπανικολάου Δ., Καροτσιέρη Ζ., Φουντούλη Ι., Λόζιο Σ., Μαριολάκο Η., 2002, **Σημειώσεις Τεκτονικής Γεωλογίας**, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Αθήνα.
- Πίτσικα Λ., 1992, **Τα κοιτάσματα Τριαδικών Γύψων του Νομού Αιτωλοακαρνανίας**, Ι.Γ.Μ.Ε., ΠΑΡ/ΜΑ Πρέβεζας, Πρέβεζα .
- Στουρνάρας Γ., 2000, **Ειδικά Μαθήματα Γεωλογικών Εφαρμογών**, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Αθήνα.
- Χριστοδούλου Γ.Ε., 1991, **Τετράγλωσσο λεξικό γεωλογικών ορών**, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθηνά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΞΕΝΗ

- Alpha T.R., Galloway J.P., Tinsley III J.C., 1997, **Karst Topography -Computer animations and paper model**, U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, USCG ESIC Open-File Report Section, Denver
- Andelić M. (1990) Geomorfologija, Izdanje Vojno-geografskog instituta, Beograd.
- Angel J.C., Nelson D.O., Panno S.V., 2004, **Comparison of new GIS-based technique and a manual method for determining sinkhole density: an example from Illinois sinkhole plain**, Journal of Cave and Karst Studies, v.66, no.l, p. 9-17.
- Angelova D., 2003, **Karst Types in Bulgaria**, Acta Carstologica, Ljubljana, 32/1 1 9-18.
- Angelova D. & Belfoul M.A. & Bouzid S. & Filahi M. & Faik F., 2003, **Paleoseismic phenomena in karst terrains in Bulgaria and Morocco**, Act Carstologica, Ljubljana, 32/1 8 101-120.
- Aničić B. & Rechner I. & Perica D., 2004, **Structural vocabulart of cultural landscape on the island of Krk (Croatia)**, Act Carstologica, Ljubljana 33/1, 7, 101-115.
- Aničić B. & Perica D., 2003, **Structural features of cultural landscape in the karst area (landscape in Transition)**, Act Carstologica, Ljubljana 32/1 13 173-188.
- Appendix one - literature review- **Karst Features and Geohazards st Formation,** www.ga.gov.au.pdf, 29-39.
- Armstrong R., Osborne L., 2003, **Paleokarst: cessation and rebirth,** The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers**?**, 1 (2), p.2.
- Atalay I., 2003**, Effects of the tectonic movements ob the karstification in Anatolia, Turkey**, Act Carstologica, Ljubljana, 32/2 16 196-203.
- Australian Speleological Federation, 2002, **Glossary of Speleological and Caving Terms A-Z Complete**, Melbourne.
- Bočić N., 2003, **Relation between karst and fluviokarst relief on the Slunj Plateau (Croatia),** Act Carstologica, Ljubljana, 32/2 11 137-146.
- Bogli A., 1980, **Karst Hydrology and Physical Speleology,** Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.

- Bosák P., 2003, **Karst processes from the beginning to the end: How can they be dated?**, The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers1 (3), p.2.
- Cork J.G., 1981, **Hydrological processes in karst depressions,** Z.Geomorph. N.F., Berlin-Stuttgart, 25;3;313-331.
- Crist E.P., Laurin R., Cicone R.C., 1986, **Vegetation and Soils Information Contained in Transformed Thematic Mapper Data**. Paper presented at International Geosciences and Remote Sensing Symposium (IGARSS)' 1986 Symposium, ESA Publications Division, ESA SP-254.
- Crist E.P., Kauth R.J., 1986, **The Tasseled Cap De-Mystified.** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**,** 52 (1): 81-86.
- Crist E.P.; Cicone R.C., 1984, **A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data – The TM Tasseled Cap**. IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing 22(3), 256-263.
- Cvijić J., 1991, **Geomorfologija I,** Sabrana dela, SANU, Beograd.
- Cvijić J. 1991, **Geografija Krasa,** Sabrana dela, SANU, Beograd.
- Cvijić J., 1991, **Karst,** Sabrana dela, SANU, Beograd.
- Cvijić J., 1957, **Podzemna hidrologija i morfoloska evolucoja karsta,** Posebno Izdanje Srpskog Geografskog Društva, Beograd, Sveska 34.
- Cvijić J., 1926, **Cirkulacija vode i erozije karsta,** Glasnik Beogradskog Društva, Beograd, Sveska 12.
- Car J., 2001, **Structural bases for sharping of dolines,** Acta Carstologica, Ljubljana, 30/2 ; 17; 239-256.
- Cucchi F. & Zini L., 2003, **Gypsum karst of Zaragosa Mountines (I.R. Iran)**, Acta Carstologica, 32/1 6 69-82.
- Currens J., 2002, **Kentucky Is Karst Country!-What You Should Know About Sinkholes and Springs,** Inf. Circ.4., series XII, Geological Survey, University of Kentucky, Lexington.
- De Mers N.M., 2002, **"GIS Modeling in Raster"**, John Wiley and Sons, New York.
- Dreybrot W., Gabrovšek F., Romanov D., 2005, **Processes of Speleogenessis: a modeling approach**, Acta Carstologica, Postojina-Ljubljana.
- Dimitrijević M.D., 1978, **Geolosko kartiranje**, BIGZ, Beograd.

- Denizman C., 2003, **Morphometric and spatial distribution prarmeters of karstic depressions**, Lower Suwannee River Basin, FloridaJournal of Cave and Karst Studies, v. 65, n. 1, p. 29-35.
- Dreybrodt W. and Gabrovšek F., 2003, **Basic processes and mechanisms governing the evolution of karst,** The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 1 , p.2.
- Jennings J.N., 1971, **Karst**, THE M.I.T. PRESS, Cambridge, Massachusetts and London, Englan.
- Jennings J.N., 1985, **Karst Geomorphology**, Basil Blackwell Inc. New York.
- Jennings J.N., 1979, **Cave and karst terminology**, ASF. Newsletter 83.
- Gabrovšek F., 2002, **Evolution of karst from prekarst to cessation**, Carstologica, Založba ZRC, Postojina-Ljubljana.
- Gams X, 2001, **Notion and forms of contact karst**, Acta Carstologica, Ljubljana30/2; 2; 33-46.
- Gams X, 2000, **Doline morphogenetic processes from global and local viewpoints,** Acta Carstologica, Ljubljana29/2 ; 8; 123-138.
- Gilison D., 1996, **Caves: Processes, Development and Management,** Blackwell Publishers Inc., Oxford, UK.
- Golubovic Deligianni M. Pavlopoulos K., Veni G., Parcharidis I., 2009, **Geomorphological evolution and digital mapping of the Ksiromero region,** 2009 ICS Proceedings Volume 3, 15th International Congress of Speleology, pg.1458.
- Golubovic Deligianni M., Pavlopoulos K., Stournaras G., Vouvalidis K., 2010, **Digital geomorphological mapping of the karst area of Ksiromero region - western Greece**, 14Th Joint Geomorphological Meeting (JGM), Romania, Bucharest–Sinaia, poster.
- Golubović Deligianni, M., Parcharidis, I., Pavlopoulos, K., 2010, **Karstic landscape study based on Remote Sensing Data: the case of Ksiromero region, Aitoloakarnania - Western Greece**,12Th International Congress of Geological Society of Greece, Bulletin of the Geological Society of Greece, Volume XLIII, No 2, pg.158.2.
- Golubovic Deligianni M., Veni G., Pavlopoulos K., 2011, **Land Use and Limitations in the Sinkhole and Polje Karst of the Ksiromero Region - Western Greece,** The 12th Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, St. Louis, Missour, USA.

- Grohmann C.H., 2004, **Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R**, Computers & Geosciences, (30 / 1055–1067).
- Gunn J., 2004, **Encyclopedia of caves and karst science**, Fitzroy Dearborn, London**,** 902 pages.
- Zotl XG., 1973, **Karsthydrogeologie**, Springer - Verlag, Wien.
- Eakin X, Buehiler J., 2003, **Natural features inventory: karst,** Final report, Monroe Country Planning Department, Monroe Country Guvermant.
- ELKE - Hellenic Center for Investment, **Invest in Grecce – Mineral Resource.**
- Ekmekci M., 2003, **Review of Turkish karst with emphasis on tectonic and paleogeographic controls,** Acta Carstologica, Ljubljana, 32/2 17 205-218.
- Epstein J.B., 2000, Gypsum **– karst collapse in the Black Hills, South Dakota – Wyoming,** ZDA, Acta Carstologica, Ljubljana, 29/2 ;7; 103-122,
- Fishler.H., **Physische Geographie II**.
- Horne J.H., 2003, **A tasseled cap transformation for IKONOS images. ASPRS Annual Conference Proceedings**, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Anchorage, Alaska -USA, 2003; pp. 1-7.
- Institute of Geology and Mineral Exploration, 1986, **Geological map of Greece: Astrakos Sheet**, Institute of Geology and Mineral Exploration, 1 sheet.
- Institute of Geology and Mineral Exploration, 1987, **Geological map of Greece: Amphilochia Sheet,** Institute of Geology and Mineral Exploration, 1 sheet.
- Karanjica X, Karanjac O., 1985, **Geoloski recnik srpskohrvatski-engleski,** Rudarski Institut Beogad, Beograd.
- Kauth R.J., Thomas G.S., 1976, **The tasseled cap: A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat**, Final proceedings: Second international symposium on machine processing of remotely sensed data, Purdue University, West Lafayette, pp. 41–51.
- Karakitsos V., 1993**, Synfrift sedimentation during exstensional faulting from Middel Lias to Mal Period and inversion tectonics of Ioanian basin in Epirus** (NW – Greece), Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, τομ. XXVIII, σελ. 327-350, Αθήνα.
- Karakitsos V., 1995, **The Influence of Preexisting Structure and Holokinesis on Organic Matter Preservation and Thrust System Evolution in the Ionian Basin,**

Northwest Greece, AAPG Bulletin, The American-Association of Petroleum Geologist, Department of Geology, University of Athens, V.79,No. 7.

- Karakitsios V., Tsikos H., Van Breugel Y., Bakopoulos I. and Koletti L., 2004, **Cretaceous oceanic anoxic events in Western Continental Greece**, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2004; Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη.
- Karakitsos V., Pomoni-Papaioannou F., 1998, **Sedimentological study of Triassic solution – collapse breccias of the Ionian (NW Greece),** Carbonate & Evaporites ν, 13., no.2, p. 207-218.
- Karakitsos V., 1992, **Ouverture et Inversion Tectonique du Bassin Ionien (Epire, Grece),** Annales Geologues des pays Helleniques, vol. 35, pp.185-318.
- Karst Waters Institute, 1999, **Karst Modeling,** Special Publication 5, Proceedins of the symposium, Charlottesville, Virginia
- Kaufman G., 2003, **Karst Landscape Evolutions,** Speleogenesis and Evolution of Karst Aqiufires**,** Postojina- Ljubljana,1 (3).
- Kiraly L., 2003**, Karstification and Groundwater Flow,** The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 1 (3), , p.2.
- Kirsten E., 1958, **Das Westliche Mittelgriecheland und die Westliche Westergriecheninseln**, Teil II, Vittorio Klostermann, Frankfurt am Main.
- Klimchouk A., Lowe D., Cooper A. & Sauro U., 1996, **Gypsum Karst of the World,** International Journal of Speleology, Societá Speleologica Italiana, volume 25 (3-4).
- Klimchouk A., 2000, **Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers,** National Speleological Society, Alabama U.S.A.
- Klimchouk A., 2004, **Towards defining, delimiting and classifying epikarst - Its origin, processes and variants of geomorphic evolution,** Karst Water Institute special publication, The Virtual Scientific Journal, n°9, 23-35,.Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers,
- Klimchouk A., 2002, **Subsidence hazards in different types of karst: evolutionary and speleogenetic approach,** The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 31(1/4)5-18.
- Kovačić G., 2003, **The protection of karst aquifers: the example OF THE Bistrica karst spring (SW Slovenia)**, Acta Carstologica, Ljubljana, 32/2 18 219-234.
- Kresić, N., 1991, **Kvantitativna Hidrologija Karsta,** Naucna Knjiga, Beograd.
- Lavreau J., 1991, **De-Hazing Landsat Thematic Mapper Images,** Photogrammetric

Engineering & Remote Sensing 57 (10): 1297-1302.

- Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1987, **Remote Sensing and Image Interpretation,** New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Lowe D., Walthem T., 2002, **Dictionary of Karst and Cave,** British Cave Research Association, Cave Studies Series: Number 10, UK
- Macaluso T., Sauro U., 1996, **Weathering crust and karren on exposed gypsum surface,** Int. J. Speleal. ,25 (5-4).
- Maire R. (1990) La haute montagne calcaire, , Karstologia-Mémories n°3, Imprerie ARC-EISERE, Montnelian.
- Marković M., Pablobic R., Cupkovic T., 2003, **Geomorfologija,** Rudarsko-Geoloski Fakultet, Beograd.
- Marković M., 1983, **Osnovi primenjene geomorfologije**, Geoinstitut, Beograd.
- Meijninger B.M.L., 2001**, Geographic Information System Analysis of north western Greece,** ITC International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences Enschede, The Netherlands, Nederland.
- Messina P., 2009**, Groundwater and Associated Landforms Groundwater and Associated Landforms**, Lecture 2, San Jose State, GREEN 134
- Milanović, P., 2004, **Water resources engineering in Karst**, , CRC Press, Boca Raton, Florida
- MOORES E.M. and FAIRBRIDGE R.W., (Eds.,) 1997, **Encyclopedia of European and Asian Regional Geology,** FAIRBRIDGE R.W., Encyclopedia of Earth Sciences Series, Chapman & Hall, London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 804 pp.
- **National Data Bank of Hydrological and Meteorological Information** (NDBHMI), 2010, accessed September 2010 at http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/en/index.html.
- Nicod J., 2003, **A little contribution to the karst terminology: special or aberrant case of poljes?,** Acta Carstologica, Ljubljana, 32/2 3 29-39,
- Orndorff .R.C. & Weary D.J. & Lagueux K.M., 2000, **Geographic Information System analysis of geological controls on the distribution of dolines in the Ozarks of South-Central Missouri, USA,** Acta Carstologica, Ljubljana, 29/2 11 161-175.
- Parise M, Federico A., Delle Rose M. & Sammarco M., 2003, **Karst terminology in Apulia (Southern Italy)**, Acta Carstologica, Ljubljana, 32/2 6 65-82.
- Perica D. & Buzjak N., 2001, **Contct karst of Southern Velebit (Croatia),** Acta Carstologica, Ljubljana, 30/2, 6. 103-113.

- Perica D., Bognar A., Lozić S., 2002, **Geomorphological features of the Baške Oštarije karst polje,** Geoadria, Zadar, Volumen 7/2 23-34.
- Petrović K.V., Nikolić P.S., 1979, **Osnovi Geologije**, Naucna Knjiga, Beograd.
- Petrović D., 1977**, Geomorfologija,** Izdav.Pred. Građevinska Knjiga, Beograd.
- Philippson A., 1958, **Die Griechischen Landshaften. Eine Landeskuden, . Bd. II: Das westliche Griechenland und die westgriechischen Inseln, Die Landschaft Aetolien (der aetolische Pindos) und Akarnanien,** Verlag Klostermann, Frankfurt/Main**,** (299-417).
- Pfibyl, J., 1986, **Regularities of karst processes,** , Ceskoslovenske akademie ved ν Brne, Acta Sc. Nat. Brno, 20(12): 1 43.
- Papadopoulou-Vrynioti K., 2004, **The role of epikarst in the morphogenesis of karstic forms in Greece and specially of karstic hollow forms,** Acta Carstologica, Ljubljana, 33/1 14 219-235.
- Pomoni, F., 1980, **Genesis-diagenesis of Triassic breccia and nodular gypsum of Epirus**, Inst. Geol. & Min. Exploration. Min. and Petr. Research, No 2 (in Greek).
- Pomoni-Papaioannou, F., 1985, **The sedimentology and depositional environment of the Triassic dolomitegypsum facies of western Greece**, 6th Eur. Reg. Meet. Int. ass. Sed., 367-368.
- Pomoni-Papaioannou F., Karakitsos V., Kamberis E., Marnelis F., 2004, **Cheveron-type and nodular anhydrite in the Triassic subsurface evaporates of Ioanian zone (Western Greece)**, Bulletin of the geological Society, Proceedings of the 10th International Congress, Thessalonica, vol. XXXVI.
- Pomoni-Papaioannou F., Karakitsios V., 2002, **Facies analysis of the Trypan' carbonate unit (Upper Triassic) in central-western Crete (Greece): an evaporite formation transformed into solution-collapse breccias**, Sedimentology, http://www.blackwellpublishing.com/, Volume 49 Issue 5 Page 1113.
- Ranz C, 1911, **Geologische Forschungen in Akarnania**, Nagele & Dr.Sproesser, Sttutgart.
- Ranz C, 1940, **Die Tektonik der Griechischen Gebirge**, Τόμος 8ΟΣ, Γραφεϊον Δημοσιευμάτων της Ακαδημίας Αθηνών, Αθήνα.
- Renton, 1994, **Physical Geology**, West Publishing Co., West Group,
- Richards A. (1999) **Remote Sensing digital image analysis: An introduction**, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.

- Sabins F.F., 1996, **Remote Sensing: Principles and Interpretation**, W. H. Freeman and Company, New York, 3rd ed., 494 p.
- Sauro U., 2003, **Dolines and sinkholes: aspect of evolution and problems of classification**, Acta Carstologica, Ljubljana, 32/2 ; 4; 41-52.
- Sauro U., 2000, **Morphogenetical aspect of collapse dolines and open pits in the karst of the Venetian Fore-Alps,** Acta Carstologica, Ljubljana,29/2 14 195-199.
- Šebela S., Čar J.,2001, **Velika Jasanova dolina – a former collapse doline,** Acta Carstologica, Ljubljana, 29/2 ; 15; 201-212.
- Smolová I., 2000, **Geomorphological analisis of karst relief in surroundings of Taramka in highlands of Ludmirov**, Geographica, Acta Univ. Palacki. Olomuc., (36/ 71-79).
- Shofner G.A., Mills H.H., 2001, **A simple map index of karstification and its relationship to sinkhole and cave distribution in Tennessee,** Journal of Cave and Karst Studies, 63(2): 67-75.
- Stepišnik U., 2003, **The origin of sediments inside the collapse dolines of Postojina Karst (Slovenija),** Acta Carstologica, Ljubljana, 33/1 15 237-244.
- Stournaras G., A. Panagopoulos, K. Sotiropoulou, 1989, **"La signification hydrogeologique, des conditions hydrochimiques et geomorphologiques d'un terrain gypseux. Les sources de Drymos"**, Geologie Mediterraneenne, tome XVI, n.4, 1989, pp.311-320.
- Sturnaras G., Papadopulos T., 1990, **Aspects Hydrogeologiqes des bassins fermens karstiques le polje de Livadi (Arachova, Greece),** Mémoires of 22nd Congress of I AH, Lausanne, Vol.XXII part 2, p. 592-602.
- Šušteršič F., 2000, **Are collapse dolines formed only by collapse?**, Acta Carstologica, Ljubljana, 29/2 ; 16; 213-230.
- Šušteršič F., 2003, **Collapse Dolines, Deflector Faults and Collector Channels,** Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, The Virtual Scientific Journal, p.2, 1 (3).
- Šušteršič F., Šušteršič S., 2003, **Formation of the Cerkinišèica and the flooding of Cerkiniško polje,** Acta Carstologica, Ljubljana, 32/2 10 121-136.
- Taylor P.J., 1977, Quantitative **Methods in Geography: An Introduction to Spatial Analysis**, Boston, Massachusetts: Houghton Mifflin Company.
- Tomić G., 1990, Hidrolosko kartiranje, Naučna Knjiga, Beograd
- Underfill J.R., 1985, **Neogen and Qaternary tectonics and sedimentation in Western Greece**, Submitted for the degree of Philosophiae Doctor in University of Wales.

- Urich P.B., 2002, **Land use in karst terrain: review of impacts of primary activities on temperate karst ecosystems** , Department of Conservation, Wellington, New Zealand.
- Veni G., 1997, **Geomorphology, Hydrology, Geochemistry, and Evolution of the Karstic Lower Glan Rose Aquifer, South-Central Texas**, A Doctorate Thesis, Monographs 1, Texas Speleological Survey, Austin, Texas.
- Veni G., 1999, **A geomorphological strategy for conducting environmental impact assessments in karst areas,** Geomorphology, ELSEVIER, Amsterdam, Netherlands31; 151-180.
- Veni G., 2001, **Living with Karst,** AGI Environmental Awareness Series 4, American Geological Institute.
- Veni G., 2004, **GIS Modelling of Significant Karst Areas for Purchase and Protection**, In room GEO 3.222, The University of Texas at Austin, Department of Geological Sciences, Hydro Brown-Bag Seminar Series.
- Veni G., Poulianos N.A., Golubovic Deligianni M., Poulianos A., 2009, **Preliminary hydrologic survey of Petralona Cave**, Chalkidiki, Greece, 2009 ICS, Proceedings Volume 3, 15th International Congress of Speleology, pg.1717.
- Vötta A. Brückner H., Handl M., 2003, **Holocene environmental changes in coastal Akarnania (northwestern Greece)**, Berichte, Forschungs- und Technologiezentrum Westküste d. Univ. Kiel, Büsum (117-133), Nr. 28, 234 S.
- Waltham A.C. (1981) The karstic evolution of the Matienzo depression, Spain, 25;3;300-312, Z.Geomorph.N.F., Berlin-Stuttgart.
- Waltham A.C. and Fookes P.G., 2003, **Engineering classification of karst ground conditions**, The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers.
- White W.B., 1988, **Geomorphology and Hydrology of karst terrains**, Oxford University Press, Oxford, New York.
- White W.B., 2003, **Conceptual models for karstic aquifers**, The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 1 (1), p.2.
- Whitten D.G.A., Brooks J.R.V., 1973, **The Penguin Dictionary of GEOLOGY**
- Williams, P. W., 1993, **Environmental Change and Human Impact on Karst Terrains: An Introduction.** In: Paul W. Williams ed. Karst Terrains: Environmental Changes and Human Impacts. Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag: 1-19

- Worthington S.R.H., 2003, **A comprehensive strategy for understanding flow in carbonate aquifer** Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, The Karst Waters Institute, Charles Town, West Virginia (USA), (1/30-37).
- Wray R.A.L., 1997, **Quartzite dissolution: karst or pseudokarst?** , The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 2, p.2.
- Field M.S., 2002, **A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology** , National Centre for Environmental Assessment– Washington Office, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency Washington.
- Fink, M. H. & Verginis S., 1974, **Beiträge zur Karstmorphologie von Nord-Akarnanien (Westgriechenland)**, Karte, Die Höhle, Wien, - 25/4, 116-131.
- Fink M. und Verginis S., 1976, **Karstmorphologische Studien in Mittel-Akarnanien (Westgriecheland)** ,1729, Karte, Die Holle , Wien, 27/1.
- Florea L., 2005, **Using state-wide GIS data to identify the coincidence between sinkholes and geologic structure**, Journal of Cave and Karst Studie, v. 67, no. 2, p.120–124.
- FORD D., Williams P., 2007, **Karst Hydrogeology and Geomorphology**, John Wiley & Sons, LTD, West Sussex, England.
- Frelih M., 2003, Geomorphology of karst depressions: polje or uvala – a case study of Luéki Dol, Acta Carstologica, Ljubljana, 32/2 9 105-119.
- Häuselmann P. in collaboration with the International Geographical Union, 2005, **Karst Surface Map Symbols**, UISIC Working group Survey and Mapping UIS Cave Signatures, www.sghbern.ch/surfaceSymbols.
- Hinsbergan D.J.J., Langereis C.G., Meulenkamp J.E., 2004, **Revision of timing, magnitude and distribution of Neogene rotations in the western Aegean region** , Tehnophysics, www.elsevier.com/locate/tecto, 396 (2005) 1-34.
- Hinsbergen D.J.J., Van der Meer D.G., Zachariasse J.W, Meulenkamp J.E., **Deformation of western Greece during Neogene clockwise rotation and collision with Apulia**, Department of Geology, University of Leicester, University Road, Leicester, England.
- Hung L.Q., Dinh N.Q, Batelaan O., TamV.T., and Lagrou D., 2002, **Remote sensing and GIS-based analysis of cave development in the Suoimuoi Catchment (Son La - NW Vietnam)**, Journal of Cave and Karst Studies, 64(1): 23-33.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το 33% της επιφάνειας της Ελλάδας είναι καρστικό. (Παπαδοπούλου-Βρίνιοτη, 2004).

Η Ελλάδα δεν έχει εξειδικευμένες κυβερνητικές ή ιδιωτικές υπηρεσίες που ασχολούνται με την εξειδικευμένη έρευνα των καρστικών τοπιών. Κατά συνέπεια, η γνώση είναι διάσπαρτη και οι καρστικές υδρογεωλογικές έρευνες συχνά δεν στηρίζονται σε μια σαφή κατανόηση της καρστικής γεωμορφολογίας. Ο στόχος της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής αποτελεί την κατασκευή ενός μοντέλου για τον ελλαδικό χώρο που ενσωματώνει την καρστική εξέλιξη με τη μελέτη της οργάνωσης και την προέλευση των καρστικών γεωμορφών, την επιρροή τους στις ανθρώπινες δραστηριότητες, και τις επιπτώσεις αυτών των δραστηριοτήτων στην καρστική εξέλιξη. Αυτή η διατριβή παρουσιάζει επίσης μερικά από τα αινιγματικά ερωτήματα των καρστικών γεωμορφολογικών ερευνών στο Ξηρόμερο, απαντώντας μέσω της δημιουργίας ενός καρστικού γεωμορφολογικού χάρτη και geodatabase των ψηφιακών γεωμορφολογικών δεδομένων, σε συνδυασμό με τα στοιχεία που προέκυψαν από τις δορυφορικές εικόνες Landsat TM, τις 9 Σεπτεμβρίου 1992 στις 09:25 UTC, και μέσω της χρήσης του Principal Component Analysis και Tasseled Μετασχηματισμού Cap. Η καρστική γεωμορφολογική έρευνα που εστιάζεται στην επίλυση των προβλημάτων της χρήσης γης, σε συνδυασμό με την κατανόηση της φυσικής ιστορίας και την ανάπτυξη και τις λειτουργίες των καρστικών χαρακτηριστικών, είναι αναγκαία για τη βιωσιμότητα του καρστικού περιβάλλοντος. (Veni, 1999).

Εκτός από την περιγραφή των περιφερειακών υδρογεωλογικών ρυθμίσεων και του τρόπου προσαρμογής του πληθυσμού του Ξηρόμερου στο υδάτινο περιβάλλον και στις πρακτικές χρήσων γης σε αυτό το φτωχό σε καρστικό περιβάλλον, αυτή η διατριβή παρέχει μια προκαταρκτική ανάλυση των πρακτικών αυτών και να κάνει ορισμένες συστάσεις για τη βελτίωση και περαιτέρω έρευνα. Το Ξηρόμερο είναι μια καρστική περιοχή με εβαποριτικό και ανθρακικό καρστ στο βορειοανατολικό τμήμα του νομού Αιτωλοακαρνανίας, στη Δυτική Ελλάδα με έκταση 107 km^2 . Η έκτασή του οριοθετείται από την ορεινή περιοχή των Ακαρνανικών Ορέων προς τα βόρεια (Ψηλή Κορυφή, η υψηλότερη κορυφή είναι 1.157 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας), τη λεκάνη της λίμνης Αμβρακίας προς τα ανατολικά, τον Αμβρακικό Κόλπο στα βόρεια και τις λεκάνες απορροής των ποταμών στα νότια, των οποίων η ροή βαίνει προς το Ιόνιο Πέλαγος μέσω της Ακαρνανίας.

Το καρστ του Ξηρόμερου αναπτύχθηκε κατά κύριο λόγο στα στρώματα των 10 έως 200 μ. πάχους κροκαλοπαγών-λατυποπαγών του Τριαδικού, που καταλαμβάνουν το 64% της περιοχής, στα 200-300 m πάχους στρώματα του Ανώτερου Τριαδικού- Πρώιμου Ιουρασικού

ασβεστόλιθων και δολομιτών, καταλαμβάνοντας το 24%, 10% των Τεταρτογενών αποθέσεων και στα 150 μ. πάχους Τριαδικών γύψων, καταλαμβάνοντας το 2% των αποθέσεων. Η περιοχή του Ξηρόμερου βρίσκεται στην Ιόνιο γεωτεκτονική ζώνη, μέρος της μεγάλης εξωτερικής Πλατφόρμας των Ελληνίδων που εκτείνεται δυτικά από την ηπειρωτική Ελλάδα και εμφανίζεται στο δυτικό άκρο της Πελοποννήσου και σε ορισμένα από τα Δωδεκάνησα. Οι πρωτογενείς τεκτονικές δομές της Ιονίου Ζώνης δημιούργησαν ρήγματα με διεύθυνση ανατολικά προς τα δυτικά και βορειοανατολικά-νοτιοδυτικά και ανάστροφα και κανονικά ρήγματα με τάση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά. Έτσι, δημιουργήθηκε η μεγάλη τεκτονική λεκάνη του Ξηρόμερου, καθώς και άλλες λεκάνες στη δυτική Ελλάδα. Η γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής παρέχεται από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (1986, 1987) και την εργασία πεδίου. Ο Γεωλογικός χάρτης (fig.6.1) απεικονίζει τις μονάδες αυτές, την καρστική γεωμορφολογία και τα υδρολογικά χαρακτηριστικά.

Η μελέτη διεξήχθη σε πέντε φάσεις: βιβλιογραφική έρευνα, έρευνα πεδίου, αναγνώριση γεωμορφών, εργαστηριακή ανάλυση των δειγμάτων νερού και πετρωμάτων και χαρτογράφηση με τη χρήση των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών λογισμικού ArcGIS της ESRI ® έκδοση 9.3.1. Τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν, αναλύθηκαν και δημιουργήθηκε μια λεπτομερής geodatabase των τοπογραφικών, μορφολογικών, υδρολογικών χαρακτηριστικών και μια λεπτομερέστερη των καρστικών γεωμορφών για την περιοχή, με στόχο την εκπόνηση χαρτών και εκθέσεων. Η ψηφιακή βάση δεδομένων που επιτρέπει το συνδυασμό των διαφορετικών στρωμάτων της geodatabase είναι πέντε: τοπογραφία, γεωλογία, υδρολογία, Landsat εικόνες, και καρστικά. Για λεπτομερή ανάλυση και οπτικοποίηση των δεδομένων ψηφιοποιήσαμε 21 (1:5.000) τοπογραφικά φύλλα της περιοχής σε 4-m διαστήματα περίγραμμα και με παρεμβολή στα 2 μ. Πραγματοποιήθηκε οργάνωση της βάσης δεδομένων των καρστικών γεωμορφών σε υπο-ομάδες, σε διαφορετικά επίπεδα και υπολογίστηκε η επιφάνεια και ο όγκος κάθε χαρακτηριστικής καρστικής επιφάνειας. Η γεωλογική βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε από την ψηφιοποίηση διαφορετικών στρωμάτων των γεωλογικών και τοπογραφικών πληροφοριών έγινε με κλίμακα 1:50.000 από τους χάρτες του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών(1986,1987).

Δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων με όλες τις υπάρχουσες μορφές των καρστικών και τις υπο-ομάδες τους σε διαφορετικά στρώματα (παράρτημα: Καρστικός Γεωμορφολογικός χάρτης). Καθορίστηκαν 13 πόλγες στην περιοχή, ενώ μέσω της οριοθέτησης της λεκάνης απορροής εντοπίσαμε μια μεγάλη, σύνθετη καρστική λεκάνη, η οποία περιλαμβάνει 13 λεκάνες απορροής τομέα και δύο μικρότερες, των δολινών. Βρέθηκαν 15 υπολειμματικοί λόφοι στις πόλγες, που αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθο με παρενθέσεις γύψου, πιθανόν αποτέλεσμα της μικρότερης διαλυτότητας από τεκτονικούς παράγοντες. Εντοπίστηκαν συνολικά 267 δολίνες με

χωνοειδή και ρηχή σχήμα και μερικές δολίνες κατάρρευσης. Με την χρήση της ταξινόμησης του Čar (2001) για τις δολίνες, κατά κύριο λόγο στην περιοχή της μελέτης υπάρχουν εγκατακρεμνησιγενείς δολίνες, δολίνες στις ρηξιγενείς ζώνες, δολίνες κοντά σε ρήγμα ή οι δολίνες στις ζώνες ρήγματος. Εντοπίστηκαν επίσης και 23 ουβάλες. Επίσης, με την χρήση του ArcMap-Hydrology προσδιοριστήκαν 229 καταβόθρες οι οποίες υπάρχουν κατά την επαφή του ασβεστόλιθου με κροκαλολατυποπαγή και ακολουθούντων ρηγμάτων.

Στην ελληνική γλώσσα το «Ξηρόμερο»siromero" σημαίνει το «στεγνό μέρος». Υδρογεωλογικά, είναι ένα σύστημα κλειστών λεκανών εμπλουτισμένων με καρστικά των οποίων τα χαρακτηριστικά δεν είναι επαρκώς καθορισμένα και όπου ο προορισμός των υπόγειων υδάτων του είναι άγνωστος. Ενώ το επίπεδο της θάλασσας στον Αμβρακικό Κόλπο είναι το απόλυτο επίπεδο βάσης και το νερό της λίμνης Αμβρακίας δείχνει ότι είναι ένα σημαντικό επίπεδο βάσης στο εσωτερικό της χώρας (~ 25 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας), επί του παρόντος δεν υπάρχουν εμπειρικά δεδομένα για τον προσδιορισμό των επιπέδων των υπόγειων υδάτων ή την κλίση τους. Μερικά ρηχά πηγάδια στα πλαίσια της ομάδας των λατυποπαγών χρησιμεύει ως μικρή, τοπική παροχή ύδατος. Χημικές αναλύσεις των υπόγειων υδάτων δείχνουν αυτό μπορεί να έχει μέτρια έως υψηλά επίπεδα θειικών, κατάλληλα δηλαδή για άρδευση και το ζωικό κεφάλαιο, αλλά όχι για ανθρώπινη κατανάλωση. Σύμφωνα με τα δεδομένα απογραφής του πληθυσμού τον Μάρτιο του 2001 , ο πληθυσμός ανερχόταν στα 5.493 άτομα (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2010). Σε γενικές γραμμές, το νερό που παρέχεται στο Ξηρόμερο προέρχεται από γειτονικές περιοχές. Νερό για τη γεωργία είναι αποθηκευμένο συνήθως στις περισσότερες από 380 δεξαμενές, σε μερικές φυσικές καταβόθρες, ενώ οι περισσότερες έχουν ανασκαφεί στα κοκκινοχώματα, στις πόλγες και μεγάλες δολίνες. Ρηχά υπόγεια ύδατα εμφανίζονται σε μερικές από τις δολίνες, καθώς και εποχιακά όμβρια ύδατα αντλούνται μέσα από άλλες περιοχές ή από παρακείμενα πηγάδια. Αυτό το σύστημα είναι επαρκές για μέτρια κάλυψη των αναγκών σε νερό, αλλά δεν δίνει δυνατότητες σε περίπτωση ζήτησης. Οι περισσότερες χρήσεις γης είναι καλλιεργήσιμες εκτάσεις και βοσκότοποι, και περιορίζεται στις σχετικά επίπεδες οροφές των καταβοθρών και πολγών. Η απουσία των σκουπιδότοπων σε συνδυασμό με άλλους γεωργικούς ρυπαντές μπορεί να απειλήσουν την ποιότητα των υπόγειων υδάτων, αλλά οι επιπτώσεις δεν είναι προς το παρόν αντιληπτές λόγω του ανεπαρκούς χαρακτηρισμού του υδροφόρου ορίζοντα.

ABSTRACT

Thirty-three percent of Greece is karst (Papadopoulou-Vrynioti, 2004). Greece has no specialized governmental or private karst research association. Consequently, knowledge is scattered, and hydrogeological karst investigations are often not based on a clear understanding of karst geomorphology. The objective of the present Doctorate Thesis constitutes construction of a model for the country that integrates karst evolution with the study of the organization and origin of karst landforms, their influence on human activities, and the impact of those activities on karst. This dissertation also presentes some of the puzzling questions of our karst geomorphological research of Ksiromero, and answers are developed through the creation of a karst geomorphological map and geodatabase, with insights from Landsat satellite images. Karst geomorphological research that focuses on the resolution of land use problems, combined with an understanding of the natural history and development and functions of karst features is necessary to sustainably live with karst (Veni, 1999).

As well as describing the regional hydrogeologic settings and how the people of Ksiromero have adapted their water and land use practices to this water-poor karst environment, this dissertation provides a preliminary analysis of those practices, and make some of recommendations for improvement and further research.

Ksiromero is an evaporite and carbonate karst region in the northeast section of the Prefecture of Aitoloakarnania, in western Greece (fig.3.1). Its 107 km2 area is bounded by the mountainous area of Akarnanika Ori to the west (Psili Koryfi, the highest peak, is 1,157 m above sea level), the basin of Lake Amvrakia to the east, Amvrakikos Gulf to the north, and the southern watersheds whose rivers flow to the Ionian Sea through the Department of Akarnania.

The karst of Ksiromero is primarily developed on beds of 10-200 m thick Triassic carbonate breccia conglomerates which occupy 64% of the region; 200-300 m thick Upper Triassic to Early Jurassic limestones and dolomites occupy 24%, Quaternary deposits 10%, and 150 m thick Triassic gypsum 2%. The Ksiromero region is within the Ionian geotectonic zone, part of the large External Hellenides Platform that extends west from mainland Greece and appears on the western edge of Peloponnesus and in some of the Dodecanese Islands. Primary tectonic features of the Ionian Zone are long thrust faults that trend east-west and northeast-southwest, and long reversed and normal faults that trend northwest-southeast. The faults' configurations have created the large tectonic basin of Ksiromero and other basins in western Greece. Geologic

mapping of the region is provided by the Institute of Geology and Mineral Exploration (1986, 1987) and field work. On Geological map (fig.6.1) are illustrates these units and karst geomorphic and hydrologic features.

The study was conducted in five phases: literature search, field research, landform reconnaissance, laboratory analysis of water and rock samples, and field mapping and use of geographic information systems software ESRI ArcGIS® version 9.3.1. It stored, analyzed and displayed a detailed geodatabase of topographic, morphologic, hydrologic characteristics and establish a detailed geodatabase of karst landforms for the region to produce maps and reports. The digital database allows combination of the geodatabase's five different layers: topography, geology, hydrology, LandSat imagery, and karst features. For detailed visualization and analysis we digitalized 21 (1:5,000) topographic sheets of the region at 4-m contour intervals and interpolated at 2 m. Digital geomorphological mapping combined the topographic data with landforms mapped with LandSat TM satellite images, acquired on 9 September 1992 at 09:25 UTC, and through the use of Principal Component Analysis and Tasseled Cap Transformation. We organized the karst landform database into sub-groups in different layers and calculated the surface area and volume each individual surface karst feature. The geological database was created by digitizing different layers of geological and topographical information on the 1:50,000 scale maps by the Institute of Geology and Mineral Exploration (1986, 1987).

We created a database with all existing karst forms and their sub-groups in different layers (annex: Karst Geomorphological map). We identified 13 poljes in the region; through watershed delineation, we identified one large compound karst basin, which includes 13 polje watersheds, and 2 smaller separate watersheds of group of dolines. We found 15 residual hills in the poljes, comprised predominantly of limestone intercalated with gypsum and likely the result of lesser solubility than tectonic factors. We identified a total of 267 dolines with funnel, shallow, and a few collapse morphologies. Using Čar's (2001) classification scheme, Ksiromero primarily has broken, broken collapse, near-fault, and fault dolines. We also identified 23 uvalas. Also, with Arc Map → Hydrology are indentified 229 ponors which exist at the contact of the limestone with the breccia conglomerates and follow faults.

"Ksiromero" is Greek for "dry place."

Hydrogeologically, it is a system of closed karst watersheds whose recharge characteristics are poorly defined and where the downgradient destination of its groundwater is unknown. While sea level at the Amvrakikos Gulf is the ultimate base level and the water of Lake Amvrakia suggests it is a major inland base level (~25 m above mean sea level), currently there are no empirical data to identify groundwater levels or their gradient. Some shallow wells in the breccia conglomerate serve as small, local water supplies. Partial chemical analyses suggest this

groundwater may have moderately high sulfate levels suitable for irrigation and livestock, but not for human consumption. March 2001 census data for communities in this hydrologically delineated area list the population as 5,493 (Hellenic Statistical Authority, 2010). Most of their water is not derived from within the Ksiromero area. Generally, domestically used water is supplied to Ksiromero from a neighboring region. Water for agriculture is stored in more than 380 reservoirs, some natural sinkholes but most excavated in terra rossa soils of poljes and large sinkholes. Shallow groundwater occurs in some of the sinkholes and earthen reservoirs, as well as seasonally captured storm water, but much is pumped in from the other region or from adjacent wells. This system is adequate for the area's modest water needs, but not for potential increased demand. Most land use is farming and pasture, and limited to the relatively flat floors of sinkholes and poljes. The absence of sanitary landfills and other agricultural contaminants potentially threaten groundwater quality, but the impacts are not presently quantifiable due to insufficient aquifer characterization.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

«Καρστικός γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής του Ξηρομερου»