

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

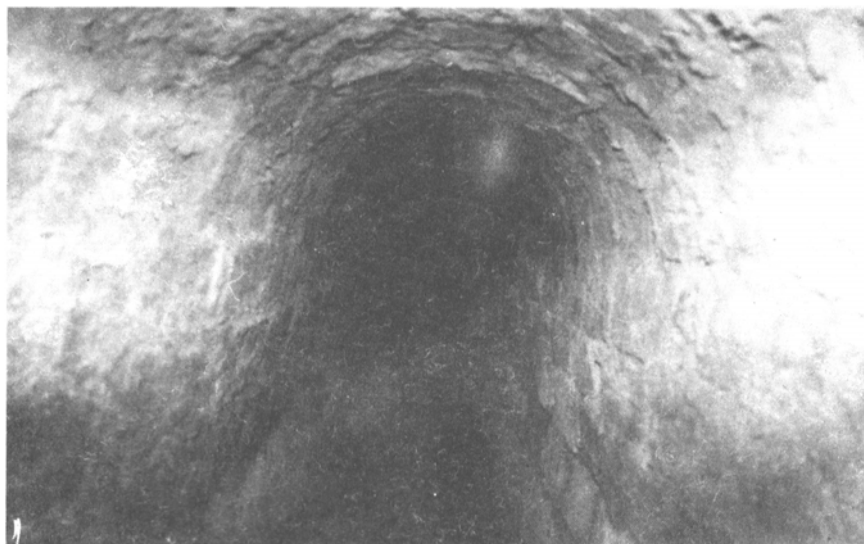


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΣΙΛΙΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΣ

Φοιτητής Γεωλογίας

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ QANAT (KANAT) ΤΟΥ
ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΤΗΣ Π. ΛΕΥΚΟΘΕΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΑΡΧΙΑ ΦΥΛΛΙΔΑΣ
Ν. ΣΕΡΡΩΝ ΑΠΟ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ, ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΗ,
ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΨΗ**



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2004

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

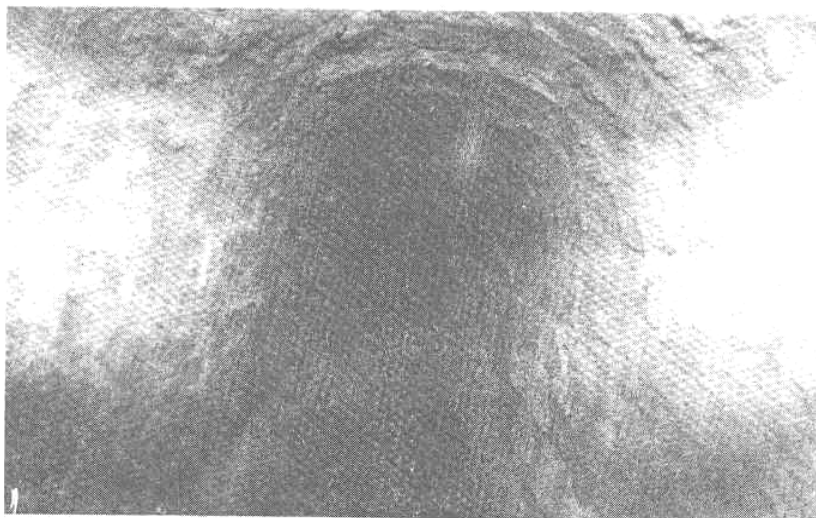


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΣΙΑΛΙΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΣ

Φοιτητής Γεωλογίας

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΝΑΤ (ΚΑΝΑΤ) ΤΟΥ
ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΤΗΣ Π. ΛΕΥΚΟΘΕΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΑΡΧΙΑ ΦΥΛΛΙΔΑΣ
Ν. ΣΕΡΡΩΝ ΑΠΟ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ, ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΗ,
ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΨΗ**



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2004

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή	13
2. Ιστορικά Στοιχεία	14
3. Γεωγραφικά Στοιχεία	14
4. Γεωλογικά Στοιχεία	16
Α. Γεωτεκτονική κατασκευή Ροδόπης	16
Α.1. Λιθοστρωματογραφία	16
Α.2. Τεκτονική Δομή & Ορογενετική Εξέλιξη	18
Β. Γεωτεκτονική κατασκευή Μενοικίου	20
Β.1. Νεογενείς & Τεταρτογενείς αποθέσεις Μενοικίου	25
Β.2. Μορφοτεκτονικές Δομές Μενοικίου	30
Β.2.Ι. Ρήγματα με διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ	31
Β.2.ΙΙ. Ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ	32
Β.2.ΙΙΙ Ρήγματα με διεύθυνση Δ – Α	34
Β.3. Σχετική χρονολόγηση Νεοτεκτονικών παραμορφώσεων ...	35
Β.4. Τελικά συμπεράσματα	37
5. Σεισμολογικά Στοιχεία	38
6. Γεωμορφολογικά Στοιχεία	38
Α. Γενικές παρατηρήσεις	38
Β. Υδρογραφικό δίκτυο	42
Β.1. Αδρανές υδρογραφικό δίκτυο	43
Β.2. Η μορφή του ενεργού δικτύου	43

B.3. Ιδιορρυθμίες στον τρόπο ροής	44
Γ. Παλιές επιφάνειες διάβρωσης (PEDIMENT, GLACIS)	45
Γ.1. Εισαγωγικά Στοιχεία	45
Γ.2. Κατάταξη των επιφανειών επιπέδωσης	47
Γ.3. Μορφολογικά γνωρίσματα των επιφανειών επιπέδωσης στην περιοχή μελέτης	48
Γ.4. Συγκριτικά στοιχεία	49
Γ.5. Επιφάνειες επιπέδωσης Μενοικίου	53
Γ.6. Παράγοντες που διαμόρφωσαν το ανάγλυφο	54
7. Μελέτη των συστημάτων QANAT	56
A. Εισαγωγικά Στοιχεία	56
B. Περιγραφή των συστημάτων	56
Γ. Τρόπος & Προϋποθέσεις κατασκευής ενός συστήματος QANAT	58
Δ. Τούνελ με πηγαία ροή	60
E. Τεχνητή δημιουργία πηγών	65
ΣΤ. Συγκριτικά Στοιχεία	65
8. Υδρομάστευση πηγών	67
9. Συστήματα QANAT επαρχίας Φυλλίδας Ν. Σερρών	78
A. Ενεργά συστήματα QANAT	78
A.1. Τύπος QANAT Ν. Ζίχνης – Π. Λευκοθέας	79
B. Αδρανή συστήματα QANAT	82
B.1. Κατολισθήσεις	83

B.2. Πλημμύρες χειμάρρων ή ρυακιών	86
Γ. Η κατά βάθος διάβρωση (ΧΑΡΑΔΡΩΤΙΚΗ)	86
Δ. Απόθεση αλάτων κυρίως Ca στους αγωγούς μεταφοράς	87
Ε. Είσοδος ριζών δένδρων ή θάμνων εντός των τούννελ	88
10. Κλιματικά Στοιχεία	89
11. Υδρολογικά Στοιχεία	95
Α. Γενικά	95
Β. Θερμοκρασία	95
Γ. Άνεμος	95
Δ. Βροχόπτωση	95
12. Καρστική Διάβρωση	97
13. Η κατείδυση σε καρστικές περιοχές	106
14. Υδρογεωλογικά Στοιχεία	108
Α. Υδρολιθολογία	108
Β. Διαμόρφωση υδρογεωλογικών ενοτήτων	108
Β.1. Υδροφορέας προσχωματικών αποθέσεων	110
Β.2. Υδροφορέας Νεογενών	110
Β.3. Καρστικοί υδροφόροι	110
15. Ποιότητα υπόγειου νερού (ΓΕΩΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ)	113
Α. Γενικά	113
Β. Κριτήρια ποιότητας	113

Γ. Πηγές αλατότητας	114
Δ. Καθορισμός ποιοτικών χαρακτηριστικών	116
Δ.1. Οι χημικές αναλύσεις	116
Δ.2. Σκληρότητα	118
Δ.3. Σύνολο διαλυμένων στερεών (TDS)	122
Δ.4. Γραφικές παραστάσεις χημικών αναλύσεων	123
Ε. Ερμηνεία των χημικών αναλύσεων – Γεωχημική ταξινόμηση των νερών	139
Ε.1. Αναγνώριση της γεωχημικής διεργασίας	139
Ε.2. Ταξινόμηση με βάση τις ιοντικές σχέσεις	141
ΣΤ. Οι γεωχημικοί χαρακτήρες υπόγειων νερών	145
ΣΤ.1. Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ιζηματογενή πετρώματα	145
ΣΤ.2. Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα κρυσταλλικά πετρώματα	146
ΣΤ.3. Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ανθρακικά πετρώματα.....	146
Ζ. Φυσικές αναλύσεις	150
Ζ.1. Η σημασία των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού για τον άνθρωπο και την δημόσια υγεία	150
Η. Βιολογικές αναλύσεις	155
Θ. Η καταλληλότητα του νερού για τις διάφορες χρήσεις	155
Θ.1. Σταθερότυπα χρήσεων	155

Θ.1.1. Σταθερότυπα πόσιμου νερού	155
Θ.2. Διάβρωση & απόθεση αλάτων από το νερό	156
Θ.2.1. Δείκτης κορεσμού ή Langelier	156
Θ.2.2. Δείκτης σταθερότητας ή Ryznar	157
Θ.2.3. Σταθερότυπα αρδευτικού νερού	159
I. Μεταβολές στην χημική σύνθεση του νερού	166
I.1. Θερμοκρασία	166
16. Επίδραση της λειτουργίας ή αδρανοποίησης των QANAT στην μορφολογία και υδρογραφία της περιοχής μελέτης	168
17. Τα QANAT ως μάρτυρας προσδιορισμού της ταχύτητας & των παραγόντων της κατά βάθους διάβρωσης των εδαφών στην περιοχή μελέτης	171
18. Τα QANAT ως παράγοντας κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης και η έμμεση επίδραση τους στην εξέλιξη των φυσικογεωγραφικών φαινομένων.....	174
19. Επίδραση των QANAT στην ανάπτυξη της γεωργίας– κτηνοτροφίας.....	174
20. Επίδραση των QANAT στην ανάπτυξη του οδικού & σιδηροδρομικού δικτύου.....	179
21. Τα QANAT ως παράγοντας προσδιορισμού της μορφολογίας των οικισμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης	181
22. Γεωγραφική εξάπλωση των QANAT στον παλιό και νέο κόσμο.....	186
23. Περίληψη – Συμπεράσματα	188
24. Βιβλιογραφία	214
25. Παράρτημα	217

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος Διπλωματική Εργασία του Ή Εξαμήνου του τμήματος Γεωλογίας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του τομέα Φυσικής & Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, κ. Ελευθέριο Βαβλιάκη, για την παραχώρηση του θέματος αρχικά, αλλά και για την πολύτιμη βοήθεια του καθώς και την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω γονείς, συγγενείς και φίλους που στήριξαν οικονομικά και ηθικά την προσπάθειά μου αυτή.

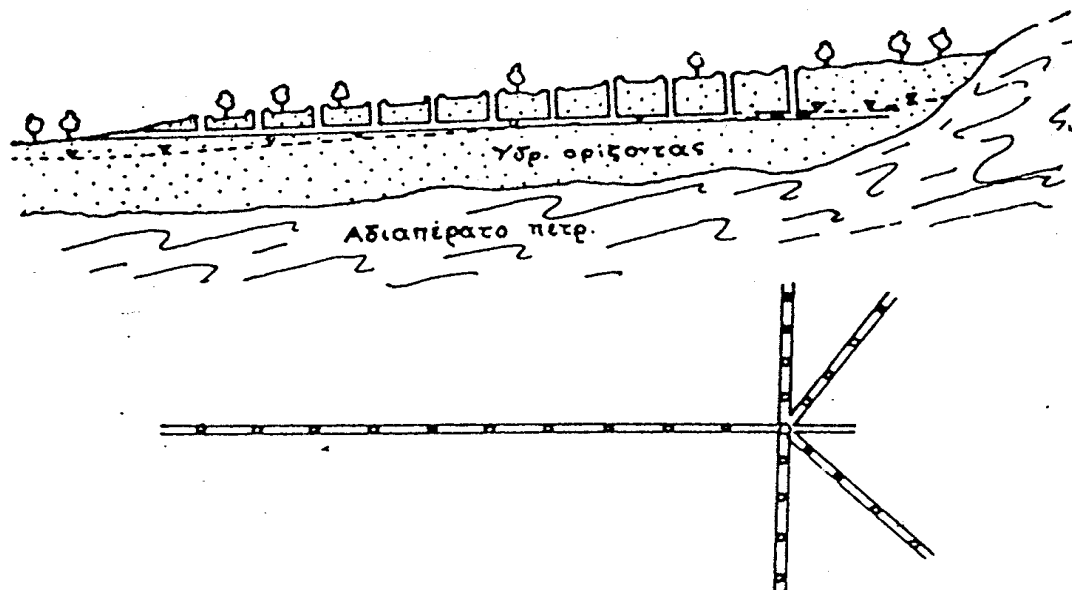
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως μας πληροφορούν οι ιστορικοί, οι αρχαιολόγοι και οι γεωγράφοι, οι αρχαίοι λαοί της Γης στον αγώνα τους κατά της ξηρασίας χρησιμοποίησαν κατά καιρούς διάφορες μεθόδους ύδρευσης και άρδευσης που δεν άντεξαν όμως όλες στην εξέλιξη και στο χρόνο. Μια από τις ελάχιστες εξαιρέσεις αποτελεί η μέθοδος των Qanat, που παρά την ηλικία των **2600 ετών** χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα σε πολλές χώρες του Παλαιού και Νέου Κόσμου.

Με τον όρο **Qanat** ή **Kariz**, σύμφωνα με τον Bobek (1962), εννοούμε ένα σύστημα υπόγειων αγωγών (τούννελ), με την βοήθεια των οποίων υδρομαστεύεται ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, όπου το νερό με την αξιοποίηση της φυσικής κλίσης εξέρχεται στην επιφάνεια.

Qanat (κανάτ) είναι ο αραβικός όρος και Kariz (καρίζ) ο ιρανικός χαρακτηρισμός του συστήματος. Σύμφωνα με τον Troll (1963), η λέξη Qanat πρέπει να προέρχεται από την αρχαιοσημιτική λέξη gano και αυτή από την αρχαιοελληνική κάννα, και τη λατινική canna. Ακόμα στην λέξη gano ανάγονται και οι λέξεις Kannal, Kendel ή Kandel, channel κ.λπ.

Ενδεικτικά εδώ μόνο θα αναφέρουμε ότι πρόκειται για σύστημα σήραγγων που συνδέουν συγκεκριμένους πυθμένες πηγαδιών. Η Τεχεράνη ακόμα και σήμερα υδρεύεται με 36 σήραγγες κανάτ, που το μήκος της καθεμιάς κυμαίνεται από 13 έως 26 χλμ. Με βάθος που φθάνει τα 150μ. Ο αριθμός των πηγαδιών ανέρχεται σε 40 ανά χλμ. (βλ. Σχ.1).



Σχ.1. Σύστημα Qanat αποστράγγισης και υδρομάστευσης ξηρών κλιματικών περιοχών (Γ. Δημόπουλος, 1995).

Ανάλογης τεχνοτροπίας σπουδαία κατασκευή θεωρείται, για τον ελληνικό χώρο το *Αδριάνειο υδραγωγείο*, που χρησιμοποιήθηκε επί 2000 χρόνια για την ύδρευση της Αθήνας.

Την τέχνη της ανόρυξης πηγαδιών γνώριζαν οι Μυκηναίοι και οι Αθηναίοι ήδη από τον έκτο αιώνα π.Χ., ενώ αξιοθαύμαστα υδραγωγεία κατασκευάστηκαν στα Μέγαρα. Επίσης από τον Ευπαλίνο (625 π.Χ.) στη Σάμο και μεταγενέστερα στην Αθήνα.

Κανένα από τα συστήματα ύδρευσης-άρδευσης των αρχαίων Ελλήνων, Ρωμαίων ή Βυζαντινών, που περιγράφονται ή αναφέρονται από ιστορικούς ή αρχαιολόγους στο χώρο της Ελλάδος, δεν χαρακτηρίζεται και δεν περιγράφεται ως Qanat. Ίσως επειδή ο προσδιορισμός ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί επιπλέον φυσικογεωγραφικές και υδρογεωλογικές γνώσεις.

Επειδή στην περιοχή έρευνας όχι μόνον υπάρχουν συστήματα Qanat, αλλά λειτουργούν και τροφοδοτούν με νερό από τον χρόνο κατασκευής τους μέχρι σήμερα όλους σχεδόν τους οικισμούς, λόγοι επιστημονικοί, πρακτικοί και δημόσιας υγείας επέβαλαν την πολύπλευρη εξέτασή τους (βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 3).

2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η επαρχία Φυλλίδας, που καταλαμβάνει το ΝΑ τμήμα του Ν.Σερρών, είχε κατοικηθεί ήδη από την προϊστορική περίοδο. Από τον Γραμμένο (1980) εντοπίστηκαν στην περιοχή περισσότεροι από 10 οικισμοί της νεολιθικής και της εποχής του χαλκού.

Σύμφωνα με τον Δίμιτσα (1877) το τμήμα μεταξύ της λίμνης Κερκινίτιδας (Αχινού), του όρους Παγγαίου και του ποταμού Αγγίτη παραχωρήθηκε ως προίκια από τον βασιλιά των Θρακών στην θυγατέρα του Φυλλίδα, όταν παντρεύτηκε τον Δημόφωνα, γιο του Θησέα. Από την Φυλλίδα πήρε και το όνομά της η ευρύτερη εξαταζόμενη περιοχή. Από τον Δίμιτσα επίσης αναφέρονται αρχαίες ελληνικές πόλεις στην επαρχία Φυλλίδας, από τις οποίες οι σπουδαιότερες ήταν η Αμφίπολη, ο Δραβίσκος και ο Μύρκινος. Η Αμφίπολη ήταν ακμάζουσα πόλη και κατά την βυζαντινή περίοδο.

Σύμφωνα με τον Μουτσόπουλο (1986) από το 1204 μ.Χ. γίνεται ιστορικά γνωστό και το βυζαντινό κάστρο της **Παλαιάς Ζίχνης** 6 χλμ. ΒΔ από την Ν.Ζίχνη, την σημερινή πρωτεύουσα της επαρχίας Φυλλίδας.

Την περίοδο 1372-75 περίπου καταλαμβάνεται η περιοχή από τους Τούρκους και παραμένει στην κατοχή τους μέχρι το 1912-13.

Τόσο οι προϊστορικοί οικισμοί όσο και οι αρχαίες ελληνικές πόλεις είχαν κτιστεί πάνω σε λόφους, που κατά κανόνα βρίσκονταν κοντά στους ποταμούς Στρυμώνα και Αγγίτη, στην λίμνη Κερκινίτιδα ή σε παραποτάμους των δύο παραπάνω ποταμών.

Αντίθετα πολλοί σύγχρονοι οικισμοί της επαρχίας έχουν κτιστεί στους πυθμένες και στις κλιτύες ξηρών κοιλάδων. Αυτή η μορφολογική αντίθεση μεταξύ των προϊστορικών-ιστορικών και πολλών σύγχρονων οικισμών δεν εκφράζει μόνο τις διαφορετικές πολιτικο-τεχνικοοικονομικές προϋποθέσεις των ιδρυτών τους, αλλά όπως θα αποδειχθεί στην συνέχεια τα κριτήρια επιλογής των θέσεων πολλών σύγχρονων οικισμών καθορίστηκαν και σε σχέση με την αρχή λειτουργίας των Qanat (βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 2).

3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

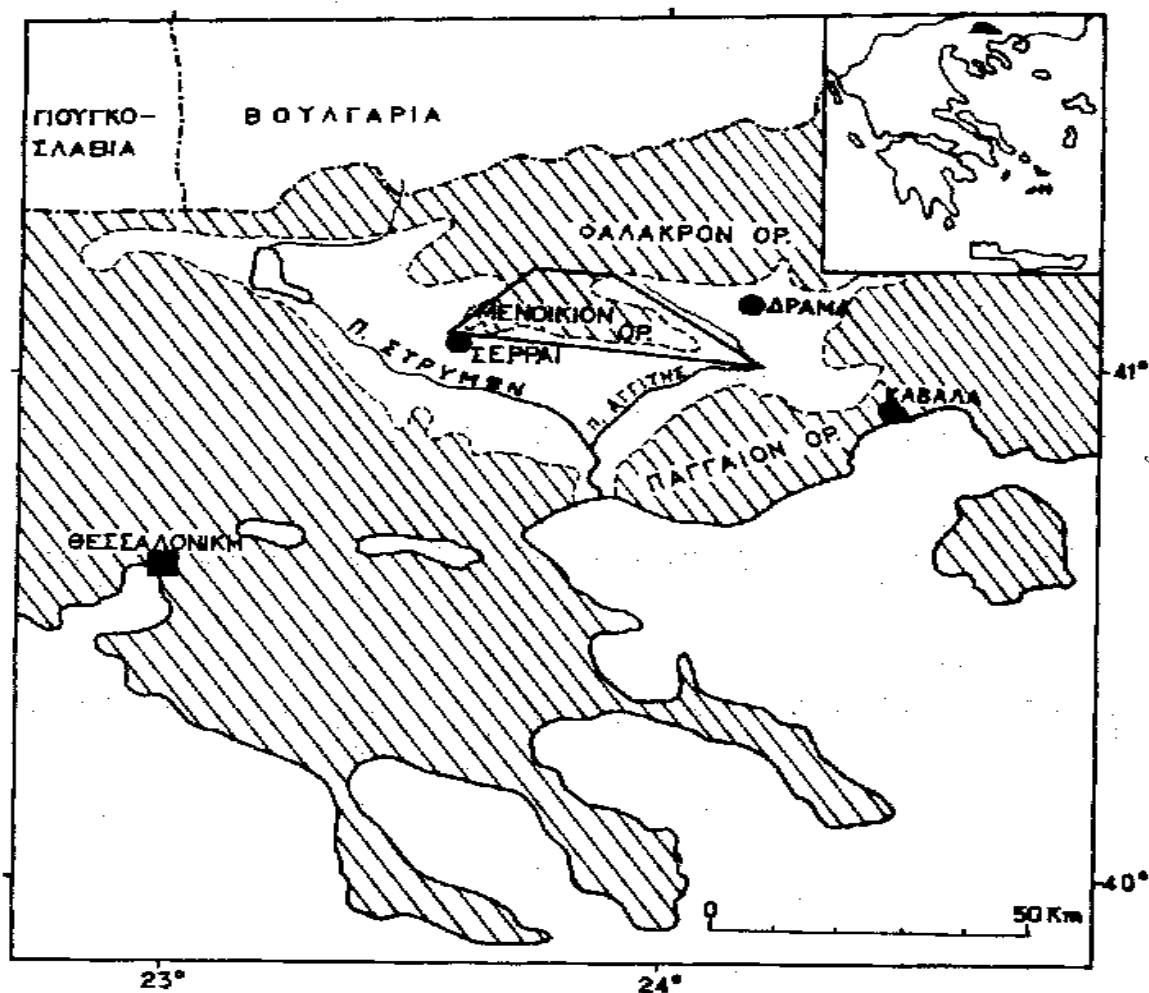
Συγκεκριμένα η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στο όρος **Μενοίκιο** και ειδικά στα Ν και ΝΑ τμήματα αυτού, στην περιοχή του οικισμού της **Παλαιάς Λευκοθέας**, όπου διατηρείται μέχρι και σήμερα συγκεκριμένο σύστημα κανάτ. Παρακάτω θα αναφερθούμε στα γενικότερα γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής μελέτης στην οποία αναφέρεται και η παρούσα εργασία άλλωστε.

Το όρος Μενοίκιο βρίσκεται στην Α. Μακεδονία ΒΑ της πόλης των Σερρών. Η παλιά σλαβική ονομασία ήταν Smijnica Plan και η τούρκικη Boz Dag. Στις ονομασίες αυτές συμπεριλαμβάνονταν και το όρος Φαλακρό. Η τούρκικη ονομασία διατηρήθηκε, δυστυχώς, από ορισμένους Γερμανούς ερευνητές στην γεωλογική βιβλιογραφία, μέχρι το 1970 (βλ. ΧΑΡΤΗ Ι.Γ.Μ.Ε.).

Το Μενοίκιο παρεμβάλλεται μεταξύ των λεκανών Σερρών (νότια) και Δράμας (ανατολικά) και Βροντού (βόρεια). Προς τα ΒΔ έρχεται σε επαφή με τα όρη της Βροντούς.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες που καθορίζουν τα όρια του Μενοικίου (βλ. Σχ. 2), είναι οι ακόλουθες :

Γ.Μ.	Γ.Π.
1. 23° 40' 21"	41° 12' 48"
2. 23° 49' 17"	41° 15' 00"
3. 23° 34' 10"	41° 06' 00"
4. 24° 00' 00"	41° 01' 21"



Σχ. 2. Η θέση της περιοχής έρευνας στον ευρύτερο χώρο της Μακεδονίας (Ε. Βαβλιάκης, 1981).

Προσανατολίζεται με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Τα ψηλότερα σημεία του εντοπίζονται, στο δυτικό τμήμα, στις τοποθεσίες 'Μαντήλι' (1903 μ.), 'Θαμνοτόπι' (1952 μ.) και

‘Μαυρομάτα’ (1963 μ.), στο κεντρικό τμήμα στις τοποθεσίες ‘Κορυφή Καλλιπόλεως’ (1203 μ.), ‘Πολύκορφον’ (1258 μ.) και ‘Φλόγα’ (1312 μ.) και στο ανατολικό τμήμα υπάρχει μια μόνο σημαντική κορυφή, δυτικά του χωριού Καλλιθέα (1452 μ.).

Χαρακτηριστικό μορφολογικό γνώρισμα για τα ψηλότερα σημεία του Μενοικίου και όχι μόνο, είναι ότι δεν αποτελούν μεμονωμένες κορυφές, όπως συνήθως συμβαίνει σε άλλα όρη, αλλά σχεδόν επίπεδες επιφάνειες με ασήμαντες υψομετρικές διαφορές.

4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Α. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΡΟΔΟΠΗΣ

Η ερευνούμενη περιοχή ανήκει στην **Δυτική Ροδοπική Μάζα**, η οποία προς Β οριοθετείται από το ρήγμα Μαρίτσα στην κεντρική Βουλγαρία, ενώ προς Ν ο κατακερματισμός του Αιγαίου εμποδίζει τον ακριβή προσδιορισμό της. Προς ανατολάς διαχωρίζεται από την κεντρική Ροδοπική μάζα με την τεκτονική γραμμή του Νέστου και δυτικά από την Σερβομακεδονική ζώνη με την γνωστή τεκτονική γραμμή του Στρυμόνα, η οποία για πολλούς συγγραφείς θεωρείται ως γραμμή επίπλευσης πάνω στη Ροδόπη. Σύμφωνα με τον Καρυστιναίο (1984), με τα τεκτονικά στοιχεία που παραθέτει, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η τεκτονική επαφή των δύο μαζών είναι **μια ζώνη ρηγμάτων οριζόντιας συστροφικής μετατόπισης.**

Η μάζα της Ροδόπης βρίσκεται μεταξύ του Διναρικού και του Αλπικού κλάδου και θεωρείται κατά άλλους μεν ένας μεσαίος κλάδος, ενώ κατά ορισμένους δε ένας ενδιάμεσος πυρήνας. Εκείνο στο οποίο όμως συμφωνούν οι περισσότεροι ερευνητές, είναι ότι η Ροδόπη δεν είναι μια γεωτεκτονική μονάδα της κλίμακας της ζώνης, αλλά οπωσδήποτε μεγαλύτερης, πιθανόν ανάλογης του κλάδου (**Μουντράκης Δ., 1985**).

Ο γεωτεκτονικός χαρακτήρας της Ροδοπικής μάζας, σύμφωνα με τα πιο νέα μοντέλα λιθοσφαιρικών πλακών για την εξέλιξη της Μεσογείου, είναι καθαρά ηπειρωτικός και θεωρείται ότι η προέλευση της μάζας είναι από την πλάκα της Λαυρασίας.

Α.1. ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Η δυσκολία για την ολοκληρωμένη μελέτη της μάζας της Ροδόπης και την οριστική γεωλογική τοποθέτησή της οφείλεται στην έλλειψη σαφούς στρωματογραφίας και γενικότερα ιζηματογενών πετρωμάτων. Πράγματι η όλη μάζα κυριαρχείται από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα. Έτσι οι περισσότερες έρευνες περιστράφηκαν κυρίως γύρω από την λιθολογική εξέλιξη του κρυσταλλοσχιστώδους, το πάχος του οποίου υπολογίζεται κατά άλλους σε 10 Km και κατά άλλους σε 20 Km.

Η γεωλογική χαρτογράφηση (**Ι. Χατζηπαναγής 1991**), η λιθολογική και τεκτονική ανάλυση, καθώς επίσης και η μελέτη της μεταμόρφωσης έδειξαν ότι η ευρύτερη περιοχή της Δ. Ροδόπης αποτελείται από τρεις μεγάλες λιθολογικές ενότητες μεταμορφωμένων πετρωμάτων, οι οποίες από τα παλιότερα προς τα νεότερα είναι :

- **Ενότητα των γνευσίων του υποβάθρου (με πάχος > 2000 μ.) που συνίσταται από:**

- I. Λευκοκρατικούς μοσχοβιτικούς γνευσίους
- II. Σκουρόχρωμους βιοτιτικούς γνευσίους

III. Οφθαλμογενεύσιους

IV. Μιγματίτες

➤ **Ενότητα λιθολογικών εναλλαγών (πάχους 300-600 μ.) που αποτελείται από τις παρακάτω σειρές:**

I. Σειρά εναλλαγών γνευσίων-σχιστολίθων-μαρμάρων

II. Σειρά εναλλαγών γνευσίων-σχιστολίθων-μαρμάρων με παρεμβολές κατά θέσεις αμφιβολιτών

III. Σειρά εναλλαγών σχιστολίθων-γνευσίων-αμφιβολιτών-μαρμάρων με παρεμβολές κατά θέσεις σερπεντινιτών και εκλογιτών.

➤ **Ενότητα μαρμάρων (πάχους 1500 μ. περίπου) που αποτελείται από:**

I. Τανιωτά –σιπολινικά μάρμαρα

II. Δολομιτικά μάρμαρα

III. Ασβεστιτικά μάρμαρα

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής διαπερνώνται από πλήθος πλουτώνιων σωμάτων γρανιτικής-γρανодиוריτικής σύστασης και υποηφαιστειακών φλεβών ανδεσιτικής – ρυοδακτιτικής σύστασης.

Τα παραπάνω εκρηξιγενή πετρώματα που απαντώνται στην περιοχή, από τα παλαιότερα προς τα νεότερα είναι τα εξής:

- ❖ Περιδοτίτες του Παλαιοζωϊκού
- ❖ Γρανίτες του Κρητιδικού και του Ηωκαίνου
- ❖ Ρυόλιθοι του Πλειο-Πλειστοκαίνου

Οι περιδοτίτες συναντώνται σε μικρές εμφανίσεις στο δυτικό τμήμα της πεδιάδας των Σερρών.

Αντίθετα, οι γρανίτες παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ανάπτυξη. Εμφανίσεις γρανιτών συναντώνται στον ορεινό όγκο της Βροντούς (Λαϊλιάς), στο Παγγαίο και στο Παρανέστι, ενώ στις περιοχές του Στρυμονικού και Αγκίστρου απαντώνται όζινες ρυολιθικές εκχύσεις, σε μικρή όμως επιφανειακή ανάπτυξη.

Όσον αφορά τους προσχωσιγενείς σχηματισμούς, αυτοί είναι σχηματισμοί του **Τριτογενούς και του Τεταρτογενούς** που γέμισαν τις λεκάνες. Η απόθεσή τους άρχισε μετά το τέλος της (τελικής) αλπικής φάσης πτυχώσεως. Το πάχος τους ποικίλλει διότι ο πυθμένας των λεκανών είχε κιόλας πτυχωθεί πριν την απόθεσή τους και υπέστησαν την τεκτονική του Τριτογενούς και Τεταρτογενούς. Ειδικότερα έχουμε:

- ♦ Νεογενείς Σχηματισμοί : Πρόκειται για αποθέσεις λιμναίες, χερσαίες και υφάλμυρες που έχουν αποτεθεί πάνω στα μεταμορφωμένα πετρώματα του Παλαιοζωϊκού των ζωνών Ροδόπης και Σερβομακεδονικής. Τα ιζήματα αυτά αποτελούνται από ψαμμίτες, μάργες και λατυποκροκαλοπαγή και παρουσιάζουν το μέγιστο πάχος τους στο κέντρο των πεδιάδων. Έτσι στην πεδιάδα των Σερρών, συνολικά μαζί με τους υπερκείμενους τεταρτογενείς σχηματισμούς, το συνολικό πάχος τους είναι πολύ πιθανόν να ξεπερνά ακόμη και τα 3000μ.

- ♦ Τεταρτογενείς Σχηματισμοί :Πρόκειται για αλλουβιακές αποθέσεις των πεδιάδων Σερρών, Δράμας και Νευροκοπίου καθώς και για διλουβιακές αποθέσεις που απαντούν στα κράσπεδα των πεδιάδων υπό μορφή συμπαγών ή ασύνδετων λατυποκροκαλοπαγών (βλ. **Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 1**).

- I. Οι αλλουβιακές αποθέσεις είναι χαλαροί, ημιχαλαροί σχηματισμοί που αποτελούνται από κλαστικό υλικό (χαλίκια, λατύπες, ψηφίδες) αναμιγμένα με λεπτομερέστερο υλικό όπως δηλαδή άμμο, άργιλο, πηλούς. Το πάχος τους ποικίλλει, αλλά γενικά αυξάνει από την περιφέρεια προς το κέντρο.
- II. Στην σύσταση των Διλουβιακών αποθέσεων υπερτερούν τα αδρομερή κυρίως υλικά, που είναι ως επί το πλείστον κροκάλες μαρμάρων, σχιστολίθων, γνευσίων και γρανιτών. Τα στοιχεία αυτά προήλθαν από την διάβρωση όμοιας φύσεως πετρωμάτων, που καταλαμβάνουν τις ορεινές και λοφώδεις περιοχές στην περιφέρεια των λεκανών. Κατά θέσεις τα υλικά αυτά έχουν συγκολληθεί με ένα **άργιλο-μάρμαρο-γνευσιακό υλικό** και έχουν δώσει τα λατυποκροκαλοπαγή.

A.2. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ & ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Παρόλο ότι η μάζα της Ροδόπης συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, από ορισμένους ερευνητές, είχε από παλιά εκφραστεί η υπόνοια για αλπικές επιδράσεις επί των σχηματισμών της.

Οι υπόνοιες αυτές επαναλήφθηκαν με τις νεώτερες έρευνες του **P. Kronberg** και των συνεργατών του (1969-71) που έγιναν στη περιοχή μεταξύ Νέστου και Στρυμόνα.

Σύμφωνα με αυτές σε όλη την περιοχή μεταξύ Νέστου-Στρυμόνα, τα πετρώματα μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες της υπόφασης χαλαζίου-αλβίτου-επιδότου-βιοτίτου της πρασινοσχιστολιθικής φάσης, εκτός από την βορειότερη περιοχή, όπου η μεταμόρφωση έγινε σε συνθήκες της υπόφασης χαλαζίου-αλβίτου-επιδότου-αλμανδίνου.

Όσον αφορά τους μεγάλους πλουτωνικούς όγκους της Ροδόπης, διακρίνονται σε σχέση με την κύρια πτύχωση της περιοχής σε συνκινητικούς (πλουτωνίτες Παγγαίου, Ελαιώνος, Συμβόλου), βραδυκινητικούς (Πανοράματος, Ποταμών και Γρανίτου) και μετακινητικούς (Ξάνθης).

Πτύχωση, μεταμόρφωση και πλουτωνισμός στην περιοχή της Ροδόπης είναι, κατά τον Kronberg και τους συνεργάτες του, αλπικής ηλικίας και ειδικότερα τοποθετείται μεταξύ **Κάτω Κρητιδικού και Ολιγοκαίνου**.

Πιο πρόσφατες έρευνες (I. Χατζηπαναγής 1991), έχουν δείξει τα εξής:

- Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της ευρύτερης περιοχής μελέτης αναπτύχθηκαν μέσα στην ιζηματογενή λεκάνη της Δυτικής Ροδόπης, πιθανότατα κατά τον Μεσοζωϊκό.
- Το υπόβαθρο πάνω στο οποίο δημιουργήθηκε η **‘ροδοπική λεκάνη’** αποτελούνταν από μαγματικά και πιθανώς παλαιότερα μεταμορφωμένα πετρώματα (ενότητα γνευσίων). Το γνευσιακό αυτό υπόβαθρο αποτελεί, πιθανώς, μέρος της αραβο-αφρικανικής ηπείρου που είχε αποσπαστεί και βυθιστεί κατά το Ανώτερο Παλαιοζωϊκό.

➤ Τα πρώτα ιζήματα που ‘φιλοξενήθηκαν’ στην λεκάνη της Δυτικής Ροδόπης αντιπροσωπεύονται σήμερα από τις σειρές I, II & III των **εναλλαγών σχιστολίθων-γνευσίων-μαρμάρων-αμφιβολιτών**. Οι σειρές αυτές αποτελούν πλευρικές διαφοροποιήσεις μιας ενιαίας γεωλογικής ενότητας (ενότητα λιθολογικών αλλαγών). Το αρχικό πάχος των ιζημάτων αυτών θα έπρεπε να κυμαίνεται μεταξύ 300-600 μ.

➤ Ο ιζηματογενής κύκλος της ‘ροδοπικής λεκάνης’ ολοκληρώνεται με τα τυπικά χημικά ιζήματα ανθρακικής πλατφόρμας που σήμερα αντιπροσωπεύονται από τα ταινιωτά-σιπολινικά μάρμαρα, τα δολομιτικά και ασβεστιτικά μάρμαρα της σειράς Φαλακρού (ενότητα μαρμάρων). Το μέγιστο πάχος των μαρμάρων αυτών δεν θα έπρεπε να ξεπερνά τα 1500 μ.

➤ Κατά το τέλος του Κρητιδικού, περίπου δηλαδή πριν από 100 Myrs, αρχίζει το κλείσιμο της λεκάνης λόγω πλευρικών κινήσεων του φλοιού και ταυτόχρονη βύθισή της (subduction).

➤ Τα πετρώματα της περιοχής μας μεταμορφώνονται κάτω από μεταμορφικές συνθήκες **HP/LT (μεταμόρφωση εκλογιτικής φάσης)**. Με τα τελευταία στάδια της παραπάνω φάσης συνδέεται πιθανώς η παλαιότερη πλαστική παραμόρφωση των πετρωμάτων της περιοχής που αποτελείται από υπολειμματικές B1 ισοκλινείς πτυχές.

➤ Την εκλογιτικού τύπου μεταμόρφωση διαδέχεται η Barroonian μεταμόρφωση (εδώ επικρατούν ακόμα πιο μεγάλες πιέσεις), με παράλληλη πλαστική παραμόρφωση των πετρωμάτων που αντιπροσωπεύεται από B2 ισοκλινείς κωνικές πτυχές κάμψης και ολίσθησης. Οι πτυχές αυτές είναι κεκλιμένες έως κατακείμενες, με άξονες που έχουν γενική διεύθυνση 50° και βυθίζονται στο μεν BBA τμήμα της περιοχής προς τα ΒΑ, ενώ στο δε NNΔ τμήμα προς τα ΝΔ. Η σταδιακή ανόρθωση των πετρωμάτων συνοδεύεται από τοπικές αναστροφές των λιθολογικών σειρών και την ταυτόχρονη επώθηση υψηλότερα μεταμορφωμένων πετρωμάτων σε πετρώματα χαμηλότερου βαθμού μεταμόρφωσης, δημιουργώντας έτσι στον ευρύτερο χώρο της Δυτικής Ροδόπης δύο τεκτονικές ενότητες:

- A. Την κατώτερη τεκτονική ενότητα που καταλαμβάνει το νότιο και δυτικό τμήμα της Δ. Ροδόπης και τα πετρώματά της χαρακτηρίζονται από **μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης**.
- B. Την ανώτερη τεκτονική ενότητα που καταλαμβάνει το βόρειο και ανατολικό τμήμα της Δ. Ροδόπης και τα πετρώματά της χαρακτηρίζονται από **μεταμόρφωση μέσης έως ανώτερης αμφιβολιτικής φάσης**.

Η παραμόρφωση στην κατώτερη τεκτονική ενότητα σταματάει ταυτόχρονα με το τέλος της μεταμόρφωσης, ενώ στην ανώτερη τεκτονική ενότητα συνεχίζει και μετά το τέλος της Barroonian μεταμόρφωσης κάτω από ημιπλαστικές συνθήκες δημιουργώντας αλληπάλληλες ζώνες με ανάστροφα P1 ρήγματα επιπλευτικού τύπου και S-C τύπου μυλωνίτες.

➤ Η τεκτομεταμορφική εξέλιξη του ροδοπικού ορογενετικού συστήματος συνοδεύεται από όξινο συνορογενετικό μαγματισμό ασβεσταλκαλικού τύπου που αντιπροσωπεύεται από τον Άνω Κρητιδικό-Ηώκαινικό γρανίτη της Σκαλωτής.

➤ Κατά το Ολιγόκαινο ακολουθεί εφελκυσμός με ταυτόχρονη ανύψωση του Ροδοπικού ορογενετικού συστήματος που συνοδεύεται από πτύχωση με ανοιχτές Β3 πτυχές κάμψης και ολίσθησης των οποίων οι άξονες έχουν γενική διεύθυνση 120° και ανάδρομη μεταμόρφωση των πετρωμάτων των δύο τεκτονικών ενοτήτων, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται ο δεύτερος μαγματικός κύκλος που αντιπροσωπεύεται από τους συν- έως μετατεκτονικούς γρανοδιορίτες της Βροντούς, Πανοράματος και Γρανίτη.

➤ Ακολουθεί αποσάθρωση των πετρωμάτων και γενική πανεπιπέδωση του χώρου της Δ. Ροδόπης, έτσι ώστε κατά το Κατώτερο Μειόκαινο η ευρύτερη περιοχή να αποτελεί μια ενιαία χερσαία ζώνη με χαμηλό ανάγλυφο (200-300μ.).

➤ Κατά το Μέσο-Ανώτερο Μειόκαινο η Σερβομακεδονική μάζα κινείται προς τα ΒΑ και επωθείται και στις δύο τεκτονικές ενότητες της Δ. Ροδόπης. Το μέτωπο της επώθησης αυτής φθάνει μέχρι την νοτιή γραμμή Πανοράματος-Αλιστράτης-Στενών Αγγίτη-Θάσου. Η άποψη αυτή ενισχύεται από τα εξής στοιχεία :

- 1) Υπολείμματα της Σερβομακεδονικής βρέθηκαν κοντά στο δυτικό όριο της ταφρολεκάνης της Δράμας. Τα υπολείμματα αυτά είναι έντονα μυλωνιτωμένα και παρουσιάζουν γωνιακή ασυμφωνία με τα υποκείμενα πετρώματα της Δ. Ροδόπης.
- 2) Τα πρώτα μολασσικά ιζήματα (λατυποκροκαλοπαγή του Α. Μειοκαίνου) στην ταφρολεκάνη Σερρών και στο ΝΔ τμήμα της ταφρολεκάνης της Δράμας, προέρχονται από πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας, ενώ τα κροκαλοπαγή του Κ. Πλειστοκαίνου προέρχονται από πετρώματα της Δ. Ροδόπης.

➤ Κατά το Ανώτερο Μειόκαινο- Κατώτερο Πλειόκαινο ακολουθεί γενική διάρρηξη με Ρ2 ρήγματα εφελκυστικού τύπου που έχουν διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ. Οι κινήσεις αυτές είναι κατακόρυφες και δημιουργούν τεκτονικά κέρατα (Φαλακρό, Παγγαίο, Μενοίκιο) και τεκτονικές τάφρους (λεκάνες Σερρών, Δράμας, Καβάλας-Πρίνου).

➤ Κατά το Α. Πλειόκαινο-Μ. Πλειστόκαινο η ιζηματογένεση στις ταφρολεκάνες συνεχίζει με χερσαίες και λιμναίες αποθέσεις, ενώ από το τέλος του Μ. Πλειστοκαίνου μέχρι σήμερα τα νεώτερα ιζήματα αντιπροσωπεύονται από ποτάμιες αποθέσεις και πλευρικά κορήμματα.

Β. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΝΟΙΚΙΟΥ

Στην περιοχή έρευνας, ο De Boer διακρίνει μια κατώτερη και μια ανώτερη σειρά.

Η κατώτερη σειρά αποτελείται από άσπρα μέχρι ανοιχτού γκριζου χρώματος πολύ κατακερματισμένα μάρμαρα. Σε αυτά έχουν παρεμβληθεί λεπτοπλακώδη μάρμαρα υπό μορφή φακών.

Η σειρά αυτή στο δυτικό Μενοίκιο έχει την μεγαλύτερη έκταση και το μεγαλύτερο πάχος. Αντιστοιχεί με την σειρά των μαρμάρων του Osswald και την σειρά μαρμάρων των Meyer και Pilger (1963) του Φαλακρού όρους. Αν και στην περιοχή του Μενοικίου δεν υπάρχει η επαφή της σειράς αυτής με την υποκείμενη των σχιστολίθων, γίνεται αποδεκτό ότι έχει ένα πάχος 3000 μ. Η ίδια σειρά επανεμφανίζεται μεταξύ των χωριών Χαριτωμένης και Εμμανουήλ Παππά και θεωρεί ότι σε αυτή ανήκουν επίσης και τα μάρμαρα που βρίσκονται νότια της Χαριτωμένης και βόρεια της Αγριανής.

Στα ανώτερα 1000 μ. της σειράς αυτής, εμφανίζονται παρεμβολές πυριτικών πετρωμάτων. Τις παρεμβολές αυτές τις παραλληλίζει με την εναλλαγή μαρμάρων-σχιστογενεσίων του Jordan (1964) του Φαλακρού όρους.

Μεταξύ της ανώτερης και κατώτερης σειράς παρεμβάλλεται ένας ορίζοντας μαρμαρυγιακού σχιστολίθου. Η κυριότερη εμφάνισή του εντοπίζεται μεταξύ Μικροπόλεως-Αγίου Πνεύματος και καταλαμβάνει την ΝΑ πλευρά του μεγαλύτερου για το Μενοίκιο συγκλίνου. Πάνω από αυτόν τον ορίζοντα αρχίζει η ανώτερη σειρά με μια ζώνη από εναλλαγές μαρμάρων-γενεσίων.

Στο δυτικό Μενοίκιο, η παραπάνω σειρά αποτελείται από μάρμαρα και γενεσίους και σχηματίζει μια ζώνη με εναλλαγές πάχους 300 μ. Η αναλογία μαρμάρων-γενεσίων είναι 3:1.

Στο κεντρικό Μενοίκιο, αποτελείται από γκριζου έως σκούρου γκριζου χρώματος γενεσίους και χαρακτηρίζεται σαν σειρά των γενεσίων.

Τέλος, στο ανατολικό Μενοίκιο, η ανώτερη σειρά αποτελείται από λευκό μάρμαρο, κοκκώδες πάχους 300 μ. και αντιστοιχεί προς την ζώνη εναλλαγής της δυτικής πλευράς.

Η ηλικία των σειρών αυτών, ακόμη και σήμερα δεν είναι με ακρίβεια καλά γνωστή. Μέχρι τώρα τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ελληνικής Ροδόπης, θεωρούνταν από τον Osswald προκαμβρίου ηλικίας, αυτή η ηλικία κατά τον Boer, θα πρέπει να αποκλειστεί, μετά και την εύρεση απολιθωμάτων κοραλλίων από τον Meyer (1963) στην σειρά μαρμάρων του Φαλακρού όρους. Με βάση τα απολιθώματα αυτά και από συγκρίσεις με την Βουλγαρική Ροδόπη, οι Kockel and Walther (1965) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η σειρά αυτή έχει μια Άνω Ορδοβισιακή ηλικία και μια Καλληδόνιο ηλικία όσον αφορά την μεταμόρφωση.

Στην Ελληνική Δυτική Ροδοπική μάζα, όπου ανήκει και η περιοχή μελέτης μας, οι **Kronberg (1966, 1969) και Kronberg et al. (1970)** διακρίνουν τρεις σειρές που από κάτω προς τα πάνω είναι:

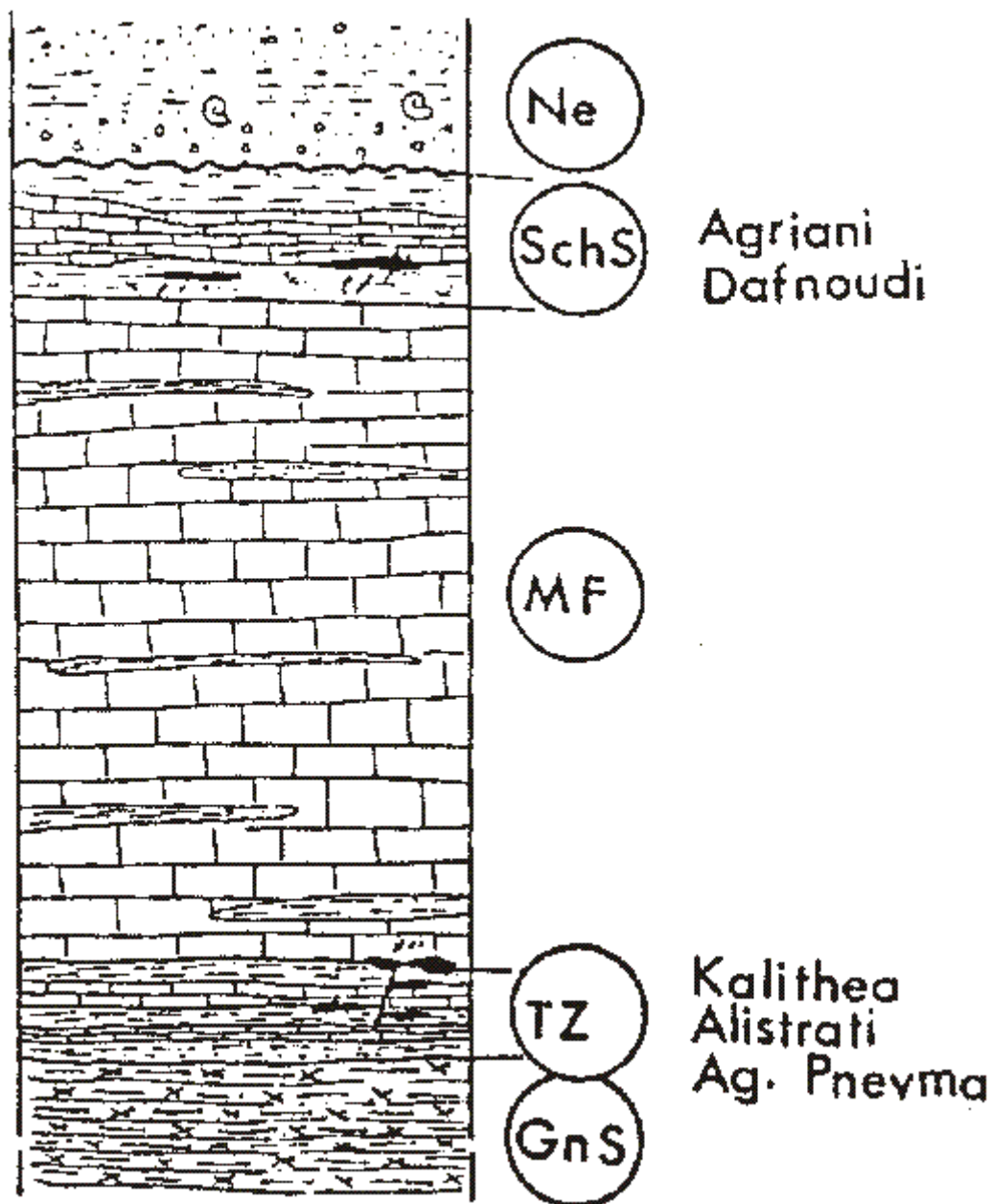
- ◆ Η κατώτερη σχιστογενευσιακή σειρά
- ◆ Τα μάρμαρα του Φαλακρού όρους (ή BOZ DAG) και
- ◆ Η ανώτερη σχιστογενευσιακή σειρά.

Σχετικά με την μεταμόρφωση αναφέρουν την παρουσία της χαλαζιακής-αλβιτικής-επιδοτικής-βιοτιτικής υπόφασης της πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

Σε αντίθεση με τους συγγραφείς αυτούς οι **Papanikolaou and Panagopoulos (1981)** και οι **Zachos and Demades (1983)** αποδέχονται δύο μόνο ενότητες, θεωρώντας ότι η κατώτερη και ανώτερη γενευσιακή σειρά είναι η ίδια, ενώ για την μεταμόρφωση υποστηρίζουν ότι αρχίζει με την άνω πρασινοσχιστολιθική φάση και φθάνει μέχρι την ανάπτυξη.

Μεταξύ της γνευσιακής ενότητας και των μαρμάρων του Φαλακρού όρους απαντώνται εναλλαγές σχιστολίθων και μαρμάρων που έχουν χαρακτηριστεί σαν «μεταβατική ζώνη», η οποία είναι ευνοϊκή για αναζήτηση χρήσιμων μετάλλων (Χατζηπαναγής 1989, Χατζηκύρκου κ.α. 1991, Κατιρτζόγλου και Γιαλόγλου 1991).

Το ορεινό συγκρότημα του Μενοικίου όρους καλύπτεται από μεταμορφωμένους σχηματισμούς και νεογενείς αποθέσεις. Τους πρώτους τους απαρτίζουν αυτοί της μεταβατικής ζώνης, πάνω στους οποίους επικάθονται σε συμφωνία τα μάρμαρα του Φαλακρού. Στην συνέχεια ακολουθεί η σειρά των σχιστολίθων-σχιστογνευσίων (βλ. Σχ. 3).



Σχ.3. Γενική στρωματογραφική στήλη για το όρος Μενοίκιο (από Κατιρτζόγλου & Γιαλόγλου 1991).

Οι σχηματισμοί της μεταβατικής ζώνης καταλαμβάνουν το ανώτερο τμήμα της σειράς των γνευσίων (κατώτερη σχιστογενεσιακή σειρά) οι οποίοι απουσιάζουν από την ερευνούμενη περιοχή. Οι σχηματισμοί της ζώνης αυτής αποτελούνται από μοςχοβιτικούς-ασβεστιτικούς σχιστολίθους σε εναλλαγές με σιπολίτες.

Τα μάρμαρα του Φαλακρού όρους είναι σπάνια δολομιτωμένα και ενίοτε φιλοξενούν είτε σε ενστρώσεις είτε σε φακούς διμαρμαρυγιακούς σχιστογενεσίους.

Η σειρά σχιστολίθων-σχιτογενεσίων που υπέρκειται των μαρμάρων του Φαλακρού (Τσόμπος κ.α. 1989) αποτελείται από μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους που πλευρικά μεταπίπτουν σε σχιστογενεσίους. Σε αυτούς παρεμβάλλονται ενστρώσεις μαρμάρων, όπως π.χ. στην περιοχή Αγριανής.

Η χημική σύσταση των παραπάνω πετρωμάτων παρουσιάζεται στον Πίν. 1. Σε αυτόν φαίνεται η διαφοροποίηση της χημικής σύστασης των μαρμάρων (σιπολίτες) και σχιστολίθων της «μεταβατικής ζώνης» με αυτή των αντίστοιχων πετρωμάτων της σειράς σχιστολίθων – σχιστογενεσίων.

%	Αλυστράτη			Αγριανή - Δοφνούδι	
	Σχηματισμοί «μεταβατικής ζώνης»		Μάρμαρα Φαλακρού όρους (n=9)	Σχηματισμοί της σειράς σχιτολίθων - σχιτογενεσίων	
	Σιπολίτες (n=8)	Σχιτολίθοι (n=11)		Σχιτολίθοι * (n=8)	Μάρμαρα ** (n=15)
SiO_2	13.76	43.29	5.23	51.64	0.86
TiO_2	0.08	0.37	0.01	0.87	0.01
Al_2O_3	1.94	8.42	0.33	14.18	0.19
Fe_2O_3	0.02	1.99	0.01	4.62	0.22
FeO	1.42	2.19	0.70	2.16	0.17
H_2O	1.34	2.22	0.59	0.16	0.03
H_2O	0.05	0.12	0.02	3.20	1.32
CaO	41.12	21.06	49.77	7.41	53.62
Na_2O	0.24	1.16	0.04	1.81	0.03
K_2O	0.30	1.67	0.07	2.66	0.05
H_2O^+	0.01	0.03	0.03	0.05	0.08
H_2O^-	0.53	0.53	0.41	0.55	0.03
L.O.I.	37.90	18.57	42.57	10.09	43.43
Cu ppm	16	29	14	106	18
Pb	7	15	3	73	97
Zn	14	50	2	129	32
Ba	133	391	15	1286	***
Str	416	207	269	170	***

Πίν. 1. Η χημική ανάλυση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του όρους Μενοικίου (Κατιτζόγλου και Γιαλόγλου 1991).

Παρακάτω παραθέτουμε επίσης σχετικό πίνακα που περιλαμβάνει τις χημικές αναλύσεις των μαρμάρων του Μενοικίου (Βαβλιάκης 1981).

	ΔΕΙΓΜΑ 1	ΔΕΙΓΜΑ 2	ΔΕΙΓΜΑ 3	ΔΕΙΓΜΑ 4
	Περιοχή Μαύρης Στάνης	Κορυφή Μενοικίου	Δυτ. πόλης Καλλιπόλεως	Περιοχή Άλιστράτης
	Δυτ. Μενοίκιο (ύψ. 1950 m) Κέντρ. Μενοίκιο Άν. Μενοίκιο			
Ιζητικά γυστατικά (CO ₂)	43,71 %	43,61 %	43,22 %	43,62 %
CaO	53,42 %	53,90 %	54,32 %	54,82 %
MgO	0,81 %	0,91 %	0,70 %	0,70 %
SiO ₂	0,78 %	0,16 %	0,22 %	0,05 %
R ₂ O ₃ R=Fe, Al)	1,18 %	1,31 %	0,98 %	0,70 %
Σύνολο	99,90 %	99,89 %	99,44 %	99,89 %
CaCO ₃	95,40 %	96,20 %	96,90 %	97,90 %
MgCO ₃	1,69 %	1,90 %	1,46 %	1,46 %

Πίν.2. Χημικές αναλύσεις μαρμάρων Μενοικίου (Βαβλιάκης, 1981).

Επίσης από το όρος Μενοίκιο απουσιάζουν σχεδόν τα πλουτώνια πετρώματα, τα οποία όμως κυριαρχούν αμέσως ΒΔ στο όρος Βροντού (Παπαδάκης 1965, Θεωδορίκας 1982), παρουσιάζοντας μια βύθιση νοτιοανατολική, δηλαδή προς το Μενοίκιο, όπως προκύπτει από τους αερομαγνητικούς χάρτες της ABEM. Έχουν σύσταση γρανοδιοριτική-γρανιτική, ανήκουν στους παραγωγικούς γρανίτες (Θεωδορίκας 1985), σχηματίζουν Skarn και βάσει γεωχρονολογήσεων με την μέθοδο K/Ar στα όρυκτα κεροστίλβη και βιοτίτη αποδίδεται **Κατώτ. Ηωκαινική έως Μέσο Ολιγοκαινική ηλικία** (Παπαδάκης 1965, Μαρράκης 1969).

Πυριγενή πετρώματα στο Μενοίκιο απαντούν μόνο ανατολικά του χωριού Ελαιώνα, γύρω από την μονή του Τιμίου Προδρόμου. Συγκεκριμένα στην περιοχή αυτή έχει αποκαλυφθεί από την διάβρωση γρανίτης, ο οποίος έχει διεισδύσει στα μη καθαρά λεπτοπλακώδη μάρμαρα της κατώτερης σειράς.

Ο Osswald (1938) παραλληλίζει την διείσδυση αυτή με την ηωκαινικής ηλικίας διείσδυση στα όρη της Βροντούς.

Ο Παπαδάκης (1965) χαρακτηρίζει την παραπάνω διείσδυση σαν γνευσιοειδή χαλαζιακό μονζονίτη ηωκαινικής ηλικίας.

Ο De Boer (1970) δέχεται επίσης από συγκρίσεις με τις γειτονικές διεισδύσεις για τον γρανίτη του Ελαιώνα μια ηωκαινική ηλικία.

Ο παραπάνω ερευνητής διακρίνει στο Μενοίκιο, σύγκλινα και αντίκλινα (βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 4) με διεύθυνση των αζόνων BA-NA (50°) και με διαστάσεις χλμ., όσο και μικρότερες πτυχές με διεύθυνση BA-NA (110-120°).

B.1. ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ & ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΜΕΝΟΙΚΙΟΥ

Το Μενοίκιο συγκροτείται από μεταμορφωμένα πετρώματα προαλπικής ή και αλπικής ηλικίας, ενώ ορισμένες περιοχές του, κυρίως οι πρόποδες του όρους καλύπτονται από μεταλικά ιζήματα. Τα τελευταία διακρίνονται σε Νεογενή και σε Τεταρτογενή.

Μέχρι το Νεογενές, δεν έχουμε πληροφορίες σχετικά με αποθέσεις ιζημάτων, αλλά ούτε και για την γενικότερη εξέλιξή του. Ιδιαίτερα στα περιθώρια του Μενοικίου προς τις γειτονικές λεκάνες Σερρών-Δράμας εντοπίζονται οι παραπάνω αποθέσεις.

Νεογενή ιζήματα απαντούν στο δυτικό και νότιο περιθώριο καθώς και στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του Μενοικίου, μεταξύ των χωριών Αλιστράτης-Αγριανής και Χαριτωμένης.

Ο Παρασκευαΐδης (1952) διακρίνει τις νεογενείς αποθέσεις BA των Σερρών, στο δυτικό τμήμα του Μενοικίου, σε 2 φάσεις, την λιμναία και την θαλάσσια (βλ. ΧΑΡΤΗ Ι.Γ.Μ.Ε. & Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 1).

- Η **λιμναία φάση** αρχίζει με ένα κροκαλοπαγές, ακολουθεί σειρά από αμμοαργιλώδη υλικά και στη συνέχεια εμφανίζεται μάργα λευκή, στην οποία δίνει το χαρακτηρισμό **‘Μάργα του Βερό’**. Μέσα στην μάργα βρέθηκαν λιμναία απολιθώματα (Planorbis κ.α.). Πάνω από την μάργα του Βερό, αρχίζει η λιγνιτοφόρος σειρά που το συνολικό της πάχος είναι περίπου 200 μ. Στην συνέχεια ακολουθεί στρώμα άμμου πάχους λίγων μέτρων και ένα άγονο στρώμα με πλήθος απολιθωμάτων, κυρίως Planorbis.
- Η **θαλάσσια φάση** αρχίζει με ένα συμπαγές κροκαλοπαγές, το οποίο βρίσκεται πάνω από ερυθροπηλούς. Μετά το κροκαλοπαγές ακολουθούν άμμοι σημαντικού πάχους, με απολιθώματα κοραλλίων και ελασματοβραγχίων. Ακολουθεί στρώμα ψαμμίτη, πάχους λίγων μέτρων με απολιθώματα Gardium μικρού μεγέθους (Papilosum) και στην συνέχεια αργιλώδες στρώμα με πολλά ελασματοβράγχια και γαστερόποδα. Έπειτα ακολουθούν αργιλοαμμώδη στρώματα αρκετού πάχους, χωρίς απολιθώματα.

Η ηλικία των λιμναίων και θαλασσιών ιζημάτων από τους Παρασκευαΐδη (1952) και Papp (1948), τοποθετείται στο **Πλειόκαινο**.

Μια νεώτερη εξέταση όμως των θαλασσιών απολιθωμάτων της περιοχής αυτής, οδήγησε τον Papp (1979) στο συμπέρασμα ότι αυτά θα πρέπει να τοποθετηθούν στο **Ανώτερο Μειόκαινο**.

Ο Σωτηριάδης Α. (1966) προσδιόρισε την ηλικία των λιμναίων αποθέσεων στην περιοχή Σιδηροκάστρου ως Άνω Μειοκαινική-Κάτω Πλειοκαινική με χαρόφυτα (Tektochara escheri).

Ο Osswald (1938) δέχεται ότι οι λιγνίτες της λεκάνης των Σερρών είναι Ποντίου ηλικίας.

Ο Freyberg (1951) θεωρεί ότι τα θαλάσσια ιζήματα της περιοχής BA των Σερρών, βρίσκονται πάνω από τα λιμναία, σε ένα δεύτερο κύκλο ιζηματογένεσης δηλαδή. Αντίθετα ο Παρασκευαΐδης (1952), από το γεγονός ότι κάτω από τα θαλάσσια δεν

βρέθηκε πουθενά στρώμα λιγνίτη, χαρακτηρίζει τα θαλάσσια ιζήματα σαν παράλληλη σειρά των λιμναίων.

Μια ίδια με την λιγνιτοφόρο σειρά των Σερρών, διαπίστωσε ο De Boer (1970) μεταξύ των χωριών Μέταλλα και Αναστασιά. Σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή, η μεταξύ Χαριτωμένης-Αγριανής και Αλιστράτης επιφάνεια του Μενοικίου, καλύπτεται από ένα κροκαλοπαγές, το οποίο χαρακτηρίζει σαν ‘κροκαλοπαγές του Μενοικίου’.

Το τελευταίο αποτελείται από καλά αποστρογγυλεμένες μαρμάρινες κροκάλες που έχουν συγκολληθεί σταθερά με ένα λευκό ασβεστιτικό συνδετικό υλικό.

Από τον μεγάλο βαθμό ταξινόμησης των κροκαλών και το μεγάλο πάχος του κροκαλοπαγούς (περίπου 300μ.), κατέληξε στο συμπέρασμα ότι κατά την διάρκεια της απόθεσης των κροκαλών, επικρατούσαν ομοιόμορφες συνθήκες μεταφοράς, για μεγάλο χρονικό διάστημα. Την ηλικία του παραπάνω σχηματισμού την τοποθετεί στο **Πλειόκαινο** και η τοποθέτηση αυτή βασίζεται σε στρωματογραφικές συγκρίσεις με ανάλογους σχηματισμούς στην λεκάνη των Σερρών, που έχουν χρονολογηθεί με απολιθώματα (**βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 1**).

Για την έκταση, την ηλικία και την εξήγηση της παρουσίας ασβεστολίθων στην σειρά του κροκαλοπαγούς αυτού, διατηρούμε τις επιφυλάξεις μας.

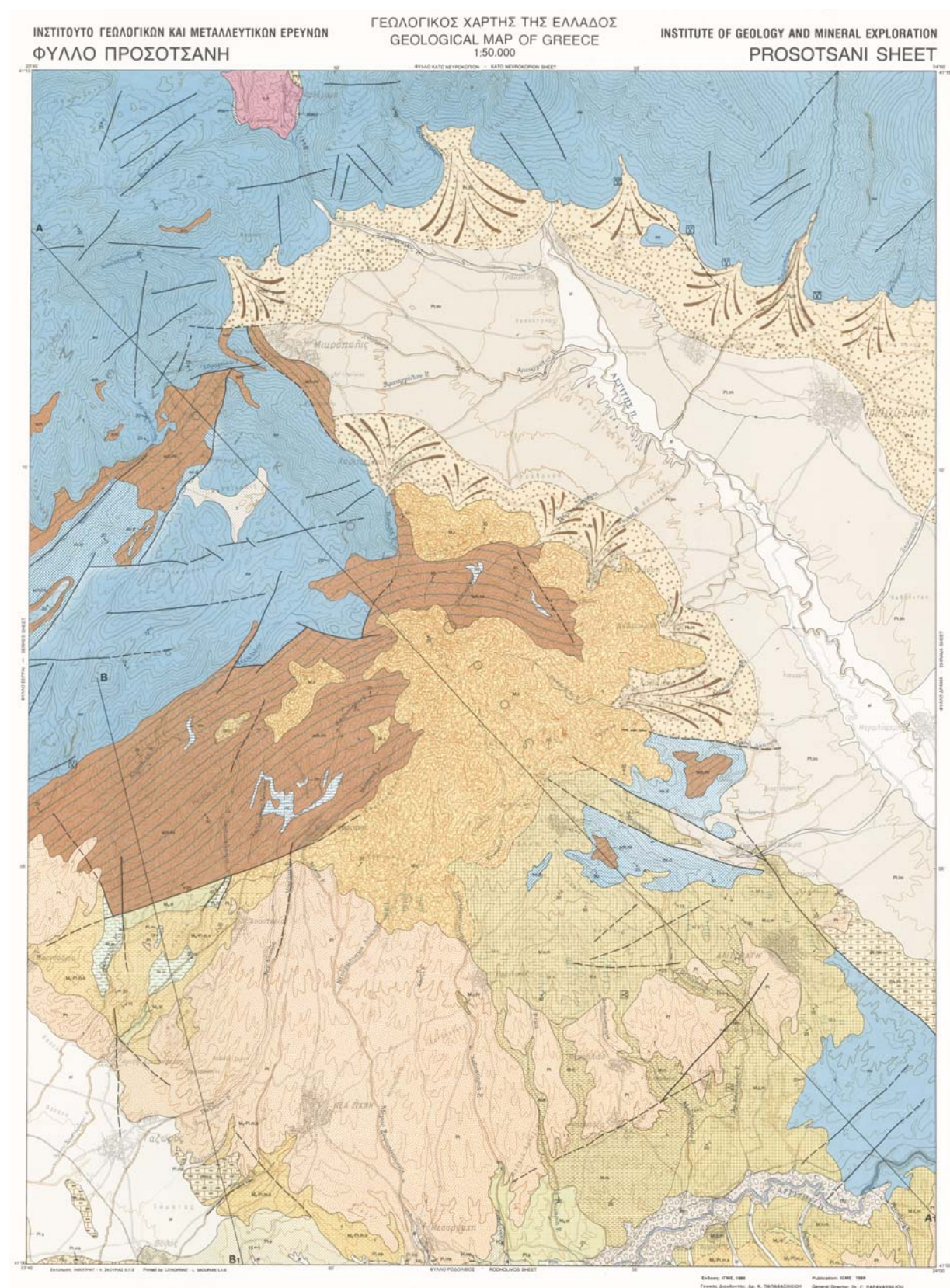
Τεταρτογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται ασύμφωνα, σε πεδινές εκτάσεις περισσότερο, πάνω στα Νεογενή. Συγκεκριμένα στο χείμαρρο της Αγίας Κυριακής, κοντά στο χωριό Μαντήλι Σερρών, ο Παρασκευαΐδης (1952) διαπίστωσε μια επαφή των νεογενών και τεταρτογενών ιζημάτων.

Πάνω από τα κεκλιμένα νεογενή, αρχίζουν σε οριζόντια διάταξη τα τεταρτογενή με ερυθρά γη αρκετού πάχους και πάνω από αυτή ακολουθεί κροκαλοπαγές σημαντικού πάχους.

Κώνοι κορρημάτων τεταρτογενούς ηλικίας, απαντούν σε όλο το μήκος του ορίου του Μενοικίου με την λεκάνη της Δράμας. Τα υψόμετρα των κορυφών τους μεταξύ των χωριών Καλλιθέας και Μικρόπολη βρίσκονται πάνω από τα 400μ.

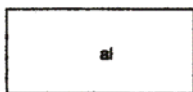
Αλλουβιακά ριπίδια απαντούν σήμερα σε εξόδους χείμαρρων, στις χαμηλότερες πεδινές εκτάσεις (**βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 2**).

Αναβαθμίδες χαρακτηριστικές, αναπτύσσονται κατά μήκος των κοιτών των χείμαρρων, που τέμνουν τα Νεογενή ιζήματα του νότιου Μενοικίου. Ενδεικτικά αναφέρουμε το χείμαρρο ‘Δαμασκηνόρεμα’ κοντά στο χωριό Σφελινός, όπου διαπιστώθηκαν 4 αναβαθμίδες.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ ΑΔΙΑΙΡΕΤΟ



Σύγχρονες προσχώσεις: αμμούχες άργιλοι, άργιλοι και κατά θέσεις ιλύς με χαλίκια.



Αποθέσεις πόλγης: αργιλικά υλικά (terra rossa) με διάσπαρτες σχιστολιθικές κροκάλες και χαλαζιακή άμμο.



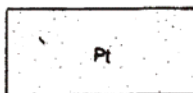
Ποτάμιες αναβαθμίδες

Κατώτερη αναβαθμίδα (Ht₂): αποτελείται από άμμο, χάλικες και κροκάλες. Το ύψος της από την σημερινή κοίτη του ποταμού φθάνει μέχρι 10 m.

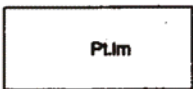
Ανώτερη αναβαθμίδα (Ht₁): αποτελείται από άμμο, αμμοχάλικα, αμμούχες αργίλους και κροκάλες. Βρίσκεται σε ύψος 15 m περίπου, το δε πάχος της είναι 5-10 m.



Συνεκτικά κροκαλολατυποπαγή (Pl.c) και κώνοι κορημάτων (Pl.cs): αποτελούνται από κροκάλες και λατύπες μαρμάρου με συνδετικό υλικό κυρίως ασβεστίτικο και κατά θέσεις αργιλικό.

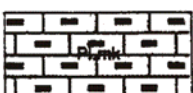


Χερσαίος σχηματισμός κροκαλολατυποπαγών: αποτελείται από αδρομερή, άστρωτα, αδιαβάθμητα και συνεκτικά κροκαλολατυποπαγή. Υπερισχύουν οι κροκάλες-λατύπες μαρμάρων, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με ασβεστίτικο και αργιλικό υλικό. Το χρώμα τους είναι κοκκινωπό και το πάχος φθάνει τα 80-100 m περίπου.



Καστανοκόκκινοι πηλοί με διάσπαρτες κροκάλες: αποτελούνται από κόκκινους αργίλους, αμμούχους πηλούς και πηλούς με διάσπαρτες κροκάλες κυρίως από μάρμαρο και λιγότερο από γνεύσιο και χαλαζία, των οποίων το μέγεθος ελαττούται όσο πλησιάζουμε στα πεδινά.

ΝΕΟΓΕΝΕΣ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ



α) Λιμναία φάση

Μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι: εναλλαγές αμμούχων μαργών, μαργών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων με χαρακτηριστικό λευκότεφρο χρώμα.

Απολιθώματα:

Γαστερόποδα και Ελασματοβράγχια μή προσδιορισθέντα.
Πάχος: περίπου 25-30 m.



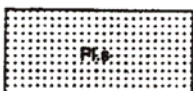
β) Θαλάσσια φάση

Μάργες, άμμοι, κροκαλοπαγή: μάργες εναλλασσόμενες με στρώσεις αμμούχων μαργών, αμμούχων αργίλων, άμμων και αργίλων καθώς και στρώσεις μικροκροκαλοπαγών.

Απολιθώματα:

Ostrea sp., *Pecten* sp., *Orbulina universa* D'ORBIGNY,
Globigerina bulloides D'ORBIGNY, *Loxococoncha versicolor*
MUELLER, *Cytheridea acuminata neapolitana* KOLLMANN.

Πάχος: περίπου 30-40 m.



γ) Δελταϊκές αποθέσεις

Άμμοι, άργιλοι, κροκαλοπαγή: αποθέσεις λιμναίες-υφάλμυρες με παρεμβολές θαλασσίων από λεπτόκοκκους άμμους με καλή κοκκοδιαβάθμιση και με παρεμβολές πρασινότεφων αργίλων πάχους 10-15 cm. Κατά θέσεις βρίσκονται στρώσεις κροκαλοπαγών και δελταϊκές αποθέσεις χονδροκόκκων άμμων.

Πάχος: περίπου 150-200 m.

ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ



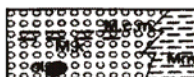
Θαλάσσια έως υφάλμυρη φάση: αποτελείται από αργίλους, μάργες, αμμούχες μάργες και κροκαλοπαγή. Κατά θέσεις συναντάμε ενστρώσεις μαργαϊκών υλικών και ψαμμιτών με αποτυπώματα φύλλων.

Απολιθώματα:

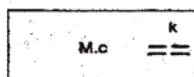
Cyprideis α. *C. pannonica agrigentina* DECIMA, *Leptocythere bisaltiana* GRAMANN, *Cytheridea* α. *acuminata acuminata* (BOSQUET), *Pontoniella acuminata acuminata* (ZALANYI).

Πάχος: περίπου 100-150 m.

ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ



Κροκαλοπαγή μη συνεκτικά και μάργες: σχετικά χαλαρά κροκαλοπαγή με κροκάλες κυρίως από γνεύσιο και μάρμαρα που συνδέονται μεταξύ τους με μαργαϊκό υλικό, καθώς επίσης λεπτόκοκκοι έως μεσόκοκκοι, σκληροί ψαμμίτες, μαργαϊκοί ψαμμίτες και κίτρινες έως γκρι μάργες που περιέχουν μικρές διαστρώσεις από άμμο. Απαντούν επίσης ολισθόλιθοι (ol) γρανίτη. Κατά θέσεις συναντάμε λεπτές στρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων έως ασβεστόλιθων (M.k) Βρίσκουμε και λεπτές φακοειδείς στρώσεις λιγνίτη, καθώς και απανθρακωμένα φύλλα δέντρων. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν πλευρική μετάβαση του σχηματισμού (M.c) και μεταβαίνουν πλευρικά σε αργιλομαργαϊκούς σχηματισμούς, λιμναίας φάσης (M.m) με Γαστερόποδα και φύλλα δέντρων.



Συμπαγή κροκαλοπαγή: αποτελούνται από πάγκους με καλά αποστρογγυλεμένες έως λίγο ωσειδείς κροκάλες μαρμάρου που συνδέονται μεταξύ τους με ασβεστιτικό υλικό. Μέσα στον ίδιο πάγκο οι κροκάλες παρουσιάζουν σχεδόν το ίδιο μέγεθος. Συναντάμε επίσης πάγκους ασβεστολιθικούς μέσα στα κροκαλοπαγή. Σε ορισμένα μέρη συναντάμε στρώματα από ανθρακικό υλικό χωρίς κροκάλες που μακροσκοπικά είναι δύσκολο να ξεχωριστεί από το μάρμαρο.

Πάχος: περίπου 300-400 m.

ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ



Γρανοδιορίτης: φλεβικός γρανοδιορίτης, κατά θέσεις αποσπασμένος, διασχίζει τα μάρμαρα, στα οποία έχει προκαλέσει έντονα φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής (ασβεστοπυριτικά πετρώματα - Skarn). Κύρια ορυκτά: άστριοι, χαλαζίας, πράσινη κερροσίλη, βιοτίτης. Η ηλικία προσδιορίστηκε ραδιομετρικά ως ολιγοκαινική (Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover, 1970).

Skarn: είναι ασβεστοπυριτικά πετρώματα με γρανάτη (ανδραδίτης) που έχουν σχηματιστεί από την μεταμόρφωση επαφής των μαρμάρων με το γρανοδιορίτη της περιοχής (Πανόραμα).

ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΡΟΔΟΠΗΣ



Μάρμαρα: τεφρά έως υπόλευκα, αδροκρυσταλλικά ή μικροκρυσταλλικά, συμπαγή έως στρωσιγενή και κατά θέσεις πλακοειδή μάρμαρα (mr). Σπάνια δολομιτωμένα και σε ορισμένες θέσεις παρουσιάζουν έντονο τεκτονισμό. Παρατηρούνται φαινόμενα θερμικής μεταμόρφωσης εξ επαφής (Skarn) στην περιοχή Πανόραμα. Στα μάρμαρα παρεμβάλλονται διμαρμαρυγικοί σχιστογενέσις (sch) σε στρώσεις και φακούς με αδροκρυσταλλικό και γρανολεπιδοβλαστικό ιστό και προσανατολισμένη υφή. Χρώμα: στακτοπράσινο. Κύρια ορυκτά: χαλαζίας, Κ-ούχοι άστριοι, βιοτίτης και μοσχobίτης.

Πάχος: περίπου 1500-1800 m.



Μαρμαρυγικοί-διμαρμαρυγικοί σχιστογενέσις: πέτρωμα με γρανο-λεπιδοβλαστικό ιστό κατά τόπους κατακλαστικό και υφή σχιστώδη. Κύρια ορυκτά: χαλαζίας, Κ-ούχοι άστριοι, πλαγιόκλαστα, μαρμαρυγία, αμφίβολοι (ακτινόλιθοι), αρκετοί κρύσταλλοι επιδότου και τιτανίτης. Μέσα σ' αυτούς υπάρχουν παρεμβολές γνευσίων με πορφυροκλαστικό οφθαλμώδη ιστό, με οφθαλμούς αστρίων και χαλαζία, καθώς επίσης στρώσεις και φακούς μαρμάρων (mr). Η ορυκτολογική παραγένεση της σειράς δείχνει πετρώματα χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης.

Πάχος: περίπου 300-400 m.



Μάρμαρα: τεφρά, λευκότεφρα, αδροκρυσταλλικά ή λεπτοκρυσταλλικά, κυρίως λεπτοστρωματώδη και κατά θέσεις παχυστρωματώδη, σπάνια συμπαγή, με έντονο τεκτονισμό. Σε ορισμένες θέσεις παρουσιάζονται δολομιτωμένα ή βιτουμενιούχα.

Πάχος: περίπου 200-300 m.

B.2. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ

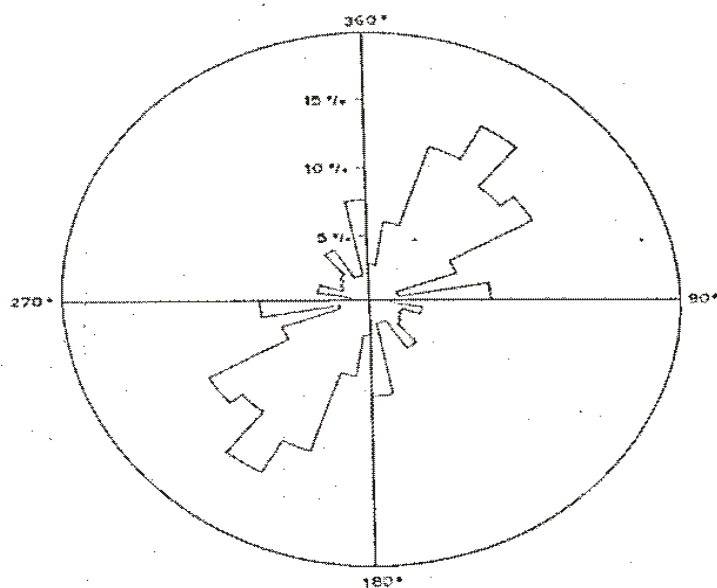
Η πρώτη τεκτονική δράση της ευρύτερης περιοχής έρευνας, έλαβε χώρα κατά το Προκάμβριο ή Κάμβριο και είναι σύγχρονη της πρώτης φάσης μεταμόρφωσης.

Οι κινήσεις του συστήματος ολοκληρώθηκαν με τις αλπικές πτυχώσεις. Με τις τελευταίες είναι συνδεδεμένη η γενικότερη τεκτονική δομή που επικρατεί στην περιοχή, σχηματισμός συγκλίνων-αντικλίνων, οι λεπιώσεις στρωμάτων και οι τοπικές επωθήσεις. Επίσης κυρίαρχη είναι η ύπαρξη δύο ομάδων ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ, οι οποίες και δημιουργήσαν τα τεκτονικά βυθίσματα Σερρών-Δράμας (grabens). Έτσι μέσα στην λεκάνη Στρυμόνα επικρατούν για παράδειγμα τα ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ (βλ. **Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 5**).

Τα τεκτονικά αυτά βυθίσματα Σερρών-Δράμας, γέμισαν στη συνέχεια από θαλάσσια, λιμναία και υφάλμυρα ιζήματα, κατά το Τριτογενές (Τέλος Μειοκαίνου-αρχή Πλειοκαίνου) και από νεώτερες Διλουβιακές και αλλουβιακές αποθέσεις.

Το Μενοίκιο όρος κατά τον De Boer (1970) χαρακτηρίζεται από μια παλαιότερη τεκτονική πτυχών και μια νεώτερη τεκτονική ρηγμάτων. Η ανύψωση του όρους κατά τον ίδιο συγγραφέα άρχισε στο Πλειόκαινο-Πλειστόκαινο και συνεχίζεται μέχρι σήμερα.

Οι άξονες των πτυχών έχουν κυρίως **κατεύθυνση ΒΑ (περιοχή Αλιστράτης)** καθώς και ΒΔ (περιοχή Αγίου Πνεύματος) και κλίσεις που κυμαίνονται από 0-30°. Οι κλίσεις των περυγίων τους είναι συνήθως συμμετρικές (βλ. **Σχ. 4**).



Σχ.4. Ροδοδιάγραμμα παρατάξεων μεταμορφωμένων πετρωμάτων περιοχής Αλιστράτης (από Χατζηκόρκου 1991).

Τα ρήγματα που απαντώνται στο Μενοίκιο σύμφωνα με τους Βαβλιάκη κ.α. (1989) και σχετικά με την διεύθυνσή τους διακρίνονται στις παρακάτω κύριες ομάδες:

B.2.1. Ρήγματα με διεύθυνση BA-NA

Η διεύθυνση των ρηγμάτων αυτών συμπίπτει με την διεύθυνση των κύριων αξόνων (b) των μεγαπτυχών του Μενοικίου που ανήκουν στην φάση πτυχώσεων D2 αλπικής ηλικίας (Kronberg et al. 1970, Patras et al. 1987) και οι δομές της οποίας κυριαρχούν στα πετρώματα της Ροδόπης με παράλληλη τοποθέτηση των πλουτωνικών σωμάτων.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των ρηγμάτων BA-NA διεύθυνσης είναι ότι αντιστοιχούν στα μεγαλύτερα ρήγματα του Μενοικίου με μήκη που κυμαίνονται από 8-12 Km. Τέμνουν σχεδόν αποκλειστικά μεταμορφωμένα πετρώματα και εντοπίζονται στο κεντρικό και δυτικό Μενοίκιο (βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 4). Στα 3 από τα 4 ρήγματα η μετάπτωση είναι ΒΔ, ενώ στο τέταρτο της ομάδας (ρήγμα Μεταλλείου) η μετάπτωση είναι ΝΑ.

Τα τρία δυτικότερα ρήγματα της ομάδας αυτής εκφράζονται από τα ρέματα Μάνδρας, Μακρυλάκκου και Μεταλλείου. Το **συνολικό** άλμα των ρηγμάτων Μάνδρας και Μακρυλάκκου υπερβαίνουν τα 200 μέτρα, ενώ το άλμα του τρίτου κυμαίνεται από 20-40μ.

Παρά το σχετικά μεγάλο μήκος και άλμα των περισσότερων ρηγμάτων αυτής της ομάδας, η δράση τους δεν επηρέασε σημαντικά την προϋπάρχουσα γενική μορφολογική εικόνα του Μενοικίου, γιατί όπως προαναφέραμε η διεύθυνσή τους συμπίπτει με αυτή των κυρίων αξόνων των πτυχών και δεσπόζει η επίδραση της πτυχογόνου τεκτονικής στην διαμόρφωση της μορφολογίας. Προκάλεσε όμως κατά θέσεις μεταβολή (αύξηση) των μορφολογικών κλίσεων και σημαντική μεταβολή στην μέχρι προ της δράσης τους υδρογραφία, κυρίως του κεντρικού Μενοικίου.

Συγκεκριμένα η δράση του ρήγματος Μακρυλάκκου με ΒΔ μετάπτωση απέκοψε την προς Ν, ΝΑ συνέχεια των κοιλάδων με Β-Ν μέχρι ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση του σημερινού υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής του ρέματος αυτού, όπου η τελευταία χαρακτηρίζεται από την μονόπλευρη ανάπτυξη του δικτύου της (βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 5). Ειδικότερα οι κλάδοι του ΒΔ τμήματός της έχουν πολύ μεγαλύτερο μήκος και συχνότητα σε σχέση με αυτούς του ΝΑ τμήματός της. Αν λάβουμε υπόψη μας επίσης ότι η κοιλάδα του Μακρυλάκκου είναι συγκλινική, η υποτυπώδης ανάπτυξη του δικτύου της στο ΝΑ τμήμα της λεκάνης απορροής της θα μπορούσε να δικαιολογηθεί με την παραδοχή ότι σε ένα πρόσφατο γεωλογικό στάδιο της εξέλιξης της κοιλάδας του Μακρυλάκκου είχαμε την ενεργοποίηση του ομώνυμου ρήγματος.

Εδώ αξίζει να σημειώσουμε την **μονόπλευρη ανάπτυξη** του υδρογραφικού δικτύου των κοιλάδων εκείνων των ρεμάτων που σχηματίστηκαν κατά μήκος ρηγμάτων BA-NA διεύθυνσης.

Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι η μονόπλευρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου μπορεί να αποτελέσει ένα έμμεσο κριτήριο για τον προσδιορισμό της θέσης και διεύθυνσης ρηγμάτων.

Η παρουσία επίσης **τεκτονικών κρεμασμένων κοιλάδων** σε μια περιοχή συνηγορεί για την δράση ρηγμάτων με την προϋπόθεση βέβαια ότι έχει αποκλεισθεί σε αυτή η δράση αλπικών παγετώνων. Συγκεκριμένα η δράση του αμέσως παραπάνω ρήγματος με ΒΔ μετάπτωση προκάλεσε αποκοπή της συνέχειας μιας άλλης κοιλάδας με ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση στη περιοχή Καλλιπόλεως. Η κοιλάδα αυτή φαίνεται ως κρεμασμένη βλέποντάς την κανείς από την δυτική πλευρά του Μακρυλάκκου.

Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου στην μάζα της Ροδόπης, έχει βασικά καθοριστεί από την νεοτεκτονική (Ψιλοβίκος 1987), συνεπώς μπορούμε να δεχθούμε

ότι η σημερινή θέση και διεύθυνση των περισσότερων κρεμασμένων κοιλάδων στην περιοχή, εκφράζει την θέση ρηγμάτων με διεύθυνση **BA-NA**.

Εκτός του γεγονότος αυτού, υπάρχουν και άλλες παρατηρήσεις από τις οποίες συμπεραίνεται ότι τα ρήγματα BA-NA διεύθυνσης έχουν νεότερη δράση από ορισμένα μικρότερα ρήγματα διεύθυνσης B-N. Στην ουσία εδώ πρόκειται για κρεμασμένες κοιλάδες διεύθυνσης B-N.

B.2.II. Ρήγματα με διεύθυνση BA-NA

Εντοπίζονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα του Μενοικίου, στο όριο του με την λεκάνη της Δράμας. Με την παραπάνω διεύθυνση χαρτογραφήθηκαν (Βαβλιάκης κ.α. 1989) μέχρι 4 ρήγματα σε κλιμακωτή διάταξη. Ορισμένα από τα ρήγματα της ομάδας αυτής τέμνουν μεταμορφωμένα πετρώματα και ορισμένα άλλα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα. Με την σταδιακή δραστηριότητα των ρηγμάτων BA-NA διεύθυνσης συνδέονται σημαντικές μεταβολές της μέχρι προ της δράσης τους μορφολογίας και υδρογραφίας του ανατολικού Μενοικίου, στις οποίες θα αναφερθούμε και ενδεικτικά στην συνέχεια.

Το ρήγμα που τοποθετείται BA από την κορυφή Καλλιπόλεως (**βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 5**), που συμπίπτει με την ισοϋψή των 1000μ. και τέμνει κυρίως μάρμαρα σε μήκος 4χλμ. απέκοψε την BA συνέχεια των κοιλάδων Μακρυλάκκου και Σισηρορέμματος, τα οποία στα ψηλότερα τμήματά τους έχουν μορφολογικά στοιχεία ωριμότητας. Οι παραπάνω κοιλάδες φαίνονται σήμερα κρεμασμένες, όταν τις βλέπει κανείς από την λεκάνη της Δράμας.

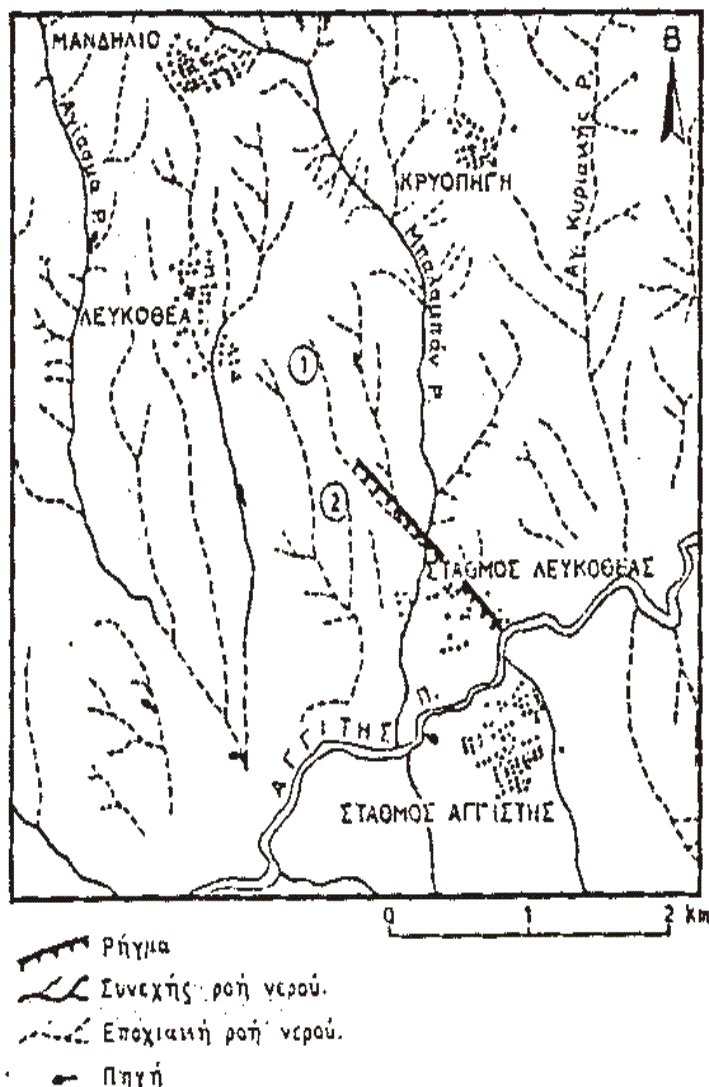
Η δράση του παραπάνω ρήγματος είχε σαν αποτέλεσμα την αποκοπή ενός σημαντικού τμήματος των λεκανών απορροής των συγκεκριμένων κοιλάδων, που πριν από την δράση του αποστραγγίζονταν προς την λεκάνη των Σερρών (**φαινόμενα πειρατείας ρεμάτων**). Δεν υπάρχουν άμεσα μορφολογικά και υδρογραφικά κριτήρια για τον ακριβή προσδιορισμό της απόλυτης ηλικίας τους.

Τα ρήγματα της περιοχής Χαριτωμένης (**βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 5**), τέμνουν επίσης μεταμορφωμένα πετρώματα (μάρμαρα, μαρμαρ. σχιστόλιθοι, γνεύσιοι) και συμπίπτουν με την ισοϋψή των 400 μ. Η διεύθυνση της μετάπτωσής τους συμπίπτει με αυτή της μορφολογικής κλίσης των τμημάτων που τέμνουν και στα σημεία τομής των παραπάνω ρηγμάτων και των κοιλάδων με B-N διεύθυνση σχηματίστηκαν αλλουβιακά ριπιδία. Το υψόμετρο των κορυφών των ριπιδίων είναι περίπου 400 μ. και αποτελούνται κυρίως από συγκολλημένο ασβεστολιθικό υλικό. Κάθονται πάνω σε νεογενή ιζήματα και σύμφωνα με τους Osswald (1938), Βαβλιάκη (1981) είναι Πλειστοκαινικής ηλικίας. Ανάλογη πρέπει να είναι και η ηλικία των ρηγμάτων της συγκεκριμένης περιοχής γιατί το υψόμετρο του σχηματισμού τους βρίσκεται κάτω από την πλειστοκαινική περιπαγετώδη ζώνη, όπου σύμφωνα με τον Βαβλιάκη (1981) στο Μενοίκιο δεν έφτανε κάτω από τα 600μ. Συνεπώς η κύρια αιτία σχηματισμού τους θα πρέπει να θεωρηθεί η απότομη μεταβολή της κλίσης των κοιλάδων στα σημεία τομής τους με τα ρήγματα της περιοχής που προαναφέραμε. Τα έντονα κρυογενετικά φαινόμενα κατά τις περιπαγετώδεις περιόδους στην ψηλότερη ζώνη των λεκανών απορροής των κοιλάδων επηρέασαν τις διαστάσεις των αλλουβιακών ριπιδίων που σχηματίστηκαν στα σημεία τομής τους με τα παραπάνω ρήγματα.

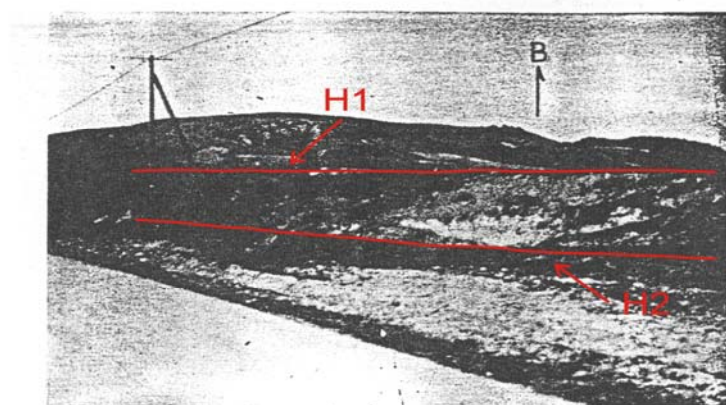
Πλειστοκαινική πρέπει να είναι και η ηλικία των δύο ρηγμάτων με διεύθυνση BA-NA που έχουν σχηματιστεί σε υψόμετρο 200μ. περίπου NA από την Αλυστράτη. Η διεύθυνση της μετάπτωσής τους και εδώ συμπίπτει με την διεύθυνση της μορφολογικής κλίσης και μπροστά από τις κατοπτρικές τους επιφάνειες έχουν σχηματιστεί αλλουβιακά ριπιδία.

Τεκτονικά κριτήρια για τον προσδιορισμό ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης στο νότιο Μενοίκιο σχεδόν λείπουν, εξαιτίας της έντονης διάβρωσης των ρηξιγενών επιφανειών που είχαν σχηματιστεί πάνω στα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα. Ο συνδυασμός όμως μορφολογικών και υδρογραφικών κριτηρίων μας επέτρεψε τον προσδιορισμό ορισμένων ρηγμάτων τέτοιας διεύθυνσης. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί το ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγμα νοτιοανατολικά του χωριού Λευκοθέα.

Η διεύθυνση αυτού του ρήγματος συμπίπτει με την διεύθυνση του κάτω ρου του ρέματος που βλέπουμε παρακάτω. Όλοι οι μεγάλοι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής καταλήγουν στον ποταμό Αγγίτη με διεύθυνση Β-Ν που συμπίπτει με αυτή της μορφολογικής κλίσης. Το ρέμα 1 (βλ. Φωτ. 1 & Σχ. 5), ενώ στο ανώτερο τμήμα της λεκάνης απορροής του έχει διεύθυνση Β-Ν κάμπτεται στην συνέχεια προς τα ΝΑ, χωρίς η μορφολογική κλίση αλλά και η θέση του τοπικού βασικού επιπέδου διάβρωσης (Ρέμα Βαλαβάνη), να δικαιολογούν την ανάπτυξη προς την διεύθυνση αυτή.



Σχ.5. Τμήμα του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης, όπου ο κάτω ρους του ρέματος 1, ΒΑ από το χωριό Λευκοθέα συμπίπτει με το νεοτεκτονικό ρήγμα ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης (Βαβλιάκης & Μουντράκης 1984).



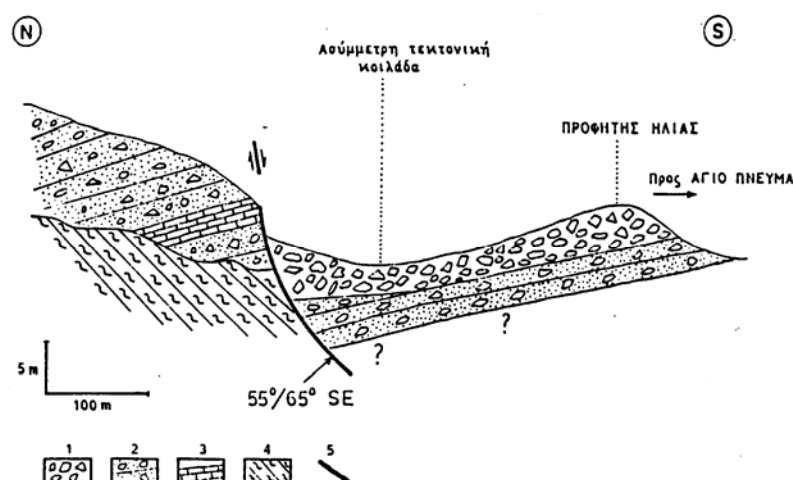
Φωτ.1. Τμήμα του ρέματος 1. Η παρουσία ρήγματος ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης επιβεβαιώνεται και από την υψομετρική διαφορά των κλιτύων της κοιλάδας του, που οφείλεται σε ΝΔ μετάπτωση. Η1 είναι η θέση της υψηλότερης κλιτύος και Η2 η θέση της χαμηλότερης (Βαβλιάκης & Μουντράκης 1984).

Από τα όσα αναφέραμε παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι το συγκεκριμένο ρήγμα είναι νεότερης ηλικίας από αυτή των μεγάλων κλάδων Β-Ν διεύθυνσης του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής. Οι κλάδοι αυτοί τέμνουν νεογενή ιζήματα συνεπώς πρέπει να είναι πλειστοκαινικής ηλικίας. Το ρήγμα της Λευκοθέας ως νεότερο από τους παραπάνω κλάδους πρέπει να έχει πλειστοκαινική-ολοκαινική ηλικία. Το σχήμα V της κοιλάδας του κάτω ρου του παραπάνω ρέματος, το οποίο διατηρείται αν και έχει σχηματιστεί σε μαλακά ιζήματα, και το μικρό σχετικά βάθος της δεν αποκλείουν και μια ολοκαινική ηλικία του ρήγματος. Με ανάλογα κριτήρια έχουν χαρτογραφηθεί και άλλα ρήγματα σε ιζηματογενείς θέσεις του Ν. Μενοικίου.

Β.3.III. Ρήγματα με διεύθυνση Δ-Α

Τα ρήγματα της ομάδας αυτής, ανάλογα με την διεύθυνση μετάπτωσής τους, διακρίνονται σε δύο υποομάδες. Στην πρώτη ανήκουν αυτά που εντοπίζονται στην επιφάνεια επιπέδωσης 1000-1200 μ. του κεντρικού Μενοικίου με **μετάπτωση Β-ΒΔ** και τέμνουν μεταμορφωμένα πετρώματα. Επειδή η συγκεκριμένη διεύθυνση είναι αντίθετη προς την μορφολογική κλίση των τμηθέντων τμημάτων, κατά μήκος των ρηγμάτων αυτών προκλήθηκε αναστροφή του αναγλύφου. Μπροστά από τις κατοπτρικές τους επιφάνειες και στα σημεία όπου τέμνουν ξηρές καρστικές κοιλάδες σχηματίστηκαν πόλγες κοιλάδων των οποίων οι διαστάσεις είναι ανάλογες των προϋπαρχόντων κοιλάδων (βλ. **Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 5**). Σύμφωνα με τον Βαβλιάκη (1981) και Βαβλιάκη κ.α. (1982) τα ρήγματα αυτά τέμνουν την επιφάνεια επιπέδωσης 1000-1200 μ. και είναι πιθανόν Κάτω –Μέσο Πλειστοκαινικής ηλικίας και στην βάση των κατόπτρων τους σχηματίστηκαν πλευρικά κορρήματα σημαντικού πάχους. Το πάχος αυτό δεν δικαιολογείται με τις σημερινές κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Συνεπώς οι κατοπτρικές επιφάνειες των ρηγμάτων πρέπει να υπέστησαν την επίδραση των έντονων κρυογενετικών φαινομένων τουλάχιστον της τελευταίας παγετώδους περιόδου του Wurm. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η αρχική δράση των ρηγμάτων αυτών μπορεί να τοποθετηθεί μεταξύ Ανωτέρου Πλειοκαίνου-Ανωτέρου Πλειστοκαίνου.

Στην δεύτερη υποομάδα ανήκουν τα ρήγματα του ΝΔ και ΝΑ Μενοικίου με **Ν-ΝΑ μετάπτωση**. Τα ρήγματα Β-ΒΔ του Αγίου Πνεύματος χαρακτηρίζονται εκτός από την Ν μετάπτωσή τους και από μια περιστροφή ως προς τον άξονα του ρήγματος, με αποτέλεσμα την ανασήκωση του τμήματος που υπέστη την μετάπτωση και την τοπική αλλαγή της μορφολογικής κλίσης (Σχ. 6).



Σχ. 6. Σχηματική γεωλογική τομή που απεικονίζει την αναστροφή του αναγλύφου σε μια θέση του ρήγματος στο χωριό Αγ. Πνεύμα. Επισημαίνεται ακόμη η θέση της ασύμμετρης τεκτονικής κοιλάδας που οφείλεται στην δράση του ρήγματος κάθετα στην κλίση του αναγλύφου (Βαβλιάκης & Μουντράκης 1984).

Αυτή η αλλαγή της μορφολογικής κλίσης δημιούργησε τις προϋποθέσεις σχηματισμού μικρών περιοδικών λιμνών και καταρρακτών στα σημεία τομής των ρηγμάτων και των προϋπαρχόντων κοιλάδων. Σήμερα η μεταβολή της μορφολογικής κλίσης κατά μήκος των κοιλάδων δεν είναι εμφανής εξαιτίας της διάβρωσης, είναι όμως χαρακτηριστική κατά μήκος των τμηθέντων ράχων.

Τα ρήγματα του Αγίου Πνεύματος τέμνουν πλειστοκαινικά ιζήματα (Ξυδάς-Σταϊκόπουλος 1986) συνεπώς η ηλικία τους είναι πλειστοκαινική ή νεότερη.

Τα ρήγματα του ΝΑ Μενοικίου συνδέονται με το σχηματισμό τεκτονικών αναβαθμίδων. Το ρήγμα Μεσορράχης-Λευκοθέας-Κρυοπηγής συνδέεται επιπλέον με την εμφάνιση σε γραμμική διάταξη πηγών που εντοπίζεται στην επαφή νεογενών και τεταρτογενών ιζημάτων. Συνεπώς μια πλειστοκαινική ή νεότερη ηλικία και των ρηγμάτων αυτών είναι πολύ πιθανή.

B.3. ΣΧΕΤΙΚΗ ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Η σχετική χρονολόγηση των νεοτεκτονικών ρηγμάτων που έγινε με στρωματογραφικά αλλά κυρίως με γεωμορφολογικά κριτήρια κατέληξε σε ορισμένες διαπιστώσεις για την εξέλιξη των νεοτεκτονικών παραμορφώσεων στο Μενοίκιο, οι διαπιστώσεις οι οποίες παραθέτονται παρακάτω για να συζητηθούν και στα πλαίσια ενός γενικότερου προβληματισμού σχετικά με το θέμα των διευθύνσεων και της εξέλιξης των νεοτεκτονικών τάσεων στον ευρύτερο χώρο της ΒΑ Ελλάδας (Μακεδονία, Θράκη και Βόρειο Αιγαίο).

Τα μεγάλα κανονικά ρήγματα **BA-NA** διεύθυνσης υπάρχουν βάσιμες ενδείξεις ότι σχηματίστηκαν αρχικά στα πρώτα στάδια της νεοτεκτονικής δράσης του Ελληνικού χώρου, διότι διασχίζουν εγκάρσια την ορεινή μάζα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του Μενοικίου και προκαλούν βαθιές τεκτονικές κοιλάδες και επιπλέον τοποθετούνται παράλληλα στους (b) άξονες των μεγάλων πτυχογόνων δομών της φάσης D2, που δεσπόζουν στην τεκτονική δομή του χώρου της Ροδόπης και επομένως λογικά αντιπροσωπεύουν τα αρχικά νεοτεκτονικά επεισόδια που ακολούθησαν τις προϋπάρχουσες πτυχογόνες τεκτονικές δομές. Αυτή η διαπίστωση ότι τα κανονικά ρήγματα BA-NA διεύθυνσης γενικά στο χώρο της Ροδόπης έχουν αρχική ηλικία σχηματισμού στις αρχές της νεοτεκτονικής εξέλιξης του Ελληνικού χώρου έγινε με τεκτονικά κριτήρια και από τον Λυμπέρη (1984), ο οποίος τα αποδίδει

σε μια πρώτη φάση νεοτεκτονικού εφελκυσμού που έλαβε χώρα στο **Ανώτερο Μειόκαινο- Κάτω Πλειόκαινο (9.8 Myrs) με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (140°)**. Η ίδια διαπίστωση έγινε και με παρατηρήσεις στο γενικό υδρογραφικό δίκτυο της Ροδόπης από τον Ψιλοβίκο (1987).

Παρόλες όμως τις παραπάνω διαπιστώσεις, υπάρχουν οι συγκεκριμένες μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις στο Μενοίκιο, που αναφέρθηκαν προηγούμενα, οι οποίες δείχνουν ότι υπήρξε και κάποια αναμφισβήτητη νεότερη δράση των ίδιων αυτών ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης νεότερη και από τον σχηματισμό των ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρηγμάτων τα οποία φαίνεται να επηρεάζει.

Τα κανονικά ρήγματα **ΒΔ-ΝΑ** διεύθυνσης που παρατηρούνται τόσο στα ανατολικά περιθώρια του ορεινού όγκου του Μενοικίου, όσο και στην νοτιοδυτική του πλευρά αποδεικνύονται με στρωματογραφικά και γεωμορφολογικά κριτήρια ότι έχουν λειτουργήσει στην διάρκεια του Πλειστοκαίνου και ορισμένες φορές μάλιστα μέχρι και το **Άνω Πλειστόκαινο**. Συγκεκριμένα το ρήγμα Αλιστράτης με δράση Πλειοκαινική-Πλειστοκαινική, το ρήγμα Καλλιπόλεως με δράση γενικά τεταρτογενή, τα ρήγματα Καλής Βρύσης και Λευκοθέας με δράση Άνω Πλειστοκαινική. Οι ηλικίες αυτές συμφωνούν με την άποψη ότι τα ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης του ευρύτερου χώρου του Βορείου Αιγαίου οφείλονται στο εφελκυστικό πεδίο των τάσεων της περιόδου Πλειοκαίνου –Πλειστοκαίνου που έλαβε χώρα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (Λυμπέρης 1984).

Επομένως αν δεχθούμε μια ενιαία ηλικία Πλειο-Πλειστοκαινική για όλα τα ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης τότε η νεότερη δράση (επαναδραστηριοποίηση) των ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης που περιγράφηκε παραπάνω θα πρέπει να έλαβε χώρα μετά το Πλειο-Πλειστόκαινο, διαπίστωση όμως που δεν εναρμονίζεται με τις δημοσιευμένες απόψεις για τις διευθύνσεις των εφελκυστικών τάσεων της μετά-Πλειστοκαινικής περιόδου.

Τέλος τα κανονικά ρήγματα γενικής διεύθυνσης Α-Δ που έχουν συνήθως μικρές κλίσεις (συχνά με την μορφή των **listric faults**) και μήκος πολλών χλμ. (ρήγμα Μεσορράχης-Λευκοθέας-Κρυοπηγής κ.α.) που έχουν δράσει στο Πλειστόκαινο αλλά και στο Ολόκαινο, όπως αποδείχθηκε από τις στρωματογραφικές και γεωμορφολογικές παρατηρήσεις, αποτελούν τα νεότερα τεκτονικά επεισόδια στο χώρο του Μενοικίου αφού επηρεάζουν τα προϋπάρχοντα ρήγματα των άλλων διευθύνσεων και οφείλονται βέβαια στο σύγχρονο εφελκυστικό πεδίο των τάσεων του Ελληνικού χώρου, που εκδηλώνεται με γενική διεύθυνση Β-Ν και με το οποίο συνδέεται η σύγχρονη σεισμική δράση στις ταφρολεκάνες Α-Δ διεύθυνσης του Βορειοελλαδικού χώρου (Παπαζάχος & Δελήμπασης 1969, Παπαζάχος & Κομνηνάκης 1976, McKenzie 1978, Μουντράκης κ.α. 1983, Λυμπέρης 1984, Παπαζάχος κ.α. 1984, Ψιλοβίκος 1984, Παυλίδης 1985).

Μια πιθανή εξήγηση για την νεότερη μετα-Πλειστοκαινική δράση των ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης θα μπορούσε βέβαια να δοθεί με την παραδοχή ότι πρόκειται για επαναδραστηριοποίησή τους από τις εφελκυστικές τάσεις Άνω Πλειστοκαινικής-Ολοκαινικής ηλικίας διεύθυνσης Β-Ν, οι οποίες προκάλεσαν τεκτονικές κινήσεις και πάνω στις προϋπάρχουσες τεκτονικές γραμμές της ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Στην άποψη αυτή συνηγορεί και η περίπτωση του μεγάλου ρήγματος στο χωριό Άγιο Πνεύμα, το οποίο εμφανίζει δράση στο Άνω Πλειστόκαινο με γενική διεύθυνση Α-Δ αλλά όμως σε ορισμένες θέσεις αποκτά διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (55°) κόβοντας πάντοτε τα πλειστοκαινικά στρώματα (**βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 5, Σχ. 6**).

Ίσως όμως τα φαινόμενα αυτά να μπορούσαν να εξηγηθούν με την διάκριση πιθανόν περισσότερων εφελκυστικών υποφάσεων με διαφορετικές διευθύνσεις των τάσεων στην διάρκεια του Τεταρτογενούς, η διάκριση όμως αυτή είναι φανερό ότι

απαιτεί λεπτομερή τεκτονική ανάλυση σε σαφώς ευρύτερη γεωγραφική κλίμακα. Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι ανάλογα φαινόμενα προσανατολισμού των τάσεων έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες περιοχές του Βορειοελλαδικού χώρου (Παυλίδης & Μουντράκης 1987, Παυλίδης & Κίλιας 1987) όπου εκφράστηκαν διάφορες απόψεις για την θέση των αξόνων του ελλειψοειδούς και τις πιθανές περιστροφές του πεδίου των τάσεων.

Όπως φαίνεται στον **ΧΑΡΤΗ 5 (βλ. Παράρτημα)** αλλά και από όσα αναφέρθηκαν στην περιγραφή των ρηγμάτων συμπεραίνεται ότι το περίπου τριγωνικό μορφοδόμημα του όρους Μενοικίου το οποίο παρουσιάζει γενική διάταξη ΒΔ-ΝΑ με την νοτιοανατολική κορυφή του τριγώνου στην περιοχή Αλυστράτης, καθορίστηκε από μια σειρά ρηγμάτων γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ αλληλοδιασταυρούμενα με μικρές γωνίες. Τα ρήγματα αυτά διαμόρφωσαν το τριγωνικό μορφοδόμημα με δράση Πλειο-Πλειστοκαινική σχεδόν ταυτόχρονα τόσο στα περιθώρια του ορεινού όγκου με την λεκάνη της Δράμας όσο και στα περιθώρια με την λεκάνη των Σερρών.

B.4. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από αυτά που ανφέρθηκαν μέχρι τώρα για την σχέση μεταξύ των νεοτεκτονικών παραμορφώσεων και των μορφολογικών – υδρογραφικών στοιχείων του Μενοικίου προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα γενικότερου ενδιαφέροντος για τις μορφοτεκτονικές συσχετίσεις:

- ✓ Στις περιπτώσεις όπου η δράση των ρηγμάτων συνδέεται με την μονόπλευρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής η ηλικία των ρηγμάτων είναι νεότερη από αυτή των μεγαλύτερων κλάδων που καταλήγουν σε αυτά.
- ✓ Ανάλογα με τη σχέση της μετάπτωσης των ρηγμάτων και της διεύθυνσης της μορφολογικής κλίσης σχηματίζονται, με ορισμένες προϋποθέσεις, μπροστά από τις κατοπτρικές τους επιφάνειες, σύγχρονες επιφανειακές κυρτές ή κοίλες μορφές. Κυρτές μορφές (όπως π.χ. αλλουβιακά ριπίδια), σχηματίζονται στις περιπτώσεις όπου η μετάπτωση συμπίπτει με την διεύθυνση της μορφολογικής κλίσης, ενώ κοίλες (όπως π.χ. πόλγες κοιλάδων) στις περιπτώσεις όπου η μετάπτωση είναι αντίθετη με την μορφολογική κλίση.

Όσον αφορά την νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής του Μενοικίου συμπεραίνονται τα εξής:

- Μεγάλα κανονικά ρήγματα ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης, παράλληλα στους κυρίους άξονες των μεγαπτυχών, που οφείλονται σε ένα πρώτο εφελκυστικό πεδίο ηλικίας Ανώτερου Μειοκαίνου – Κάτω Πλειοκαίνου διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ, προκαλούν το εγκάρσιο τεμαχισμό της ορεινής μάζας και συμπληρώνουν τις δομές της πτυχογόνου τεκτονικής.
- Κανονικά ρήγματα ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης οφειλόμενα σε τάσεις εφελκυσμού διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ προκαλούν στη διάρκεια Πλειοκαίνου – Πλειστοκαίνου μεταπτώσεις στα περιθώρια του ορεινού όγκου του Μενοικίου και διαμορφώνουν σχεδόν οριστικά το μορφοδόμημά του.

- Το νεότερο εφελκυστικό πρδίο των τάσεων (Ανω Πλειοκαίνου μέχρι σήμερα) με γενική διεύθυνση B – N προκαλεί αλληπάλλληλα νέα κανονικά ρήγματα A – Δ διεύθυνσης και μικρής γωνίας κλίσης, κυρίως στη νότια πλευρά του Μενοικίου, αλλά ταυτόχρονα επαναδραστηριοποιούν πιθανόν και τις παλαιότερες τεκτονικές γραμμές BA – NΔ διεύθυνσης.

5. ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή έρευνας είναι σεισμικά ενεργή, όπως άλλωστε γίνεται κατανοητό και από τα παραπάνω. Ο Παπαϊωάννου (1988) κατέταξε τον ελληνικό χώρο σε πέντε κατηγορίες σεισμικής επικινδυνότητας με βάση την επίδραση των επιφανειακών σεισμών. Η περιοχή της Δράμας κατατάχτηκε στην κατηγορία III. Δηλαδή για 10,50,100 χρόνια μέση περίοδο επανάλληψης αναμένεται στην περιοχή μακροσεισμική ένταση 6, 6.8 και 7 της κλίμακας MM αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τους Παπαζάχο & Κομνηνάκη (1982) δύο μεγάλοι σεισμοί του δεκάτου αιώνα έπληξαν την περιοχή έρευνας. Συγκεκριμένα ο μεγαλύτερος έπληξε την περιοχή στις 05/05/1829 με μέγεθος 7.3 και ο άλλος στις 29/03/1867 με μέγεθος 6.3 Richter. Και στις δύο περιπτώσεις η πόλη της Δράμας είχε καταστραφεί. Επίσης, σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς σημειώθηκε ένας ακόμα σεισμός στην Ζίχνη στις 16/01/1839 με μέγεθος 6.1, ο οποίος προκάλεσε αρκετές καταστροφές στην γύρω περιοχή.

Η σεισμική δραστηριότητα συνεχίστηκε στην περιοχή και κατά την διάρκεια του εικοστού αιώνα όπως μας πληροφορούν οι ίδιοι συγγραφείς. Η αναφορά μας στην σεισμική δράση ήταν επιβεβλημένη γιατί οι σεισμοί αυτοί αποτελούν ίσως τον αποφασιστικότερο παράγοντα καταστροφής των συστημάτων Qanat στην περιοχή έρευνας.

6. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

A. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της ευρύτερης **Ολγο-Μειοκαινικής λεκάνης Σερρών-Δράμας**. Το ανατολικό της όριο ταυτίζεται με την υδροκριτική γραμμή των παραπάνω λεκανών.

Το υπόβαθρο της συγκεκριμένης περιοχής, που όπως προαναφέραμε συνίσταται από μάρμαρα και γνευσίους, αποτελεί τμήμα μιας **προ-μεσομειοκαινικής επιφάνειας επιπέδωσης**. Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι το αποκαλυφθέν από τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα τμήμα του υποβάθρου, νότια από την Αλυστράτη, έχει ανάγλυφο ανάλογο με αυτό των επιφανειών επιπέδωσης των υψηλότερων ζωνών του Μενοικίου και Παγγαίου (Βαβλιάκης 1981, Βαβλιάκης κ.α. 1986).

Όπως φαίνεται και στο **ΧΑΡΤΗ 2 του Παραρτήματος**, στα ψηλότερα τμήματα της περιοχής έρευνας, που βρίσκονται στους πρόποδες Παγγαίου και Μενοικίου έχουν σχηματιστεί στα μεν μεταμορφωμένα πετρώματα Pediment, στα δε νεογενή και κάτω πλειστοκαινικά ιζήματα Glacis. Τμήματα Glacis φτάνουν μέχρι και την κοιλάδα του Νεοαγγίτη.

Οι κατακόρυφες κινήσεις και η ρηξιγενής τεκτονική που έλαβαν χώρα κατά το Τεταρτογενές, ευνόησαν την κατά βάθος διάβρωση και τον σχηματισμό κοιλάδων με γενική διεύθυνση B-N. Η κοιλαδογένεση αυτή είχε σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό της έκτασης των Pediment και Glacis.

Οι κοιλάδες, που οι λεκάνες απορροής τους περιορίζονται στο χώρο των ιζημάτων, είναι σήμερα κατά κανόνα ξηρές με χαρακτηριστικό U σχήμα, που υποδηλώνει ότι πριν την αδρανοποίησή τους είχαν φθάσει στο στάδιο ωριμότητας. Το γεγονός όμως ότι, οι κοιλάδες αυτές σχηματίστηκαν κατά το Πλειστόκαινο μας υποχρεώνει να δεχτούμε ότι κατά την διάρκεια του σχηματισμού τους βρίσκονταν κοντά στο τότε βασικό επίπεδο που το αποτελούσε ο Παλαιοαγγίτης (Βαβλιάκης κ.α. 1986).

Οι ξηρές κοιλάδες εντοπίζονται κυρίως εκεί όπου αυτές τέμνουν πλειστοκαινικά ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή. Τα τελευταία είναι έντονα τεκτονισμένα εξαιτίας της νεοτεκτονικής δράσης στην περιοχή, με αποτέλεσμα σήμερα η κατείδρυση του νερού να είναι μεγάλη και η επιφανειακή απορροή σχεδόν ανύπαρκτη. Δηλαδή τα τεκτονισμένα κροκαλολατυποπαγή συμπεριφέρονται, από άποψη υδρογραφίας, όπως και τα τεκτονισμένα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες).

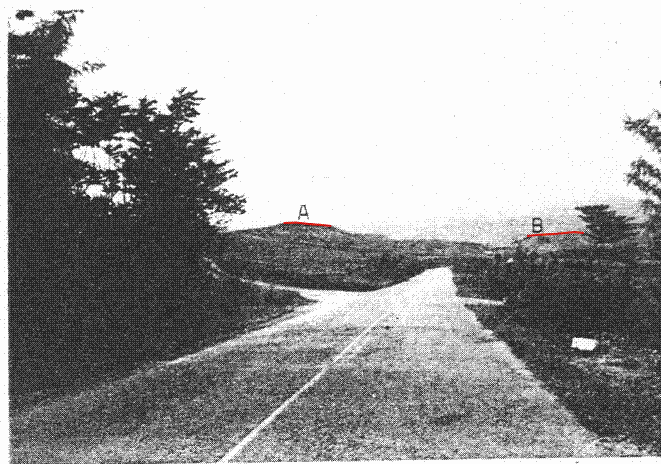
Κατά μήκος πολλών ξηρών κοιλάδων, εξαιτίας της ανανέωσης των φαινομένων διάβρωσης, διακρίνεται ένα ζεύγος ολοκαινικών αναβαθμίδων. Για την δημιουργία των τελευταίων εκτός από τους φυσικούς παράγοντες συνεπέδρασε έμμεσα και ο παράγοντας άνθρωπος με την αποξήρανση της λίμνης Αχινού και την διευθέτηση των κοιτών των ποταμών Αγγίτη και Στρυμόνα.

Στις κοιλάδες που οι λεκάνες απορροής τους εκτείνονται στις υψηλές ζώνες του Μενιοκίου και Παγγαίου, έχουν σχηματιστεί στον κάτω ρου τους μέχρι τώρα τρία ζεύγη αναβαθμίδων.

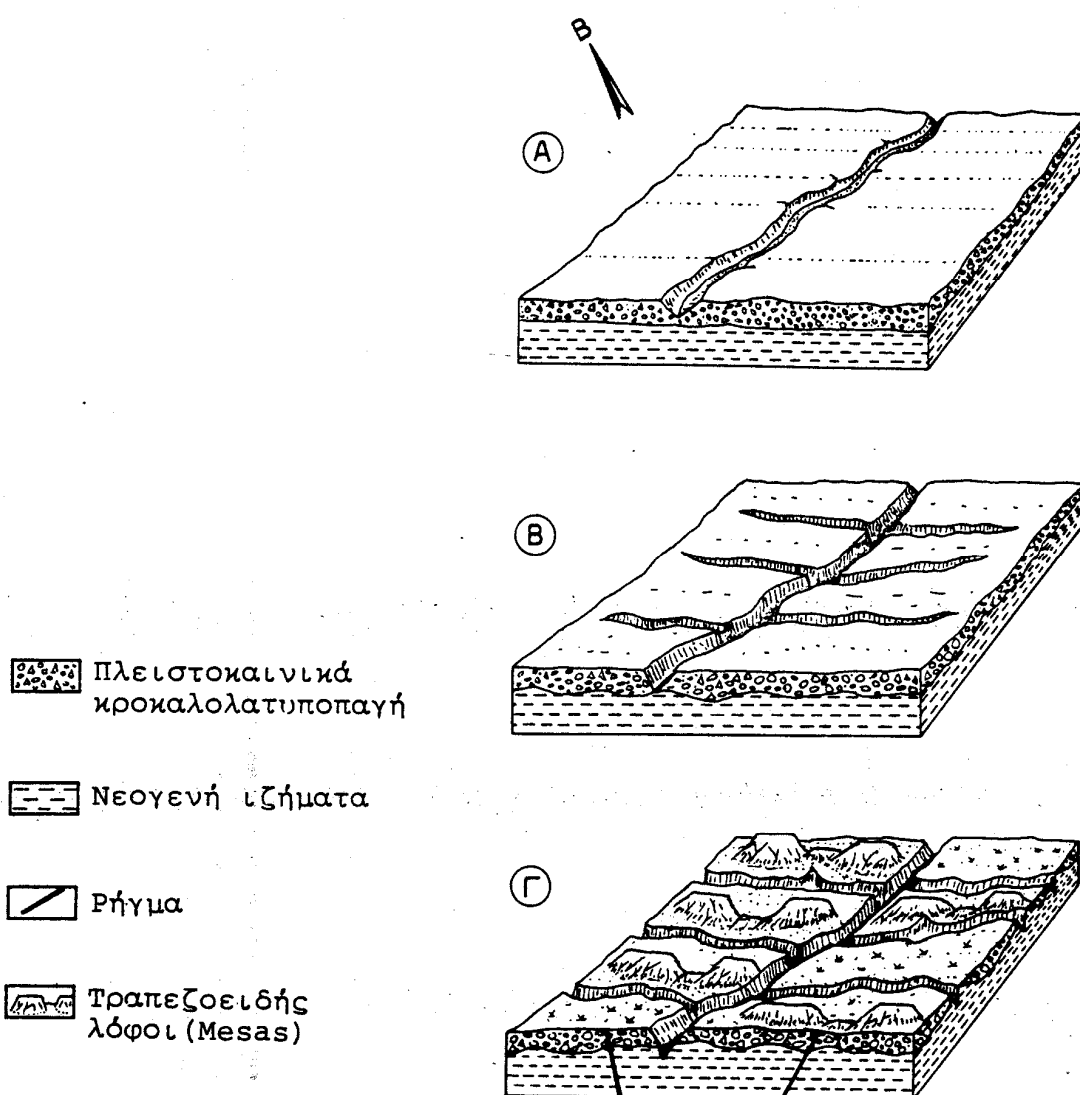
Από τους Βαβλιάκη κ.α. (1986) στην κοιλάδα του Αγγίτη διαπιστώθηκαν κατά θέσεις 3 ή και 4 αναβαθμίδες που σχηματίστηκαν κατά το Τεταρτογενές. Οι παραπάνω αναβαθμίδες εντοπίζονται είτε στο χώρο μιας παλαιότερης κοιλάδας (του Παλαιοαγγίτη) είτε στο χώρο της σύγχρονης κοιλάδας (δηλαδή του Νεοαγγίτη).

Στο χώρο κυρίως της τελευταίας κοιλάδας εντοπίστηκαν τραπεζοειδείς λόφοι (Mesas, Tafel). Από γεωμορφολογική άποψη οι επίπεδες κορυφές των τραπεζοειδών λόφων είναι τμήματα μεγάλων άλλοτε επιφανειών διάβρωσης που αντιστοιχούσαν στην οριζόντια στρώση των πετρωμάτων. Στην περιοχή έρευνας οι άλλοτε επιφάνειες διάβρωσης βόρεια και νότια από τον Αγγίτη αντιστοιχούσαν σε Glacis, που σχηματίστηκαν κατά την περίοδο του Ανωτέρου Πλειοκαίνου-Κατωτέρου Πλειστοκαίνου σε νεογενή και κατωπλειστοκαινικά ιζήματα (Βαβλιάκης 1981).

Ταυτόχρονα με την έναρξη σχηματισμού της κοιλάδας του Παλαιοαγγίτη, άρχισε και η κατά βάθος διάβρωση των επιφανειών Glacis και ο περιορισμός της έκτασής τους εξαιτίας του σχηματισμού κοιλάδων με διεύθυνση περίπου Β-Ν (Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 2, Σχ. 7). Στην συνέχεια τεταρτογενή ρήγματα με διεύθυνση περίπου Α-Δ έτμησαν την περιοχή και οι κατά θέσεις μεταπτώσεις τους οδήγησαν στην ανύψωση και βύθιση τμημάτων. Τα ανυψωθέντα τμήματα των ράχων της περιοχής αποτελούν τις κορυφές των σημερινών τραπεζοειδών λόφων (Σχ. 7, Φωτ. 2).



Φωτ. 2. Τραπεζοειδής λόφος (Mesas) στην θέση Α και ο κωνικού σχήματος λόφος που δημιουργήθηκε κατά την προϊστορική και ιστορική περίοδο από τον άνθρωπο στη θέση Β (Βαβλιάκης 1989).



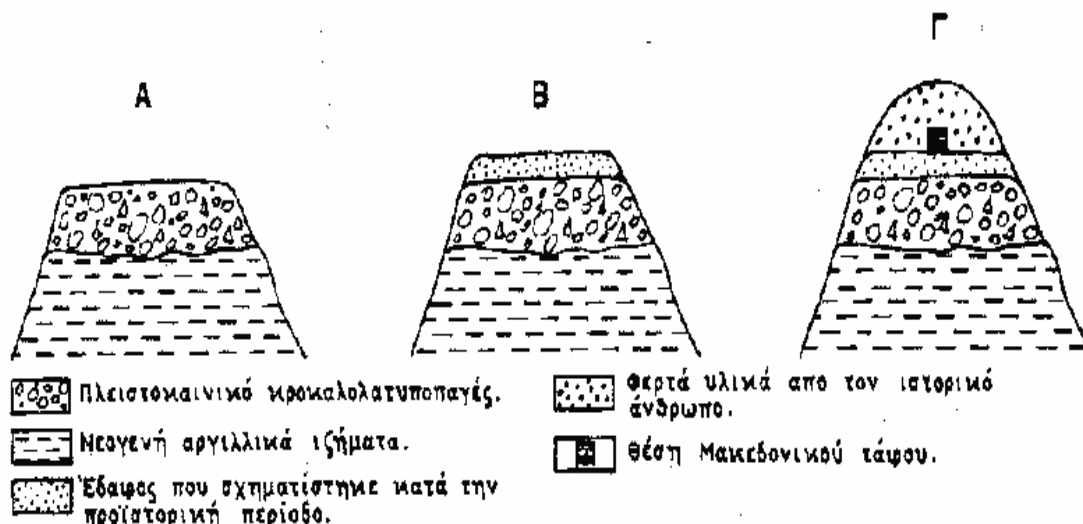
Σχ. 7. Παράσταση των προϋποθέσεων σχηματισμού τραπεζοειδών λόφων (Βαβλιάκης 1989).

Α. Επιφάνειες Glacis εκατέρωθεν του ποταμού Αγγίτη.

Β. Κατάτμηση των παραπάνω επιφανειών εξαιτίας του σχηματισμού κοιλάδων με διεύθυνση κυρίως Β-Ν.

Γ. Ρήγματα Α-Δ προκάλεσαν μετακινήσεις τμημάτων των μεταξύ των κοιλάδων ράχων.

Ορισμένοι τραπεζοειδείς λόφοι της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν για την ίδρυση προϊστορικών και ιστορικών οικισμών. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί ο ανθρωπογενής κωνικού σχήματος λόφος νότια από το χωριό Σ.Σ. Αγγίστας (Φωτ. 2). Στον αρχικά τραπεζοειδή λόφο εγκαταστάθηκε ο προϊστορικός άνθρωπος (Κουκούλη & Χρυσανθάκη 1980), επειδή αφενός μεν η επίπεδη κορυφή προσφερόταν για την ίδρυση οικισμού, αφετέρου δε οι απότομες κλιτύες του λόφου προσέφεραν σε αυτόν αμυντικά πλεονεκτήματα. Ότι στην συνέχεια εγκαταστάθηκε στην ίδια περιοχή ο ιστορικός άνθρωπος αποδεικνύεται από την ύπαρξη μεγάλου μακεδονικού τάφου. Η τεχνητή επίχωση του τάφου έδωσε στον τραπεζοειδή λόφο κωνική μορφή (Σχ. 8, Φωτ. 2).



Σχ. 8. Σχηματική εξέλιξη ενός τραπεζοειδούς λόφου σε ένα κωνικού σχήματος ανθρωπογενή λόφο (Βαβλιάκης 1989).

Α. Πριν από την εγκατάσταση του ανθρώπου.

Β. Κατά την προϊστορική περίοδο.

Γ. Κατά την ιστορική περίοδο.

Η επικρατέστερη μορφή του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης είναι η παράλληλη (Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 3). Η διεύθυνση των μεγαλύτερης τάξης κλάδων του δικτύου, στο χώρο των ιζημάτων είναι κατά κανόνα Β-N και ΒΔ-ΝΑ, που συμπίπτει με την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης των επιφανειών των λεκανών απορροής τους σε σχέση με την θέση του Αγγίτη, που αποτελεί το τοπικό επίπεδο διάβρωσης της περιοχής. Διευθύνσεις των κυρίων κλάδων που δεν δικαιολογούνται από την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης της περιοχής που σχηματίζονται, σύμφωνα με τους Βαβλιάκη κ.α. (1988), πρέπει να καθορίστηκαν από την δράση νεοτεκτονικών ρηγματών με αντίστοιχες διευθύνσεις. Η ροή του νερού που εμφανίζεται κατά μήκος της μεγαλύτερης τάξης κλάδων είναι κατά κανόνα εποχιακή.

Αυτός ο τρόπος ροής οφείλεται τόσο στην πετρογραφική σύσταση, όσο και στις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Συγκεκριμένα στα τεκτονισμένα μάρμαρα του Μενοικίου και Παγγαίου και στα κροκαλολατυποπαγή των προπόδων τους η κατείσδυση του νερού είναι μεγάλη και η επιφανειακή απορροή εμφανίζεται μόνο κατά την χειμερινή περίοδο (περίοδος βροχοπτώσεων).

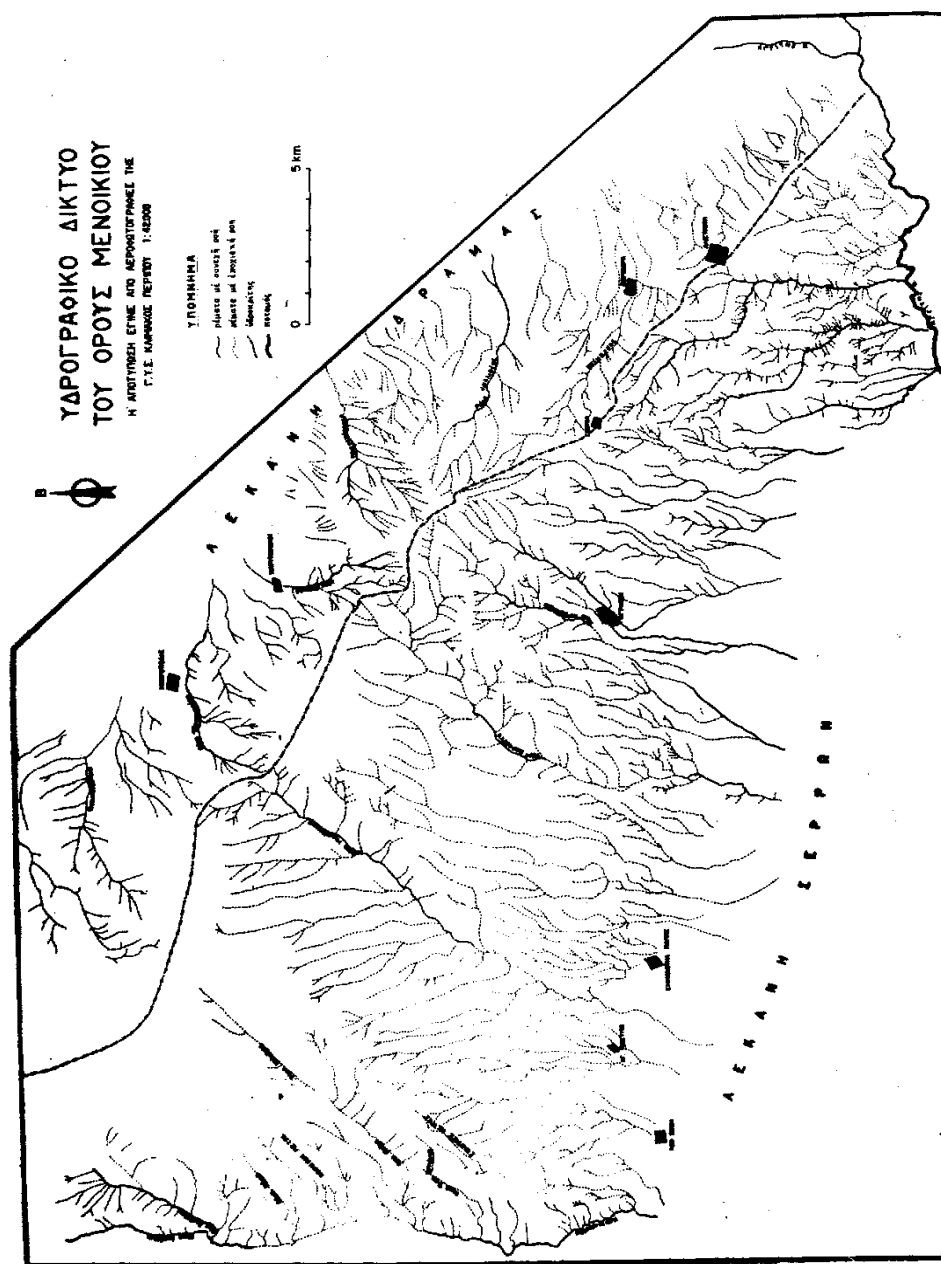
Η συχνότητα και η παροχή των φυσικών πηγών νερού της περιοχής είναι σχετικά μικρή. Αντίθετα η συχνότητα βρυσών στους οικισμούς των κοινοτήτων είναι μεγάλη

και από τους Kern & Βαβλιάκη (1989) προσδιορίστηκε μια συνάρτηση του αριθμού των βρυσών και του αριθμού των κατοίκων των κοινοτήτων της περιοχής.

Για τον μεγάλο αριθμό και μεγάλης παροχής βρυσών των οικισμών και για την εμφάνιση συνεχούς ροής νερού κατά μήκος κοιλάδων, που δεν δικαιολογείται από την πετρογραφική σύσταση θα επανέλθουμε στην συνέχεια κατά την εξέταση των συστημάτων Qanat.

Β. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Επειδή ο εντοπισμός ασβεστολιθικών πετρωμάτων σε μια περιοχή, μπορεί να γίνει και από την μελέτη της μορφής που παρουσιάζει το Υ.Δ. το οποίο την διαρρέει, αποτυπώθηκε με την βοήθεια α/φιών και τοπογραφικών χαρτών, όσο και υπαίθριων παρατηρήσεων, το Υ.Δ. του Μενοικίου (Σχ. 9).



Σχ.9. Υδρογραφικό δίκτυο του όρους Μενοικίου (Βαβλιάκης 1981).

Η μορφή και η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου καθώς και η διαμόρφωση του επιφανειακού ανάγλυφου μιας περιοχής, είναι συνάρτηση της πετρογραφικής

σύστασης, της τεκτονικής, της μορφολογίας και του κλίματος που την χαρακτηρίζουν.

Επομένως η μελέτη που σχετίζεται με την υδρογραφία και το επιφανειακό ανάγλυφο, οδηγεί σε συμπεράσματα σχετικά με την παλαιογεωγραφία της περιοχής που μελετάμε κάθε φορά. Στην περιοχή του Μενοικίου, διακρίνουμε ένα αδρανές και ένα ενεργό υδρογραφικό δίκτυο.

B.1. ΑΔΡΑΝΕΣ Υ.Δ.

Αναπτύσσεται στο Β και ΒΔ Μενοίκιο, καθώς και στο κεντρικό Μενοίκιο (περιοχή Καλλιπόλεως), όπου από άποψη πετρωμάτων επικρατούν μάρμαρα. Χαρακτηρίζεται αδρανές, διότι στις περιοχές που αναπτύσσεται παρότι υπάρχουν μεγάλες καρστικές κοιλάδες, δεν εμφανίζεται επιφανειακή απορροή, ακόμα και μετά από καταρρακτώδεις βροχές. Οι ξηρές αυτές καρστικές κοιλάδες, έχουν παράλληλη διάταξη με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και οι πυθμένες τους έχουν διαμορφωθεί από τον σχηματισμό δολινών, ουβαλών ή πολγών.

Επειδή το (αδρανές) Υ.Δ. αναπτύσσεται αποκλειστικά σε παλιές επιφάνειες επιπέδωσης και συγκεκριμένα στις επιφάνειες 1800-1963μ., 1450-1650μ. και σε τμήματα της επιφάνειας 1000-1200μ. και οι κοιλάδες είναι σύγχρονες με τις επιφάνειες επιπέδωσης, θα πρέπει να δεχτούμε ότι κατά τις περιόδους σχηματισμού των παραπάνω επιφανειών, στην περιοχή του Μενοικίου είχαμε έντονη επιφανειακή καρστική διάβρωση και ενεργό Υ.Δ.. Έντονη όμως επιφανειακή καρστική διάβρωση, προϋποθέτει ένα κλίμα θερμό και υγρό, σύμφωνα με τους Davis (1912), Budel (1957) και Louis (1968). Σημειώνονται πάντως αρκετές μαρτυρίες για ένα θερμό και υγρό κλίμα στην διάρκεια Μειοκαίνου-Μέσου Πλειοκαίνου στην εξεταζόμενη περιοχή (Βαβλιάκης 1981).

Οι έντονες ανυψωτικές κινήσεις κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο-Κατώτερο Πλειστόκαινο (Osswald 1938, De Boer 1970), η δημιουργία νέων ρηγμάτων και κατακλάσεων, η πτώση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και η μεταβολή του κλίματος στην περίοδο αυτή συνετέλεσαν στην αδρανοποίηση του ενεργού, κατά το Μειόκαινο και Πλειόκαινο, υδρογραφικού δικτύου.

B.2. Η ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ Υ.Δ.

Η μορφή αυτού στο Μενοίκιο είναι σύνθετη. Η παράλληλη μορφή όμως είναι η επικρατέστερη, σε σχέση με την ορθογώνια και δενδριτική μορφή. Συγκεκριμένα διακρίνεται μια παράλληλη διάταξη των ρεμάτων των συγκλινικών κοιλάδων Μαύρης Στάνης, Μακρυλάκκου, Μεταλλείου και των αντικλινικών κοιλάδων Σιδηρορέματος και Χατζηπάσχου με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Την χαρακτηριστικότερη όμως παράλληλη μορφή, αναπτύσσει το δυτικό Υ.Δ. της λεκάνης του Μακρυλάκκου. Τα πετρώματα εδώ είναι εναλλαγές μαρμάρων- γνευσίων με μεγάλη κλίση, γεγονός που δικαιολογεί την παράλληλη διάταξη των ρευμάτων. Η διεύθυνσή τους είναι **B-N** και η τροφοδοσία τους, εκτός από το νερό της βροχής και το χιόνι που λιώνει, εμπλουτίζεται και από το νερό των πηγών, οι οποίες στο τμήμα αυτό του Μενοικίου, δείχνουν μεγαλύτερη συχνότητα σε σχέση με άλλες περιοχές του.

Επίσης παράλληλη διάταξη έχουν όλοι οι μεγάλοι κλάδοι του Υ.Δ. του νότιου Μενοικίου, που κατευθύνονται προς την λεκάνη των Σερρών.

Ένα άλλο ακόμη γνώρισμα του ενεργού Υ.Δ. είναι η χαρακτηριστική κάμψη πολλών κλάδων. Συγκεκριμένα, στο ΒΑ Μενοίκιο και από Βορρά προς Νότο, τα παρακάτω ρέματα χαρακτηρίζονται από κάμψεις:

- 1) Τα ρέματα Ανοιχτόρεμα και Υδραγωγείου.
- 2) Το ρέμα Πισικλή.
- 3) Τα ρέματα Καλλιθέας και ο χείμαρρος Περιχώρας.

Οι κάμψεις των παραπάνω ρεμάτων, κατά την γνώμη μας, θα πρέπει να οφείλονται σε τεκτονικά γεγονότα του **Ανώτερου Πλειοκαίνου και Πλειστοκαίνου**, που συνέβησαν στο ΒΑ περιθώριο του Μενοικίου. Συγκεκριμένα, η διεύρυνση της λεκάνης της Δράμας κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο και Κατώτερο Πλειστόκαινο, θα πρέπει να έγινε η αιτία αλλαγής της διεύθυνσης ροής των ρεμάτων του ΒΑ Μενοικίου.

Στο δυτικό Μενοίκιο χαρακτηριστικές κάμψεις δείχνουν από **Βορρά προς Νότο** τα εξής ρέματα:

- 1) Ρέμα Χανιά
- 2) Ρέματα Κόκκινης Πέτρας
- 3) Μαύρο �έμα
- 4) Ρέμα της Άνω Λεκάνης
- 5) Ρέμα της περιοχής Σταχτιές Πέτρες

Όλα τα παραπάνω ρέματα, ενώ αρχίζουν με μια διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ στις ομαλότερες επιφάνειες του Μενοικίου, κάμπτονται σχεδόν με ορθή γωνία, στα τμήματα εκείνα, όπου το ανάγλυφο μεταβάλλεται απότομα προς ΒΔ ή Δ, προκειμένου να ενωθούν με το Β-Ν διεύθυνσης ρέμα του Τιμίου Προδρόμου.

Επειδή η κοιλάδα του Τιμίου Προδρόμου τέμνει τις ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης κοιλάδες του δυτικού Μενοικίου, πρέπει να είναι νεώτερη από αυτές. Η κοιλάδα αυτή, επειδή προς τα νότια τέμνει ιζήματα Πλειοκαινικά (Παρασκευαΐδης 1952, Freyberg 1951), θα πρέπει να έχει νεώτερη από τα ιζήματα αυτά ηλικία. Για μια νέα ηλικία της κοιλάδας αυτής συνηγορούν και οι σχεδόν κατακόρυφες πλευρές της. Η δημιουργία του ρέματος αυτού πιθανόν να ευνοήθηκε από ρήγματα Β-Ν διεύθυνσης του Τεταρτογενούς (Παρασκευαΐδης 1952). Στα Νεογενή και Τεταρτογενή χαλαρά ιζήματα στους πρόποδες του Μενοικίου και στις λεκάνες Σερρών –Δράμας, παρατηρείται χαρακτηριστική αυλακοειδής (**rill erosion**) και χαραδρωτική διάβρωση (**gully erosion**).

Συγκεκριμένα στις κλιτύς των βαθιών κοιλάδων που διατρέχουν χαλαρά ιζήματα, παρατηρείται ανάπτυξη πολλών αυλακώσεων σε περιορισμένο μήκος και βάθος. Αντίθετα, όπου τα ιζήματα αυτά είναι πιο συνεκτικά, δεν παρατηρούνται στις κλιτύς των κοιλάδων τέτοιες αυλακώσεις.

Με βάση την διαφορά αυτή στην διάβρωση χαλαρών και συνεκτικών υλικών, μπορεί να γίνει διάκριση μακροσκοπικά, τόσο στο ύπαιθρο όσο και στις α/φίες, ανάμεσα στα ιζήματα αυτά και στα κρυσταλλικά πετρώματα του Μενοικίου.

Β 3. ΙΔΙΟΡΡΥΘΜΙΕΣ ΣΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΡΟΗΣ

Ορισμένα ρέματα του ενεργού δικτύου, δεν παρουσιάζουν τον ίδιο τρόπο ροής σε όλο το μήκος της διαδρομής τους. Το ρέμα του **Τιμίου Προδρόμου**, εισέρχεται στην περιοχή των μαρμάρων του Μενοικίου με συνεχή ροή, την οποία διατηρεί σε μήκος 1,5 χλμ. νότια από την τοποθεσία 'Διαβόλου Γέφυρα'. Στην συνέχεια η ροή γίνεται

εποχιακή, γιατί το νερό διαφεύγει υπόγεια μέσα στα μάρμαρα. Η μεταβολή αυτής της ροής γίνεται στο σημείο όπου ένα ρήγμα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης (Osswald 1938), τέμνει το υπόβαθρο στην κοιλάδα του Τιμίου Προδρόμου. Η υπόγεια ροή του νερού συνεχίζεται κατά μήκος της κοιλάδας μέχρι να συναντήσει την γρανιτική μάζα του Ελαιώνα, όπου εμφανίζεται πάλι στην επιφάνεια συνεχή ροή.

Το ρέμα της κοιλάδας του Μακρυλάκκου, χάνει επίσης την συνεχή επιφανειακή ροή του, στο σημείο όπου τέμνεται από το νοτιότερο ρήγμα της περιοχής Καλλιπόλεως, στο ύψος των ερειπίων Μπούχλιανης.

Το ρέμα **Χατζηπάσχου**, ενώ έχει συνεχή ροή κατά την διαδρομή του μέσα από γνευσιακά πετρώματα, μόλις εισέλθει στα μάρμαρα ΒΔ της Αγριανής, αποκτά εποχιακή ροή, για να επανεμφανίσει συνεχή ροή με την έξοδό του από την περιοχή των μαρμάρων.

Τέλος από την υδροκριτική γραμμή μεταξύ των λεκανών απορροής Σερρών-Δράμας, έχουμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

Επειδή η υδροκριτική γραμμή μεταξύ των παραπάνω λεκανών βρίσκεται πολύ πλησιέστερα προς την λεκάνη της Δράμας και επειδή ως γνωστόν η διάβρωση του ρέοντος ύδατος προχωρεί από τα χαμηλότερα σημεία προς τα ψηλότερα, θα πρέπει, η μικρότερη σε μήκος ανάπτυξη των ρεμάτων της λεκάνης της Δράμας προς το Μενοίκιο και η σημερινή θέση της Υ.Γ., να είναι το αποτέλεσμα του διαφορετικού χρόνου σχηματισμού των δύο λεκανών. Συγκεκριμένα, η λεκάνη της Δράμας, θα πρέπει να δημιουργήθηκε μετά από την λεκάνη των Σερρών.

Η διαπίστωση μας αυτή, ενισχύει την μέχρι τώρα χρονολογική σχέση των δύο λεκανών που διαπιστώθηκε από τους Osswald (1938) και De Boer (1970), με βάση τα γεωλογικά και τεκτονικά δεδομένα τους.

Όπως λοιπόν προκύπτει από τα παραπάνω, η ροή του ενεργού σήμερα Υ.Δ. του Μενοικίου, επηρεάζεται από δύο βασικούς παράγοντες:

- I. Από την πετρολογική σύσταση και ιδιαίτερα από τις εναλλαγές μαρμάρων-γνευσίων-γρανιτών.
- II. Από την τεκτονική δομή των ρηγμάτων, όπως διαμορφώθηκε αυτή μέχρι σήμερα.

Μια περισσότερο λεπτομερής μελέτη του Υ.Δ. του Μενοικίου σε συνδυασμό και με τις γύρω περιοχές, θα οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την Παλαιογεωγραφία, στο χώρο της ανατολικής Μακεδονίας.

Γ. ΠΑΛΙΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ (PENEPLAIN, PEDIMENT, GLACIS)

Γ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Επιφάνειες Rumpffflache (επιπέδωσης) κατά τον Neef (1970) & Budel (1970), είναι κυματοειδείς έως περίπου επίπεδες επιφάνειες, οι οποίες αντικατοπτρίζουν είτε το αποτέλεσμα της απογύμνωσης σε άλλοτε ορεινές περιοχές, είτε εξερχόμενα από την θάλασσα τμήματα, με ευστατικές, ηπειρογενετικές ή ορογενετικές κινήσεις, που υφίστανται την επίδραση της διάβρωσης. Στην δεύτερη περίπτωση δηλαδή, η ανύψωση και η διάβρωση γίνονται ταυτόχρονα.

Ο W.M. Davis (1912) χαρακτηρίζει τις παραπάνω επιφάνειες ως Peneplain (περίπου επίπεδες δηλαδή) και τις εξηγεί στην θεωρία του περί του κύκλου εξέλιξης, σαν το τελικό αποτέλεσμα της απογύμνωσης. Σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή,

παίρνοντας υπόψη μας την κλιματική εξάρτηση της μορφοδυναμικής, ο σχηματισμός των επιφανειών επιπέδωσης εξηγείται κυρίως με την δράση της αποσάθρωσης και απογύμνωσης σε υποτροπικά κλίματα, με εναλλαγές υγρών και ξηρών περιόδων κατά την διάρκεια του έτους.

Ο Budel (1957) αποδίδει την έντονη επιφανειακή απογύμνωση και τον σχηματισμό τέτοιων επιφανειών στις τροπικές περιοχές, στην έντονη χημική αποσάθρωση.

Ο Louis (1968) δέχεται ότι οι επιφάνειες επιπέδωσης εκτός τροπικής ζώνης και μάλιστα σε ορεινές περιοχές, είναι παλιές μορφές, που σήμερα διαμορφώνονται και καταστρέφονται και ότι χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι η παρουσία ξηρών αβαθών κοιλάδων.

Δέχεται επίσης ότι στην δυτική και κεντρική Ευρώπη έχουν σχηματιστεί τέτοιες επιφάνειες, με κλιματικές συνθήκες όμοιες με αυτές που επικρατούν σήμερα στην τροπική και υποτροπική ζώνη.

Στο συμπέρασμα αυτό οδηγήθηκε από το γεγονός ότι σε πολλές θέσεις τέτοιων επιφανειών έχουν βρεθεί **παλαιοεδάφη** (Paleosols) τα οποία στο χρώμα (κόκκινο έως λευκό) και στην σημαντική περιεκτικότητα καολίνη μοιάζουν με τα σημερινά τροπικά εδάφη. Οι Baker & Levelt (1964), κατά τον ίδιο συγγραφέα, δέχονται ότι τα παλαιοεδάφη αυτών των επιφανειών, είναι όμοια με αυτά των γύρω από την τροπική ζώνη περιοχών.

Από τα παραπάνω πρέπει να δεχτούμε ότι οι επιφάνειες επιπέδωσης στις εκτός τροπικής και υποτροπικής ζώνης σήμερα περιοχές, είναι παλιές και έχουν σχηματιστεί σε κλιματικές συνθήκες υγρότερες και θερμότερες από τις σημερινές. Όμοιες επιφάνειες μπορούν να σχηματιστούν και από Pediment και Glasis, που διαμορφώνονται σήμερα στους πρόποδες ορέων, σε τροπικές περιοχές με ημιορεινό κλίμα.

Pediment, είναι μορφές διάβρωσης σε συμπαγή πετρώματα στην βάση ορέων ή οροσειρών (Mensching 1968, 1970, 1973). Τα Pediment καλύπτονται κυρίως από ποτάμια ιζήματα σε διάφορο πάχος. Η περιοδική ή η επεισοδιακή απορροή των Pediment στους πρόποδες ορέων ξηρών περιοχών, έχει σαν αποτέλεσμα με τον μεγάλο αριθμό ρεμάτων απορροής, μια έντονη επιφανειακή απογύμνωση την οποία ο Wissman (1951) χαρακτηρίζει σαν πλευρική διάβρωση. Αυτή η μορφοδυναμική διεργασία είναι ένα είδος της επιφανειακής απόπλυσης που οδηγεί στην διαμόρφωση των Pediment.

Για να αποφεύγεται η σύγχυση μεταξύ των όρων Glasis και Pediment, προτάθηκε από τον Mensching (1973) ο όρος **Glasis** να χρησιμοποιείται για εκείνες τις επιφάνειες στους πρόποδες των ορέων, που έχουν αναπτυχθεί σε ιζηματογενή πετρώματα μικρού βαθμού διαγένεσης. Τα ιζήματα αυτά είναι συνήθως Νεογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας. Στις οροσειρές που προέκυψαν από την αλπική ορογένεση, και οι οποίες βρίσκονται σε ζώνη με ημιορεινικές κλιματικές συνθήκες, οι επιφάνειες Glasis έχουν μεγάλη έκταση. Αυτές οι επιφάνειες τέμνονται σήμερα από τα ρέματα που εξέρχονται από τα όρη.

Ο Budel (1970) δέχεται ότι ο σχηματισμός Pediment προϋποθέτει φτωχά σε βλάστηση και έδαφος ξηρά κλίματα και αναπτύσσονται στην συνδετική ζώνη μεταξύ των ανυψωμένων και βυθιζόμενων περιοχών.

Ο Werner (1972) πιστεύει ότι ο σχηματισμός και η καταστροφή των επιφανειών Pediment συντελείται ακόμη και με τις ίδιες κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σήμερα.

Ο Stablein (1972) τοποθετεί την ηλικία των υπολειμμάτων Glasis και Pediment στην περιοχή της Καστίλης (Ισπανία) στο Πλειόκαινο ή Βιλλαφράγκιο.

Τα πιο σημαντικά μορφολογικά γνωρίσματα των επιφανειών επιπέδωσης είναι:

- Έχουν υψομετρική ομοιομορφία και ήπιο ανάγλυφο.
- Σχηματίζονται επάνω σε ανθεκτικά και μη ανθεκτικά πετρώματα χωρίς διάκριση.
- Καλύπτονται κατά θέσεις από έναν μανδύα υλικών αποσάθρωσης, όπως ρεγκόλιθου, παλαιοεδάφους, λατεριτικού ή αργιλικού υλικού, σκληρής κρούστας από CaCO_3 ή SiO_2 κ.α.
- Οι ποτάμιες κοιλάδες δείχνουν στοιχεία ωριμότητας και επεξεργασίας από την διάβρωση.
- Μικροί λόφοι, υπολείμματα διάβρωσης του υποβάθρου, προεξέχουν από την επιφάνεια και είναι γνωστοί με τους όρους **monadnocks ή inselbergs**.
- Αρχίζουν και τελειώνουν με απότομες γωνίες στην ανάγλυφη γραμμή **(τοπογραφικά σπασίματα)**.
- Κατά κανόνα είναι ανυψωμένες επιφάνειες που στο εσωτερικό τους διατηρούν τα αρχικά μορφολογικά τους γνωρίσματα, αλλά στα περιθώρια τα γνωρίσματα αυτά έχουν καταστραφεί από την επιφανειακή και ποτάμια διάβρωση **(φαινόμενα ανανέωσης)**.

Οι Ψιλοβίκος Α. & Βαβλιάκης Ε., πιστεύουν ότι για να σχηματιστούν σχεδόν επίπεδα και με ήπιο ανάγλυφο τμήματα στην επιφάνεια της ξηράς, πρέπει να συντρέξουν οι πακάτω παράγοντες:

- Ήπια τεκτονική κατάσταση.
- Ευνοϊκό κλίμα για την αποσάθρωση των πετρωμάτων και την ήπια απογύμνωση της επιφάνειας.
- Χαμηλό ανάγλυφο της περιοχής που πλησιάζει το βασικό επίπεδο.
- Κατά κανόνα διατήρηση των παραγόντων αυτών για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η ανύψωση των επιφανειών επιπέδωσης και η μερική ή ολική καταστροφή τους οφείλονται κατά κύριο λόγο σε τεκτονικά γεγονότα και σε σημαντικές κλιματικές και μορφολογικές μεταβολές που τα ακολουθούν.

Παρά τη συνοπτική παρουσίαση που έγινε μέχρι τώρα και παρά το γεγονός ότι οι επιφάνειες επιπέδωσης αποτελούν ακόμη πρόβλημα για του ερευνητές, ο εντοπισμός και η μελέτη τέτοιων επιφανειών αποτελεί κλειδί για την παλαιογεωγραφία. Αυτό συμβαίνει γιατί οι επιφάνειες επιπέδωσης παρέχουν παλαιά τεκτονικά, κλιματικά, γεωμορφολογικά και μορφογενετικά στοιχεία απόλυτα στην γεωλογική έρευνα.

Γ.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΣΗΣ

Οι επιφάνειες επιπέδωσης ανήκουν από μορφογενετική άποψη σε δύο κατηγορίες, σύμφωνα με την γενική κατάταξη κατά Adams (1975):

- A. Στις **ανυψωμένες επιφάνειες επιπέδωσης**, που μετά τον σχηματισμό τους μετακινήθηκαν από την ζώνη ενεργού επιπέδωσης λόγω ανυψωτικών κινήσεων που έλαβαν χώρα στην περιοχή έρευνας στην διάρκεια του Νεογενούς-Τεταρτογενούς. Στην κατηγορία αυτή, εκτός από μία, ανήκουν όλες οι επιφάνειες επιπέδωσης της περιοχής έρευνας (Ψιλοβίκος Α. & Βαβλιάκης Ε., 1984).

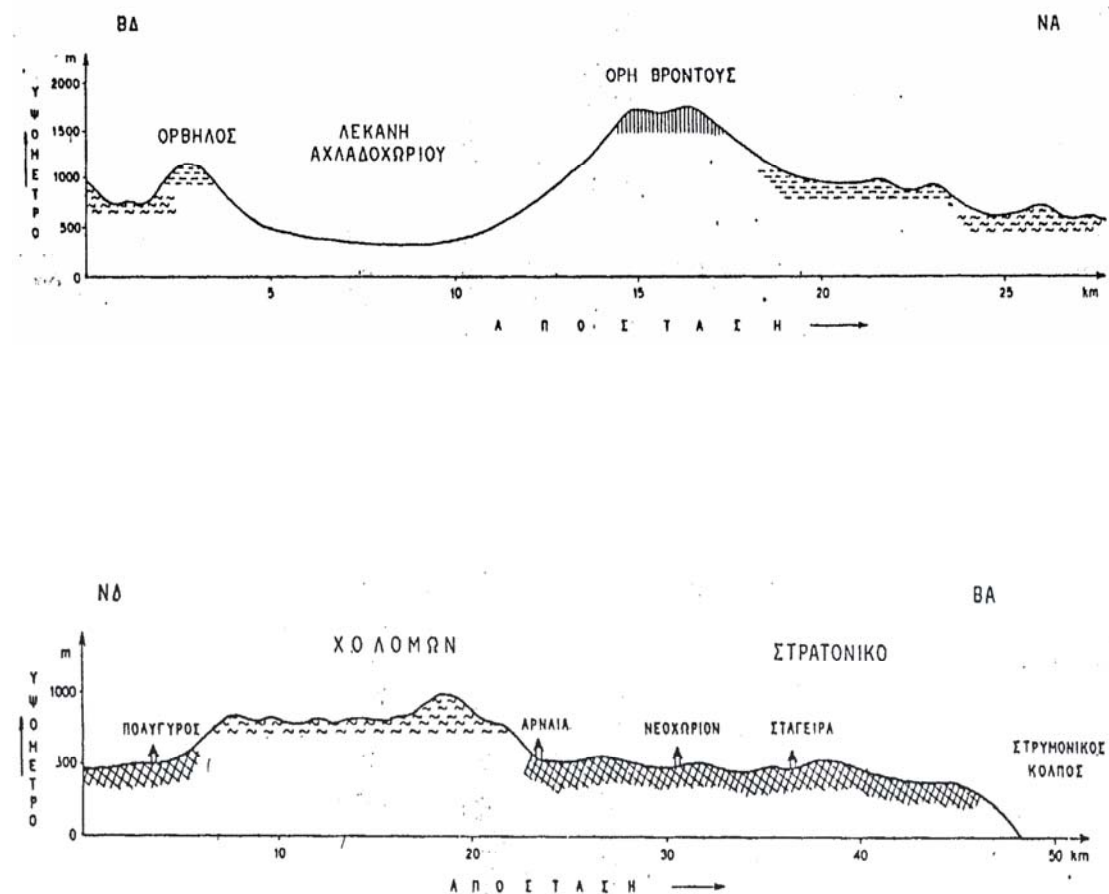
- Β. Στις **αποκαλυμμένες ή απολιθωμένες επιφάνειες επιπέδωσης** (σχ. 10). Στην κατηγορία αυτή ανήκει μια επιφάνεια που μελετήθηκε στα όρια των λεκανών Σερρών- Δράμας. Πρόκειται για την αρχική ενιαία Προ-Ολιγο-μειοκαινική επιφάνεια επιπέδωσης, που σχηματίστηκε πάνω στα μάρμαρα της Ροδόπης. Στην διάρκεια του Τεταρτογενούς, τεκτονικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες προκάλεσαν ένταση στα φαινόμενα διάβρωσης και απομάκρυνσης του Νεογενούς καλύμματος ιζημάτων.



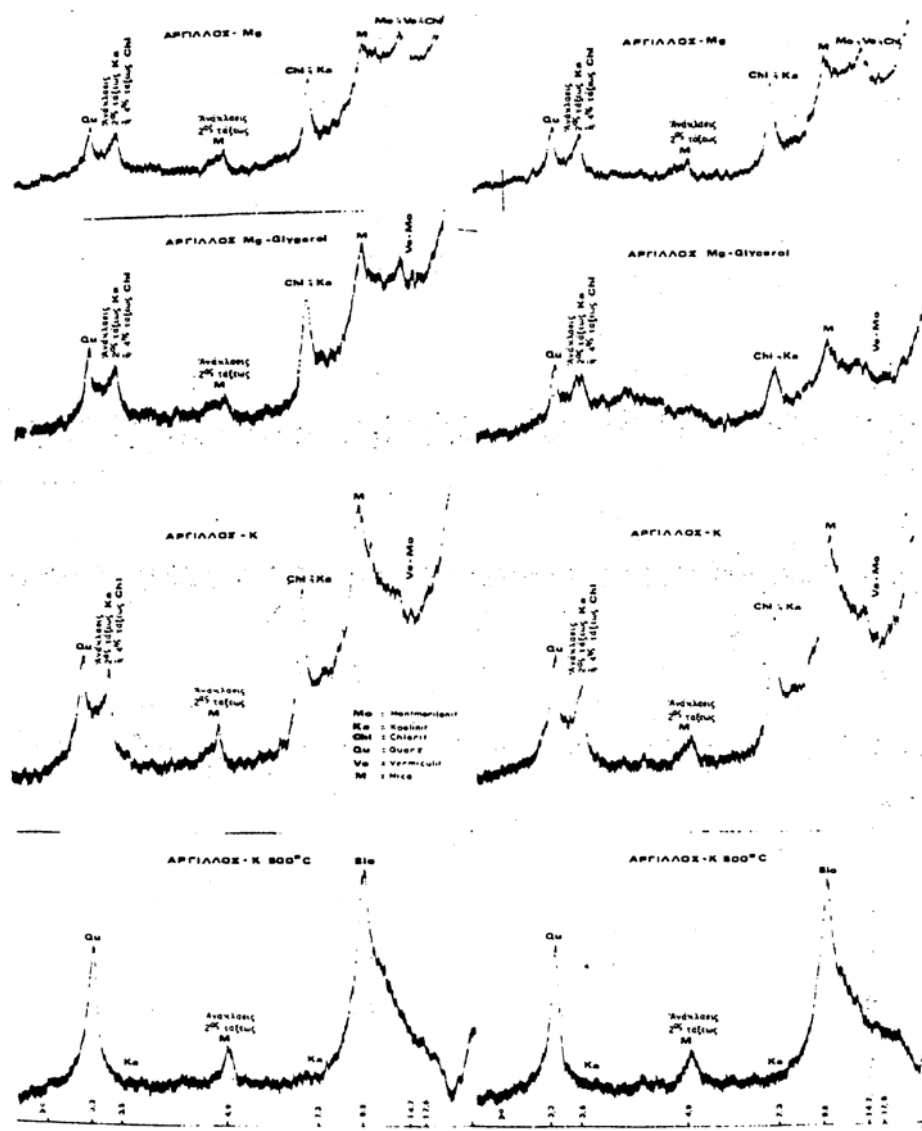
Γ.3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΥΨΩΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στο συγκεκριμένο χώρο της Ροδόπης και όχι μόνο, οι επιφάνειες επιπέδωσης χαρακτηρίζονται από τα παρακάτω μορφολογικά γνωρίσματα:

- Από ήπιο ανάγλυφο με μικρές υψομετρικές διαφορές (**σχ. 10, 11**). Οι κλίσεις τους δεν υπερβαίνουν τις 3°. Η ηπιότητα του αναγλύφου τους αναγνωρίζεται στους τοπογραφικούς χάρτες από την διάταξη των ισοϋψών καμπυλών.
- Σε τμήματα των επιφανειών επιπέδωσης τόσο της Σερβομακεδονικής όσο και της Ροδόπης εντοπίστηκαν ξηρές κοιλάδες. Οι κοιλάδες αυτές δείχνουν ότι πριν την αδρανοποίησή τους είχαν φθάσει τουλάχιστον στο στάδιο ωριμότητας. Οι κοιλάδες των επιφανειών επιπέδωσης καρστικών περιοχών, που σχηματίστηκαν κοντά στο βασικό επίπεδο, αδρανοποιήθηκαν αργότερα λόγω ανυψωτικών κινήσεων και υπόγειας αποστράγγισης. Στο χώρο των ανθρακικών πετρωμάτων της Ροδόπης, οι κοιλάδες αυτές έχουν εντοπιστεί κυρίως στις επιφάνειες επιπέδωσης 1000-1200μ., 1400-1600μ. και 1600-1800μ. των ορέων Μενοικίου, Λεκάνης, Φαλακρού και Παγγαίου.
- Σε τμήματα των επιφανειών επιπέδωσης της περιοχής έρευνας έχουν εντοπιστεί **παλαιοεδάφη**, των οποίων η ορυκτολογική σύσταση και το χρώμα αποδεικνύουν ότι για τον σχηματισμό και διαμόρφωση των παραπάνω επιφανειών συνετέλεσαν και κλιματικές συνθήκες θερμότερες και υγρότερες από τις σημερινές. Τέτοιες συνθήκες επικρατούσαν κατά περιόδους του Νεογενούς μέχρι το Μέσο Πλειόκαινο (Σωτηριάδης 1966,70, Ψιλοβίκος κ.α. 1979, Βαβλιάκης 1981, Κουφός 1979). Στο Μενόικιο σε παλαιοεδάφη ξηρών καρστικών κοιλάδων της επιφάνειας 1000-1200μ. διαπιστώθηκε με ακτίνες Χ, ότι ο καολίνης υπερέχει σε ποσοστό συγκριτικά με τα άλλα ορυκτά της αργίλου (Βαβλιάκης 1981). (**σχ. 12**).
- Στην περιοχή έρευνας επίσης έχουν εντοπιστεί **κωνικό καρστ και Inselbergs**. Το κωνικό κάρστ απαντά στις επιφάνειες επιπέδωσης των μαρμάρων της Ροδόπης με την μορφή κωνικών λόφων ύψους 50-120μ. και συγκεκριμένα στα όρη Μενόικιο και Λεκάνης (Βαβλιάκης 1981, Βαβλιάκης κ.α, 1980). Για τον σχηματισμό τους απαιτούνται κλιματικές συνθήκες ανάλογες με αυτές που επικρατούν σήμερα στην υγρή τροπική ζώνη ή στην ζώνη των μουσώνων (Budel 1978, Pfeffer 1976, κ.α.). Τα inselbergs βρίσκονται κατά κανόνα μπροστά από τα περιθώρια των ανυψωμένων επιφανειών επιπέδωσης και θεωρούνται σαν υπολείμματα αυτών των επιφανειών που σήμερα βρίσκονται υπό καταστροφή. Χαρακτηριστικοί τέτοιοι σχηματισμοί εντοπίστηκαν στην Ροδόπη στα περιθώρια των επιφανειών επιπέδωσης 1000-1200μ. και 1400-1600μ. των ορέων Βροντούς, Μενοικίου, Λεκάνης και Παγγαίου. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Lex. Westermann), τα Inselbergs είναι χαρακτηριστικές μορφές απογύμνωσης των περιοχών εκείνων, όπου επικρατεί κλίμα τροπικό με εναλλαγές υγρών και ξηρών περιόδων κατά την διάρκεια του έτους. Τα μορφολογικά γνωρίσματα των επιφανειών επιπέδωσης αποδεικνύουν ότι κατά περιόδους του **Νεογενούς** στην περιοχή έρευνας είχαμε εναλλαγές στο κλίμα από θερμό και υγρό ή θερμό και ημίυγρο σε θερμό και ημίξηρο. Ανάλογα συμπεράσματα προέκυψαν και από παλαιοντολογικές έρευνες που έγιναν κατά καιρούς στην περιοχή μελέτης.



Σχ. 11. Ενδεικτικές μορφολογικές τομές στις οποίες επισημαίνονται οι επιφάνειες επιπέδωσης στην Ροδόπη και στη Σερβομακεδονική μάζα αντίστοιχα (Ψιλοβίκος Α. & Βαβλιάκης Ε., 1984).



Σχ. 12. Διαγράμματα ακτίνων X της αργίλου από παλαιοεδάφη της αδρανούς κοιλάδα του Σιδερορέματος (Βαβλιάκης Ε., 1981).

Γ.4. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Με βάση τα στοιχεία για το υψόμετρο και την εξάπλωση των επιφανειών επιπέδωσης στους ορεινούς όγκους της ευρύτερης περιοχής (**Σχ. 11 & Πίν. 3**) μπορεί να γίνει διάκρισή τους σε τρεις κατηγορίες:

- A. Τους χαμηλούς, με υψόμετρα 565-868μ. και 1-2 επιφάνειες επιπέδωσης.
- B. Τους μέσους, με υψόμετρα 1092-1300μ. και 3-4 επιφάνειες επιπέδωσης.
- C. Τους υψηλούς, με υψόμετρα 1856-2194μ. και 3-4 επιφάνειες επιπέδωσης.

Στους χαμηλούς και μέσους ορεινούς όγκους επικρατούν οι επιφάνειες επιπέδωσης 400-600μ και 600-800μ., ενώ στους ψηλούς ορεινούς όγκους επικρατούν οι επιφάνειες επιπέδωσης 1000-1200μ. και 1400-1600μ. (**Πιν. 3**).

ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΣΗΣ ΟΡΕΙΝΟΙ ΟΓΚΟΙ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΣΗΣ					
	400-500 km ²	500-800 km ²	800-1000 km ²	1000-1200 km ²	1400-1600 km ²	1800-2000 km ²
ΧΑΛΚΗΔΟΝΙ						
Θηλός (806)	25	13				
Ιτρεκτονικός (858)	65	42				
Βόλβης (559)	80	4				
Δύσμος (869)	85	15				
Συμβόλο (894)	40	-				
	295	74				
ΚΕΣΙΟΙ						
Χορτιάτης (1201)	110	45	13	2		
Χελωνών (1165)	250	85	12	2		
Βερνίκος (1103)	330	164	26	3		
Γεωμορφολογικός (1179)	96	15	4	2		
Κορομβάλο (1092)	63	35	10	-		
Υψώλο (1206)	15	-	-	8		
Λεπύτης (1300)	50	25	20	-		
	919	369	85	17		
ΨΙΛΟΙ						
Αθώς (2020)	20	8				
Κερκίνη (2031)			3		3	-
Βουτσάς (1856)		20	10	25	8	
Μενούλιος (1963)				30	20	5
Παγγαίο (1958)				30	17	4
Σιλάκος (2194)			35	25	15	5
	20	28	48	110	63	14

Πίν. 3. Κατάταξη των ορεινών όγκων της Κ. & Α. Μακεδονίας με βάση το υψόμετρο και την έκταση των επιφανειών επιπέδωσης σε κάθε κατηγορία (Ψιλοβίκος Α. & Βαβλιάκης Ε., 1984).

Αν θελήσουμε να δούμε συγκριτικά τα στοιχεία αυτά (**Σχ. 11, Πίν. 3**) σε σχέση και με τα γεωτεκτονικά δεδομένα του χώρου στον οποίο ανήκουν οι ορεινοί όγκοι τότε θα διαπιστώσουμε ότι:

- Στο χώρο της Ροδόπης επικρατούν οι υψηλοί ορεινοί όγκοι με χαρακτηριστική εξάπλωση των επιφανειών επιπέδωσης 1000-1200μ. και 1400-1600μ (**βλ. Σχ. 11, 13**).

Από γεωμορφολογικά και μορφογενετικά δεδομένα που είναι ήδη γνωστά στο χώρο που εξετάζεται (Osswald 1938, Vrablianski 1972, Psilovikos et al. 1979, Vavliakis 1981) και σε συνδυασμό με αντίστοιχα στοιχεία από άλλες περιοχές της Βαλκανικής-Ν.Ευρώπης, συμπεραίνεται ότι οι παλαιότερες μορφές αναγλύφου που συναντάμε σήμερα στους ορεινούς όγκους δεν μπορεί να είναι παλαιότερα του Ολιγομειοκαίνου. Άρα τα υπολείμματα των ψηλότερων επιφανειών επιπέδωσης που εντοπίστηκαν στους ορεινούς όγκους της περιοχής πρέπει να έχουν, κατά προσέγγιση Ολιγομειοκαινική ηλικία.

Από τεκτονικά και ιζηματολογικά στοιχεία που είναι γνωστά για τις ταφρολεκάνες του χώρου που εξετάζεται π.χ. Σερρών (Σωτηριάδης 1966), Δράμας-Φιλίππων (Μελιδώνης 1969), Στρυμόνα (Ψιλοβίκος κ.α. 1983) συμπεραίνεται ότι ο σχηματισμός τους άρχισε στο Κατ.-Μέσο Μειόκαινο. Πληθώρα γεωτρήσεων και

φυσικών τομών έδειξαν ότι τα παλαιότερα (Κ/Μ Μειοκαινικά) ιζήματα των ταφρολεκανών έχουν αποθεθεί επάνω στο αποσαθρωμένο υπόβαθρο της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής μάζας.

Από τα παραπάνω στοιχεία συμπεραίνεται ότι ο ευρύτερος χώρος της περιοχής μελέτης, θεωρούμενος με επέκταση μέχρι και το θαλάσσιο τμήμα του Β. Αιγαίου, αποτελούσε μια ενιαία χερσαία ζώνη κατά το **Α. Ολιγόκαινο- Κ. Μειόκαινο**. Το ανάγλυφο της χερσαίας αυτής ζώνης ήταν ομαλό-χαμηλό (200-300μ.) λόγω της προχωρημένης απογύμνωσης, ενώ η χημική αποσάθρωση είχε σχηματίσει ένα παχύ μανδύα υλικού που τον συναντούν όλες σχεδόν οι γεωτρήσεις που έφτασαν στο πυθμένα των ταφρολεκανών.

Αφού λοιπόν τα σημερινά ψηλότερα υπολείμματα των επιφανειών επιπέδωσης και οι πυθμένες των ταφρολεκανών του συγκεκριμένου χώρου αποτελούν τα ανυψωμένα και βυθισμένα αντίστοιχα τμήματα της Ολιγομειοκαινικής χερσαίας ομαλής ζώνης που αναφέραμε πιο πάνω, συμπεραίνεται ότι όλες οι διεργασίες που οδήγησαν στην διαμόρφωση του σημερινού ανάγλυφου έγιναν από το Κ/Μ Μειόκαινο μέχρι σήμερα. Το συνολικό αποτέλεσμα των δημιουργικών και καταστρεπτικών διεργασιών εκφράζεται με:

- 1) Ανύψωση των ορεινών όγκων με την ακόλουθη σειρά:
 - Ανύψωση χαμηλών όγκων κατά 300-500μ. σε δύο φάσεις με ενδιάμεσες 2 φάσεις επιπέδωσης.
 - Ανύψωση μέσων όγκων κατά 800-1000μ. σε 3-4 φάσεις, με ενδιάμεσες 3-4 φάσεις επιπέδωσης.
 - Ανύψωση ψηλών όγκων κατά 1700-1800μ. σε 3-4 φάσεις, με ενδιάμεσες 3-4 φάσεις επιπέδωσης.

Αν μάλιστα λάβουμε υπόψη μας την ποσότητα των υλικών της αποσάθρωσης που μετακινήθηκε με την διάβρωση από τους ορεινούς όγκους για να γεμίσει τις ταφρολεκάνες, τότε η πραγματική ανύψωση είναι ακόμα μεγαλύτερη.

- 2) Ακανόνιστη ταπείνωση των πυθμένων των ταφρολεκανών και πλήρωσή τους με ιζηματογενείς αποθέσεις. Η ταπείνωση αυτή στις παλαιότερες και μεγαλύτερες ταφρολεκάνες Σερρών, Στρυμώνα κ.α., είναι μεγαλύτερη από 3000μ.

Γ.5. ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΣΗΣ ΜΕΝΟΙΚΙΟΥ

Από την μελέτη τοπογραφικών χαρτών και αεροφωτογραφιών της περιοχής του Μενοικίου, καθώς και από υπαίθριες έρευνες (Βαβλιάκης 1981) διαπιστώθηκαν οι παρακάτω δύο, τυπικής μορφής Pediment- Glacis, επιφάνειες επιπέδωσης (**βλ. Σχ.13**):

Α) Επιφάνεια 100-250μ.

Η ανάπτυξη της εντοπίζεται κυρίως στο νότιο περιθώριο του Μενοικίου και τα ιζήματα στα οποία έχει αναπτυχθεί, είναι Νεογενή και Τεταρτογενή. Με την επιφάνεια αυτή συνδέεται ένας μικρός αριθμός δολίνων (κυρίως από κατακρήμνιση), καθώς και τα σπήλαια των Επταμύλων και της Αλιστράτης. Επειδή κατά τον Συμεωνίδη κ.α. (1977), τα σπήλαια της Αλιστράτης είναι Τεταρτογενούς ηλικίας, θα πρέπει και η επιφάνεια αυτή να είναι της ίδιας ηλικίας, δεδομένου ότι κατά τους

Μονοπώλη (1971) και Trimmel (1968) τα σπήλαια σχηματίζονται ταυτόχρονα με την επιφάνεια διάβρωσης στην οποία αντιστοιχούν.

Ο Παρασκευαΐδης (1952) για την ίδια επιφάνεια πλησίον του Ελαιώνα, δέχεται μια πλειο-πλειστοκαινική ηλικία.

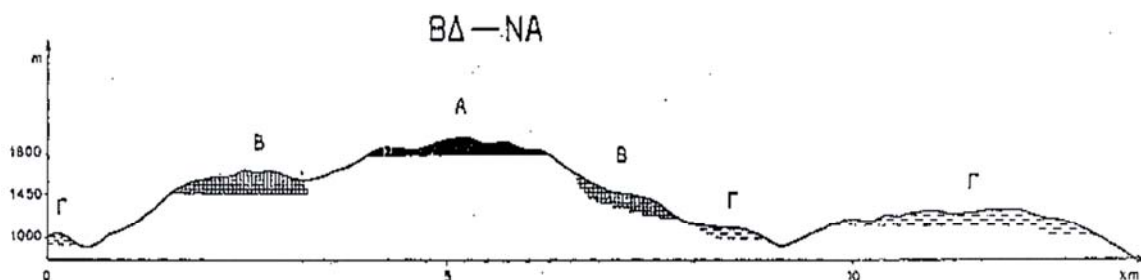
Β) Επιφάνεια 400-600μ.

Αναπτύσσεται κυρίως στο Ν και ΝΑ περιθώριο του Μενοικίου. Πολλά τμήματα της επιφάνειας αυτής καλύπτονται από πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα. Ο Osswald (1938) δέχεται ότι σε πολλά τμήματά της απαντούν ποταμοχειμάρρεις αποθέσεις Άνω- Πλειοκαινικής ηλικίας.

Πρόκειται βασικά για **ανυψωμένα Pediment** που σχηματίστηκαν αρχικά στην βάση του Μενοικίου με τροπικές ημιορημικές κλιματικές συνθήκες. Ανάλογες κλιματικές συνθήκες με ταυτόχρονο σχηματισμό Pediment, αναφέρονται από τους Riedl & Stocker (1976) για την Πελοπόννησο και από τον Zotl (1974) για την Ιθάκη και δέχονται ότι αντιστοιχούν στην περίοδο του Ανωτέρου Πλειοκαίνου.

Ο Sickenberg (1968) από την μελέτη απολιθωμάτων στο Βόλακα Δράμας, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι όσο διαρκούσε το Κατώτερο Πλειστόκαινο, το κλίμα που επικρατούσε χαρακτηριζόταν από θερμές μεγάλης διάρκειας ξηρές περιόδους.

Από τα παραπάνω μπορούμε να δεχθούμε ότι ο πιθανότερος χρόνος σχηματισμού της επιφάνειας αυτής, θα πρέπει να είναι η περίοδος του ορίου Ανώτερου Πλειοκαίνου- Κατώτερου Πλειστοκαίνου.



Σχ. 13. Φυσική μορφολογική τομή που δείχνει τις τρεις υψηλότερες επιφάνειες επιπέδωσης (Peneplain) στο Μενοίκιο (Βαβλιάκης 1981).

Γ.6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΑΝ ΤΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ

Οι βασικοί παράγοντες που επηρέασαν άμεσα την διαμόρφωση του επιφανειακού ανάγλυφου κατά το Νεογενές-Τεταρτογενές στο χώρο που εξετάζεται ήταν η λιθολογία, το κλίμα και η τεκτονική.

- Η **λιθολογική σύσταση** σε γενικές γραμμές δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλες διαφορές από πλευράς αντοχής στις διεργασίες της απογύμνωσης και από τον ένα ορεινό όγκο στον άλλο (βλ. Πίν. 3) και για αυτό οι επιφάνειες επιπέδωσης έχουν σχηματιστεί πάνω σε όλα τα είδη των πετρωμάτων της περιοχής. Ακόμα η λιθολογική σύσταση αποτελεί «παθητικό παράγοντα» στην διαμόρφωση του

ανάγλυφου και δεν μπορεί να επιφέρει σημαντικές μεταβολές χωρίς τη συμβολή και άλλων παραγόντων.

- Το **κλίμα** ρυθμίζει την ένταση και την έκταση των διεργασιών της απογύμνωσης σε μια περιοχή και συμβάλλει αποφασιστικά στην ταπείνωση του ανάγλυφου. Για το λόγο αυτό θεωρείται δευτερογενής παράγοντας. Πρέπει να υπάρχει διαφορά στο ανάγλυφο ώστε το κλίμα να την εξομαλύνει και να επιπεδώσει την περιοχή. Στην περιοχή μελέτης δεν μπορούσαν να υπάρχουν σοβαρές κλιματικές διαφορές από θέση σε θέση, που θα μπορούσαν να δικαιολογήσουν μια διαφορετική έκφραση του ανάγλυφου. Για αυτό θα έπρεπε να υπήρχε ομοιομορφία ανάγλυφου ή μικρές διαφορές, που πολύ πιθανόν οφείλονταν στις λιθολογικές διαφορές από θέση σε θέση.
- Η **τεκτονική** είναι ο πρώτος και ο πιο σημαντικός παράγοντας που δημιουργεί διαφορές στο ανάγλυφο, είτε με ανυψώσεις, είτε με βυθίσεις. Στην εξεταζόμενη περιοχή παρατηρούνται εναλλαγές περιόδων με ήπια τεκτονική, οπότε το κλίμα προκαλούσε επιπεδώσεις και έντονη τεκτονική, που διαφοροποιούσε δραστικά το ανάγλυφο. Άρα η τεκτονική ήταν η πρώτη και η κύρια αιτία που προκάλεσε και εξακολουθεί να προκαλεί τις διαφορές στο ανάγλυφο στο χώρο που εξετάζεται σε όλη την διάρκεια του Νεογενούς και Τεταρτογενούς.

7. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ QANAT

A. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η μόνη περιοχή στο κόσμο στην οποία πρωτοεμφανίζονται τα συστήματα κανάτ, και μάλιστα σε μεγάλη κλίμακα είναι η περιοχή της Μέσης Ανατολής. Η σπουδαιότητα των συστημάτων αυτών διαπιστώνεται ακόμα και σήμερα, αφού συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται ευρέως σε πλήθος εφαρμογών. Λόγω ακριβώς της ευρείας χρήσης τους στην συγκεκριμένη περιοχή, έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα από διάφορους επιστήμονες με αποτέλεσμα ο τρόπος κατασκευής τους να έχει εξακριβωθεί πλήρως. Από την μελέτη των αναφορών αυτών θα καταστή δυνατόν σε οποιονδήποτε να κατανοήσει τόσο τους λόγους που επέβαλαν την κατασκευή τέτοιων συστημάτων στην περιοχή μελέτης όσο και την τεχνογνωσία που απαιτείται για την κατασκευή και λειτουργία των συστημάτων αυτών. Ένα σημαντικό μέρος των συμπερασμάτων των μελετών αυτών παρατίθεται στο κεφάλαιο αυτό.

Μια σπουδαία πηγή νερού για γεωργική χρήση σε ξηρές λεκάνες στην Μέση Ανατολή και στην Β. Αφρική είναι οι ρηχοί υδροφόροι ορίζοντες, οι οποίοι έχουν προκύψει από **διήθηση** μέσα σε αλλουβιακούς κώνους και εκτεταμένους ξηροποτάμους με χαλίκι. Στις περιοχές αυτές που χαρακτηρίζεται από πλημμύρες που ξεκινούν από τα ψηλότερα βουνά ή από επίπεδες επιφάνειες που βρίσκονται περιμετρικά, η δυνατότητα διήθησης του νερού των χειμάρρων μέσα από αυτές τις θέσεις είναι εξαιρετικά μεγάλη. Το νερό συλλέγεται και συγκεντρώνεται στο πορώδες των αλλουβιακών υλικών και σχηματίζει έναν εξαιρετικό υδροφόρο ορίζοντα. Το πρωταρχικό πρόβλημα ήταν πώς να τραβηχτεί σε μεγάλες ποσότητες, για άρδευση, το νερό των υδροφόρων αυτών.

Σε εκείνες τις περιοχές της Μεσογείου που χαρακτηρίζονται από μακρές ξηρές περιόδους, οι αγρότες πάντα προσπαθούσαν να εκμεταλλευτούν μόνιμες πηγές νερού, ακόμα και μικρές με ασθενή παροχή με σκοπό να αναπτύξουν αρδευόμενη γεωργία. Υπάρχουν περιστασιακά ετήσιες και μηνιαίες διακυμάνσεις στην παροχή εξαιτίας κυρίως του μικρού όγκου των καρστικών υδροφόρων που τις τροφοδοτεί. Συχνά η παροχή αυτών των πηγών δεν ξεπερνά τα λίγα κυβικά μέτρα ανά ημέρα.

Παρόλο την μικρή παροχή τους, οι περισσότερες, ακόμα και οι πολύ μικρές, είναι οι μοναδικοί πόροι για αρδευόμενη γεωργία στις λοφώδεις περιοχές των Αγίων Τόπων. Αυτός είναι ο λόγος για την τεράστια οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη για γεωργία των πηγών αυτών στα αρχαία χρόνια.

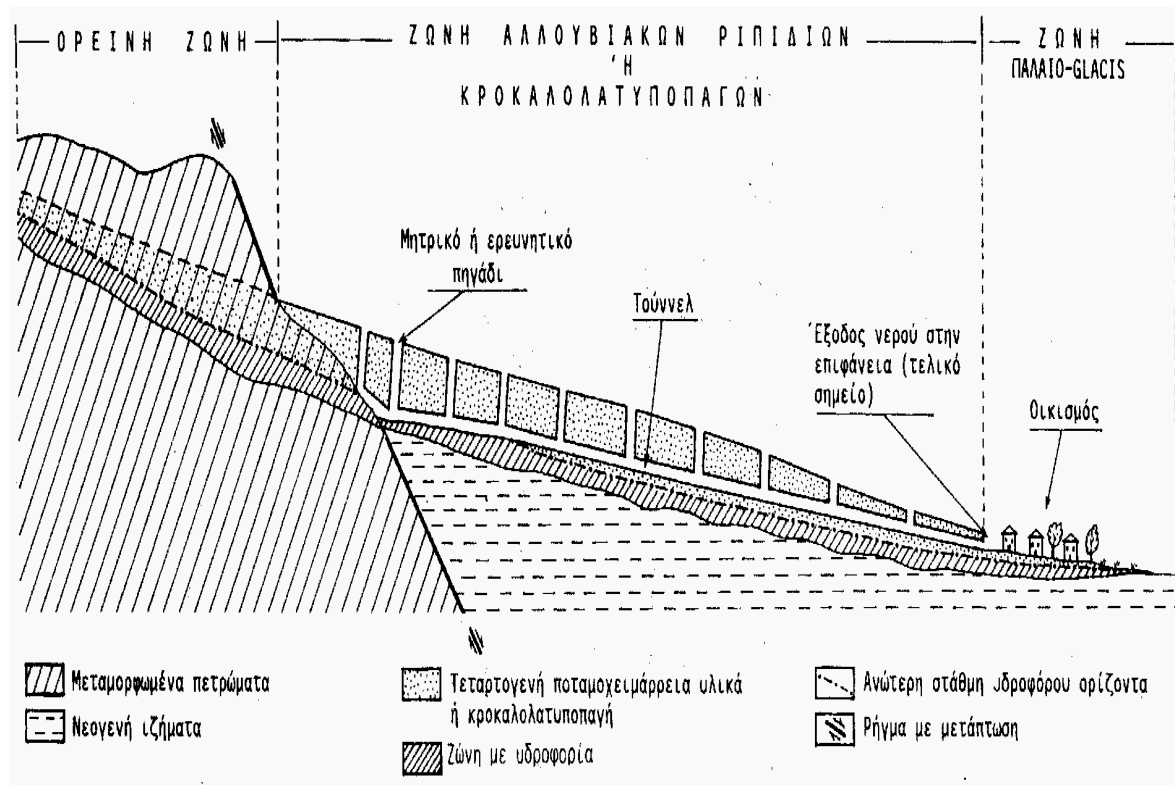
Ένας μεγάλος βαθμός τεχνογνωσίας απαιτείται για την ανάπτυξη, διατήρηση και χρησιμοποίηση αυτών των πόρων νερού, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν τέτοιες μικρές και μη σταθερές πηγές με απώτερο ρόλο να διατηρήσουν σε τέτοιες περιοχές την αρδευόμενη γεωργία. Οι περισσότερες από αυτές τις πηγές ρέουν μέσα σε υπόγεια τούννελ και έγκοιλα τα οποία διακόπτουν (τέμνουν) τους υδροφόρους ορίζοντες που τροφοδοτούν τα πηγαία αυτά τούννελ.

Πολλά πηγαία τούννελ που μοιάζουν αρκετά με τα κανάτ, έχουν αναπτυχθεί ακόμα από τους αρχαίους χρόνους από τους τοπικούς κατοίκους των λοφώδων περιοχών της Ιεράς Γης (και σε άλλες περιοχές όπως το Λίβανο, Υεμένη, Ιράν, Ισπανία κ.α.). η πλειοψηφία αυτών των συστημάτων είναι καλά κρυμμένα, με πολύ μικρά και βαθιά ανοίγματα μέσω των οποίων το νερό ρέει μέχρι την δεξαμενή, ενώ σε μερικά από αυτά είναι εμφανή και κάποια φρεάτια.

B. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ QANAT

Τα συστήματα κανάτ είναι ένα εξαιρετικό μέσο για να θέσει υπό την κατοχή του κανείς ένα υδροφόρο ορίζοντα σε ποσότητες επαρκείς για άρδευση σε ξηρές περιοχές. Το υπόγειο νερό συλλέγεται χάρη στην δράση της βαρύτητας με την βοήθεια ενός κεκλιμένου τούννελ, έτσι ώστε να αρδεύσει τα χωράφια. Ένα σύστημα Qanat αποτελείται από τρία βασικά μέρη (**βλ. Σχ. 14**):

- I. Το **μητρικό πηγάδι**, όπου αυτό είναι το πρώτο πηγάδι ή φρεάτιο που σκάφθηκε για να φθάσει στον υπόγειο υδροφορέα, ώστε να καθορίσει το ύψος του νερού αλλά και το βάθος της κορεσμένης ζώνης. Σύμφωνα με το επίπεδο του νερού και την τοπογραφία που θα παρακολουθήσει το τούννελ όσο και η απόληξη αυτού είναι πλέον δεδομένη.
- II. Ένα **ελαφρώς κεκλιμένο τούννελ**, το οποίο σκάπτεται από την τελική απόληξη μέχρι το σημείο σύνδεσης με το μητρικό πηγάδι, οδηγεί το νερό από το μητρικό πηγάδι προς την επιφάνεια από όπου στην συνέχεια ρέει σε ένα ανοιχτό κανάλι ή ανοιχτό λάκκο προς τα αρδευόμενα χωράφια. Το εσωτερικό μέρος του τούννελ έχει σκαφθεί μέχρι την κορεσμένη ζώνη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Αυτό το τμήμα, είναι εκείνο το τμήμα που λέμε ότι το κανάτ παράγει νερό. Μετέπειτα το νερό ρέει στο ξηρό τμήμα του τούννελ το οποίο είναι σκαμμένο στην ζώνη αερισμού και βρίσκεται πλέον πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Αυτό στην ουσία είναι το τμήμα μεταφοράς του συστήματος κανάτ.
- III. Μια σειρά από **κατακόρυφα φρεάτια** έχουν ανοιχτεί από την επιφάνεια προς την πορεία του τούννελ. Τα φρεάτια είναι ζωτικό τμήμα της όλης σκαπτικής διαδικασίας που επιδέχεται ένα τέτοιο σύστημα. Συμβάλλουν στο να κρατήσει το κανάτ την ορθή πορεία των τούννελ του κατά τη διάρκεια της εκσκαφής και διευκολύνουν την μεταφορά και εξαγωγή των σκαμμένων υλικών με ένα τρόπο που μοιάζει με αυτόν του τυφλοπόντικα. Τα κανάλια επίσης παρέχουν πρόσβαση στο όλο σύστημα καθώς και εξαερισμό στο τούννελ, έτσι ώστε αυτό να διατηρεί τις ιδιότητες του. Το υλικό που έχει εκσκαφεί αποτίθεται κοντά στο στόμιο του φρεατίου, όπου σχηματίζει ένα στρόγγυλο ανάχωμα γύρω από το άνοιγμα του φρεατίου. Εάν τα συστήματα κανάτ δεν συντηρούνται καλά και ορθά, τόσο μέσα στα φρεάτια όσο και στα ίδια τα τούννελ δημιουργούνται σειρές από στρογγυλούς ρηχούς σχετικά λάκκους, οι οποίοι στην ουσία είναι τα υπολείμματα των βουλωμένων πλέον φρεατίων που βαθμιαία οδηγεί στη αδρανοποίηση των συστημάτων.



Σχ.14. Απεικόνιση ενός χαρακτηριστικού Qanat (Κανάτ) της περιοχής έρευνας στο οποίο σημειώνονται τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά δεδομένα (Βαβλιάκης Ε., 1989).

Γ. ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ QANAT

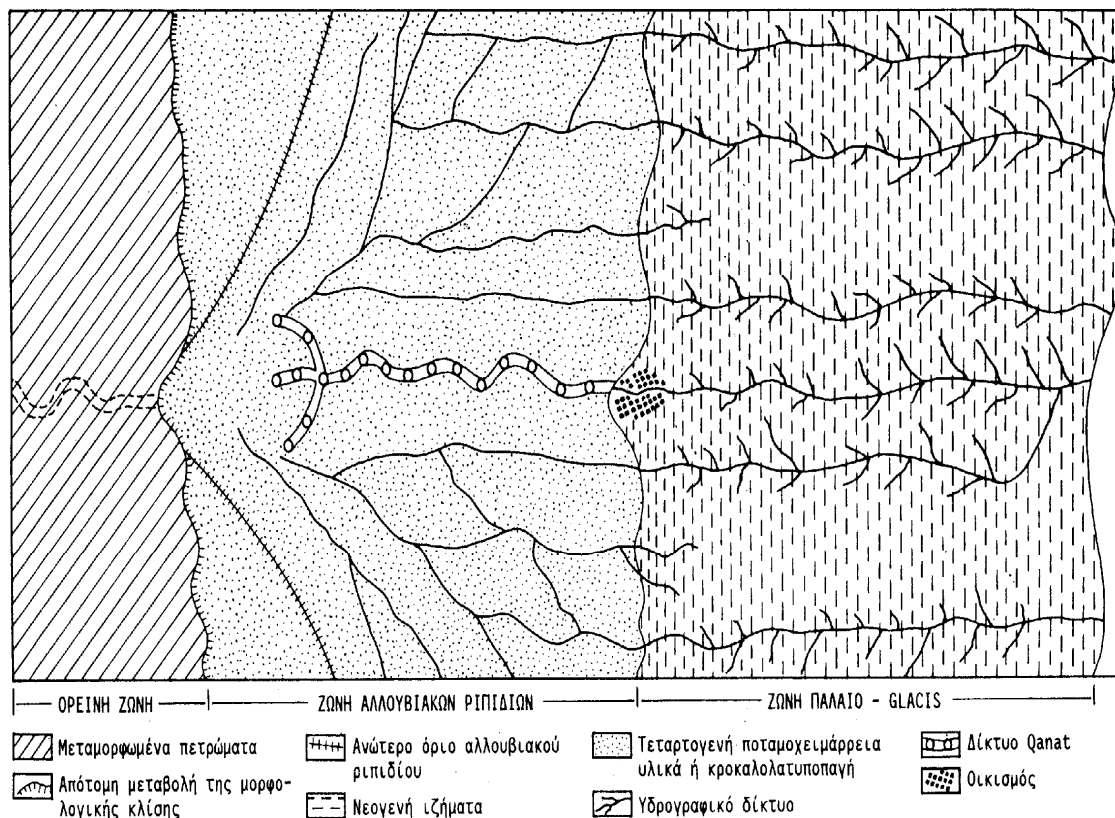
Η κατασκευή ενός κανάτ απαιτεί αφενός μεν την χρησιμοποίηση απλών μέσων, αφετέρου δε χρειάζεται και μεγάλη τεχνικογεωλογική εμπειρία. Έχει την αρχή του σε έναν υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα που για τον εντοπισμό του κατασκευάζεται στο ανώτερο τμήμα μιας κλιτύς το καλούμενο μητρικό ή ερευνητικό πηγάδι (Σχ.14). Το βάθος του πηγαδιού αυτού, σύμφωνα με τον Troll (1963), μπορεί να φθάσει μέχρι τα 300μ., όπως π.χ. στο Conbad (Ιράν).

Το ψηλότερο τμήμα ενός Qanat αποτελεί την ζώνη υδρομάστευσης και αποτελείται από περισσότερους του ενός αγωγούς (τούννελ), (βλ. Σχ. 15). Κατά την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης της κλιτύς κατασκευάζονται σε ορισμένες αποστάσεις (10 έως 30μ.) πηγάδια, τα οποία χρησιμοποιούν για την εκχωμάτωση και τον αερισμό κατά την κατασκευή των τούννελ. Τα πηγάδια είναι κατά κανόνα τόσο στενά, ώστε ο εργάτης με την βοήθεια των ποδιών και της ράχης να μπορεί να ανεβοκατεβαίνει σε αυτά. Τα υλικά εκχωμάτωσης ή επισκευής των τούννελ τοποθετούνται γύρω από τα στόμια των πηγαδιών, που σχηματίζουν λόφους κρατηροειδούς μορφής. Από την ύπαρξη αυτών των λόφων μπορεί να προσδιοριστεί η πορεία των εν χρήσει κανάτ, όχι μόνο με την άμεση επιτόπια μορφολογική παρατήρηση αλλά και από α/φίες μεγάλης σχετικής κλίμακας.

Το τούννελ που χρησιμεύει ως κύριος αγωγός μεταφοράς του νερού, σύμφωνα με τους περισσότερους ερευνητές, κατασκευάζεται από το σημείο εξόδου του νερού στην επιφάνεια προς το μητρικό φρέαρ. Όπου το πέτρωμα διέλευσης του αγωγού μεταφοράς

είναι μαλακό επενδύονται τα τοιχώματά του με ψημένα κεραμίδια ή άλλο υλικό (Σχ. 15). Ορισμένοι ερευνητές δέχονται ότι η κατασκευή των τούννελ αρχίζει από το μητρικό φρέαρ προς το σημείο εξόδου του νερού στην επιφάνεια. Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται όταν η παροχή του κανάτ είναι μικρή.

Η κλίση του αγωγού μεταφοράς είναι μικρότερη από αυτή της κλιτύος ή του πυθμένα ξηρής κοιλάδας και κατά κανόνα δεν υπερβαίνει το 4%. Σε κάθετη τομή το ύψος του κανάτ κυμαίνεται συνήθως από 1-1,20μ. και το πλάτος από 0,75-1μ. το μήκος του κυμαίνεται επίσης από μερικές δεκάδες μέτρα μέχρι 50 χλμ. (Schneider 1965). Για την κατασκευή κανάτ μεγάλου μήκους απαιτείται και η ταυτόχρονη όρυξη εκατοντάδων πηγαδιών, που όπως προαναφέραμε χρησιμεύουν για την αποκομιδή υλικών και για εξασρισμό.



Σχ.15. Χαρακτηριστική σχηματική κάτοψη ενός Qanat της περιοχής έρευνας με γεωλογικά και γεωμορφολογικά δεδομένα (Βαβλιάκης Ε., 1989).

Εφόσον το πέτρωμα που κατασκευάζεται το τούννελ του κανάτ είναι σκληρό, το νερό ρέει ελεύθερα στο πυθμένα του. Αντίθετα αν το πέτρωμα είναι σχετικά μαλακό, τότε αυτό ρέει μέσα σε πέτρινους αγωγούς ορθογωνίου σχήματος στην ζώνη υδρομάστευσης του κανάτ. Οι πέτρινοι αυτοί αγωγοί κατά θέσεις έχουν ανοίγματα, που κατά την άποψη μας αφενός μεν επιτρέπουν την είσοδο του νερού που κατέρχεται από τα υπερκείμενα και παρακείμενα υδροπερατά πετρώματα, αφετέρου χρησιμεύουν ως βαλβίδες ανακούφισης του αγωγού στις περιπτώσεις που η παροχή του νερού είναι πολύ μεγάλη.

Εφόσον ο αγωγός μεταφοράς βρίσκεται εκτός της ζώνης υδρομάστευσης και το βάθος του είναι μικρότερο από 3μ. το νερό ρέει σε κλειστούς κυλινδρικού σχήματος πήλινους σωλήνες, που καταλήγουν στο τελικό σημείο εξόδου του κανάτ. Από το σημείο αυτό συνήθως το νερό οδηγείται σε τάφρο σε τεχνητή λίμνη ή συντριβάνι, που βρίσκεται στο κέντρο του οικισμού και από εκεί κατανέμεται σε καλλιεργούμενες

εκτάσεις. Επίσης είναι δυνατόν ένα κανάτ να καταλήγει σε υπόγεια δεξαμενή (κιστέρνα). Στην περίπτωση αυτή η έξοδος του νερού από την δεξαμενή είναι δυνατή εφόσον αυτό αποκτήσει προηγούμενως ένα ορισμένο ύψος.

Το σύστημα κανάτ υπερέχει έναντι άλλων ιστορικών συστημάτων ύδρευσης-άρδευσης, όπως π.χ. των τροχών άντλησης, βαρούλκων ή άλλων μοχλών, επειδή η χρήση νερού με το σύστημα αυτό δεν απαιτεί την δαπάνη ανθρώπινης ή ζωϊκής ενέργειας. Το νερό ρέει υπόγεια από τις ψηλότερες θέσεις υδρομάστευσης προς τις θέσεις χρήσης.

Τα κανάτ εξασφαλίζουν καθαρότερο και υγιεινότερο, από αυτό των ομβροδεξαμενών, καθώς και νερό για όλη την διάρκεια του έτους χωρίς κατά κανόνα απότομες ή καταλυτικές διακυμάνσεις της παροχής. Γεγονός που επαλυθεύεται πλήρως και από τα υδροχημικά δεδομένα που εξετάζονται παρακάτω σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

Η κατασκευή ενός συστήματος κανάτ σε μια περιοχή είναι δυνατή εφόσον υπάρχουν αφενός μεν στην επιφάνεια υδροπερατά πετρώματα, αφετέρου σε προσιτό βάθος αδιαπέρατα πετρώματα. Η επαφή των υδροπερατών και μη πετρωμάτων, που καθορίζει την θέση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, θα πρέπει να βρίσκεται σε τέτοιο βάθος, ώστε σε μια ορισμένη απόσταση να είναι δυνατή η έξοδος του νερού στην επιφάνεια χωρίς την δαπάνη οποιασδήποτε μορφής ενέργειας, δηλαδή με ελεύθερη ροή. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση εξόδου του νερού στην επιφάνεια.

Στις ιδανικές περιοχές κατασκευής των κανάτ από γεωμορφολογική και υδρογεωλογική άποψη ανήκει και η περιοχή έρευνας που εντοπίζεται στους **ΝΑ πρόποδες του Μενοικίου (με υψόμετρο περίπου 500μ.)**. Επίσης η περιοχή έρευνας εξασφαλίζει ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες για την λειτουργία των παραπάνω συστημάτων. Συγκεκριμένα οι υψηλότερες ζώνες του Μενοικίου διατηρούν χιόνια μέχρι τον Απρίλιο και Μάιο και όχι σπάνια μέχρι τον Ιούνιο. Το νερό από την τήξη των χιονιών κατά την άνοιξη τροφοδοτεί τα διαπερατά στρώματα των αλλουβιακών ριπιδίων πάχους 20μ. περίπου, που αποτελούν την δεξαμενή τροφοδοσίας σε νερό των κανάτ κατά την θερινή περίοδο. Ανάλογη τροφοδοσία των κανάτ με νερό γίνεται και κατά την διάρκεια των βροχοπτώσεων, που σύμφωνα με τον Μπαλαφούτη (1977), στην περιοχή έρευνας πέφτουν κυρίως από τον Οκτώβριο μέχρι τον Ιούνιο. Ανάλογο ρόλο δεξαμενής τροφοδοσίας νερού των κανάτ παίζουν τα τεκτονισμένα πλειστοκαινικά κροκαλολατυποπαγή και οι αλλουβιακές προσχώσεις, που εντοπίζονται στους πρόποδες του Μενοικίου και στα χαμηλότερα τμήματα της περιοχής έρευνας.

Συγκρίνοντας κανείς τις κλιματικές συνθήκες της μελετούμενης περιοχής με τις αντίστοιχες πολλών τμημάτων του Ιράν, που αναφέρονται από τον Landsberg (1981), διαπιστώνει μια σχετική ομοιότητα. Συνεπώς η περιοχή έρευνας εξασφάλιζε τις απαραίτητες προϋποθέσεις κατασκευής και λειτουργίας των κανάτ.

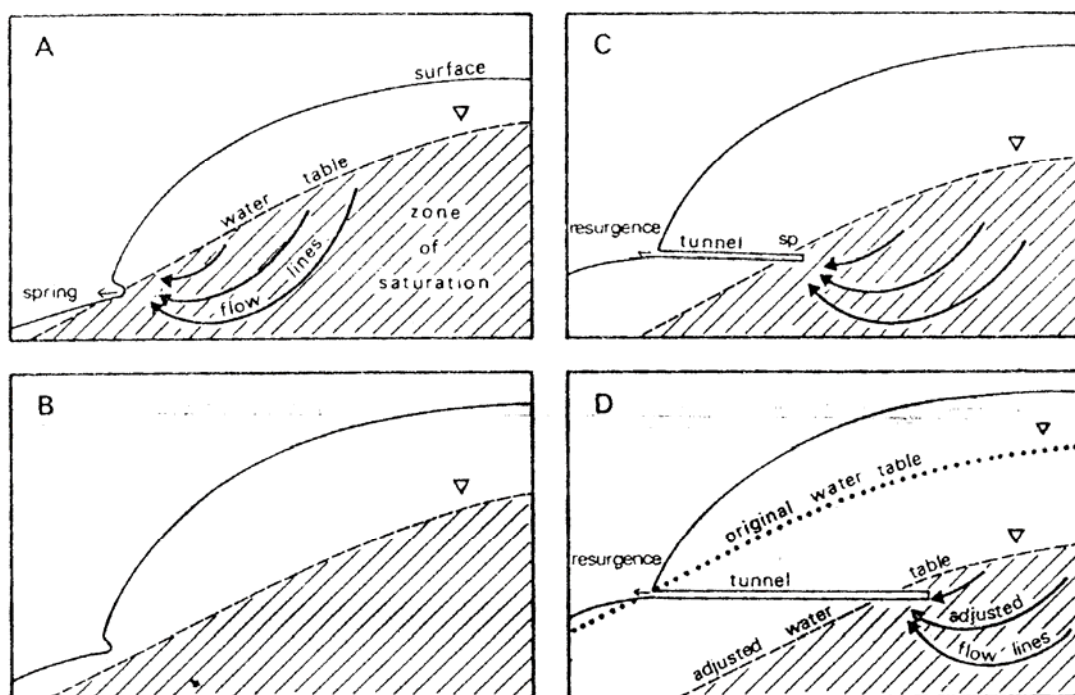
Δ. ΤΟΥΝΝΕΛ ΜΕ ΠΗΓΑΙΑ ΡΟΗ

Μια άλλη κατασκευή που κάνει έντονη την παρουσία της στην Μέση Ανατολή, είναι αυτή των **πηγαίων τούννελ**, η οποία μοιάζει αρκετά με τα συστήματα κανάτ, αλλά όμως δεν είναι, δεδομένου ότι η δημιουργία της υπαγορεύεται από εντελώς διαφορετικές συνθήκες.

Στην αρχική της κατάσταση, μια πηγή, πριν την εκμετάλλευσή της για άρδευση, φυσικά πήγαζε μέσα από ένα πέτρωμα πάνω σε μια πλαγιά ή έρεε προς το ποτάμι, αφού πρώτα ο υδροφόρος ορίζοντας είχε έρθει στην επιφάνεια λόγω των διαβρωτικών διεργασιών (βλ. Σχ.16 Α).

Από την στιγμή που ο ψηλότερος σε θέση υδροφόρος ορίζοντας που τροφοδοτούσε την πηγή, ήταν μικρός σχετικά και επηρεαζόταν από τις καρστικές και κλιματικές διακυμάνσεις, στην περίπτωση που παρουσίαζε συνεχή ροή εμφανιζόταν συχνά χαμηλότερος στη γύρω περιοχή, γεγονός που είχε σαν αποτέλεσμα η αποφόρτιση της πηγής συχνά να παρουσιάζεται μειωμένη ή η πηγή να στερεύει πολλές φορές παντελώς (Σχ. 16B).

Η εξάρτηση της ποσότητας του νερού της πηγής από τις βροχοπτώσεις δημιούργησε το φαινόμενο της **διαλείπουσας ή ασυνεχούς ροής**. Με σκοπό την ανανέωση ή αύξηση της ποσότητας του διερχόμενου νερού, διανοίχτηκε μια οριζόντια οπή σαν σπηλιά και διαπλατύνθηκε μέσα στην κορεσμένη ζώνη κάτω από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Ακόμη και σήμερα ανακαλύπτονται πηγές που ξεπηδούν από μικρές σπηλιές τέτοιου είδους. Η συνεχής υποχώρηση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, λόγω της ξηρασίας και του αυξημένου καταβιβασμού του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, συνετέλεσε στην ανάγκη για επιμήκυνση της σπηλιάς οπής, και στην μετατροπή της σε σήραγγα (Σχ. 16C).

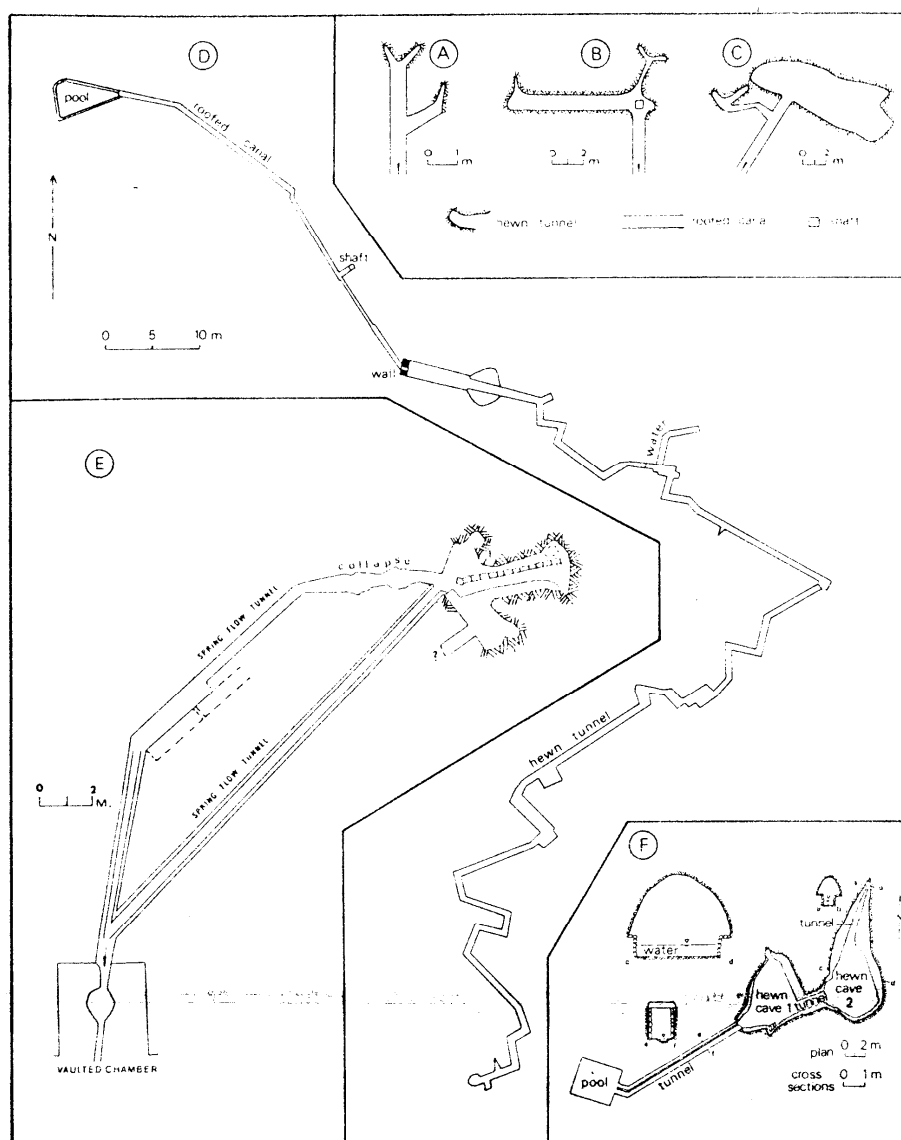


Σχ. 16. Στάδια διαμόρφωσης πηγαίων τούννελ για αρδευτική χρήση (Ron Y.D. Zvi, 1985).

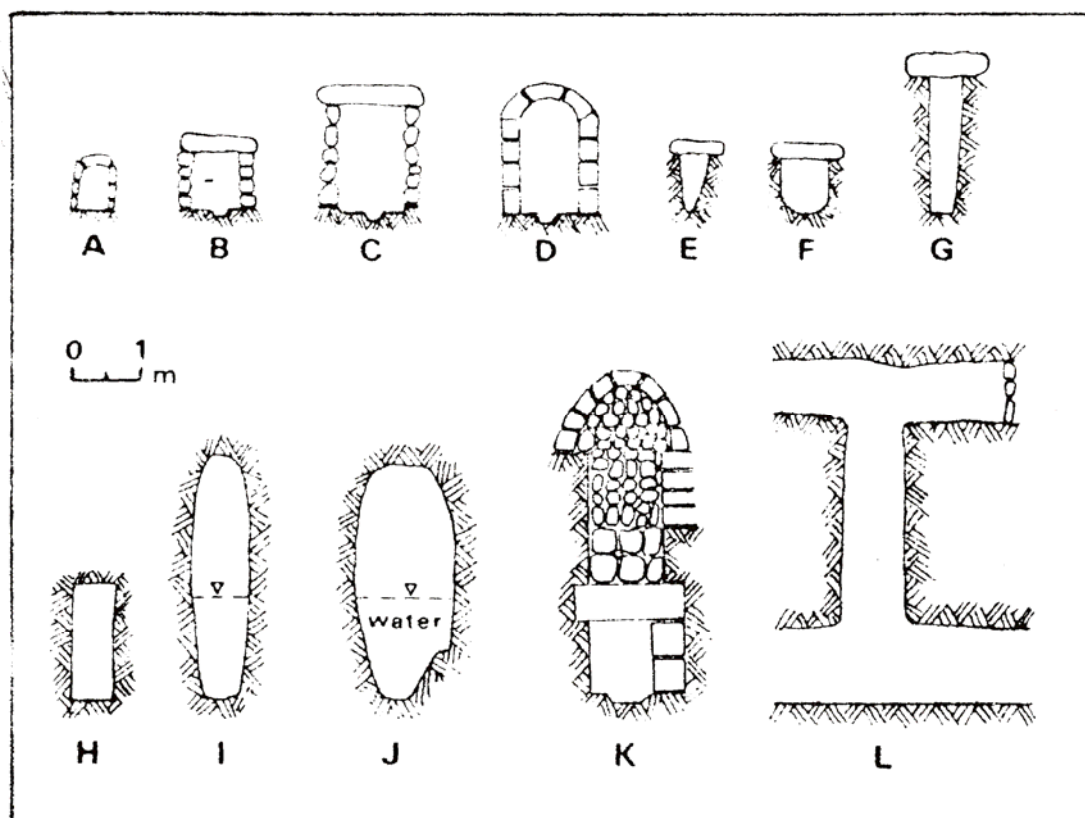
Πολλές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την έκθεση και αποξήρανση κορεσμένων υπογείων οριζόντων:

1. Πρόσθεση ορθογωνισμένων σιράγγων που διακλαδίζονται από τη βασική σήραγγα (Σχ. 17 A-C).
2. Δημιουργία **οφειοειδούς βασικής σήραγγας** μέσα στον κορεσμένο υδροφόρο ορίζοντα που σημαίνει ότι το νερό θα πρέπει να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση από την μια άκρη της σήραγγας στην άλλη, σε σχέση με την ευθεία σήραγγα (Σχ. 17D).

3. Διάνοιξη μιας ή περισσότερων παράλληλων σήραγγων μέσα στην κορεσμένη ζώνη. Η πηγή θα εκρέει από δύο ή περισσότερες κοντινές μεταξύ τους σήραγγες. Σε μερικές πηγές η βασική σήραγγα εκτρέπεται σε δύο (Σχ.17Ε).
4. Εκβάθυνση του πυθμένα της σήραγγας σε χαμηλότερο επίπεδο και επιμήκυνσή της (Σχ. 18I-L). Η εκβάθυνση αυτή συνετέλεσε στο να γίνει ψηλότερη η ανώτατη στάθμη του νερού στο εξωτερικό άκρο της σήραγγας από ότι στο πυθμένα της σήραγγας. Σε μερικές περιπτώσεις, αντί να εκβαθύνουν το πυθμένα της σήραγγας, διάνοιγαν μια άλλη σήραγγα σε μεγαλύτερο βάθος η οποία γινόταν η σήραγγα εκροής μετά την αποξήρανση της σήραγγας που βρισκόταν στο ψηλότερο επίπεδο. Ενίοτε η διάνοιξη μιας σήραγγας σε βαθύτερο επίπεδο άρχιζε με ένα διανοιγμένο φρέαρ που κατέβαινε από την ανώτερη σήραγγα μέχρι την χαμηλή υπόγεια στάθμη του νερού. Τέτοιες πηγές με δύο σήραγγες εκροής, η μία πάνω από την άλλη, με την ανώτερη να είναι ξηρή και την χαμηλότερη να έχει ροή, αποτελούν σπάνιο φαινόμενο (Σχ. 18L).
5. Συνδυασμός μερικών ή όλων αυτών των τεσσάρων μεθόδων βρίσκονται σε μερικά από τα πιο ανεπτυγμένα τούννελ της μορφής αυτής (Σχ. 17F).



Σχ.17. Τύποι πηγαίων τούννελ στους Αγίους Τόπους (Ron Y.D. Zvi, 1985).



Σχ. 18. Διάφοροι τύποι πηγαίων τούννελ στους Αγίους Τόπους με βάση την κάτοψή τους (Ron Y.D. Zvi, 1985).

Οι μέθοδοι εκσκαφής που χρησιμοποιούνταν κάθε φορά ήταν αυτές που ταίριαζαν περισσότερο με την τοπική τοπογραφία. Εκεί όπου υπήρχαν λεπτά στρώματα πετρωμάτων πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα ήταν ευκολότερο να φθάσει κανείς στην κορεσμένη ζώνη σκάβοντας είτε ένα ανοιχτό κανάλι είτε ένα λάκκο. Ο τελευταίος ανοίγονταν από την επιφάνεια προς τον υδροφόρο ορίζοντα μόνο σε ένα βάθος που δεν ξεπερνούσε τα 2μ. από την επιφάνεια. Μετά την ολοκλήρωση του ανοίγματος του λάκκου, αυτός καλυπτόταν ή με χοντροπελεκημένα τεμάχια λίθων ή με επίπεδα τεμάχια λίθων τοποθετημένα πολύ κοντά μεταξύ τους υπό μορφή θόλων. Κάποιες φορές τα τοιχώματα των λάκκων ενισχύονταν με τεμάχια πετρωμάτων. Πάνω από το θόλο πολλές φορές τοποθετούνταν πέτρες και έδαφος ώστε η επιφάνεια του εδάφους να μοιάζει αδιατάραχτη. Με τον τρόπο αυτό ο λάκκος μετατρέποταν σε ένα τούννελ προστατεύοντας έτσι την ροή του νερού από οποιαδήποτε ζημιά ή εξάτμιση. Έτσι ο λάκκος δεν συνιστούσε πλέον κάποιο εμπόδιο και το έδαφος από πάνω μπορούσε μέχρι και να καλλιεργηθεί. Σχεδόν το 40% των πηγών αυτής της μορφής αναπτύχθηκε με αυτόν τον τρόπο.

Όταν ο κορεσμένος υδροφόρος ήταν βαθιά κάτω από την επιφάνεια, κάτω δηλαδή από παχιά στρώματα πετρωμάτων, οι εκσκαφές συνεχίζονταν με μορφή οριζόντιου τούννελ και όχι με την μορφή ενός ανοικτού λάκκου (βλ. Σχ. 18H-J, L). Περίπου το 25% των χρησιμοποιούμενων πηγών αναπτύχθηκε με αυτόν τον τρόπο. Το εσωτερικό μέρος ήταν ουσιαστικά ένα πελεκημένο τούννελ, το οποίο διεισδύει οριζόντια μέσα στο βράχο, βαθιά πίσω από την επιφάνεια, ενώ το εξωτερικό μέρος του τούννελ το οποίο είναι κοντά στην επιφάνεια και το οποίο σκάφηκε όπως ακριβώς ένας ανοικτός λάκκος και στην συνέχεια καλύφθηκε με τεμάχια λίθων και έδαφος,

μετατρέποντας τον λάκκο μετέπειτα σε ένα υπόγειο τούννελ (Σχ. 17F). Με τον τρόπο αυτό περίπου το 30% των πηγών αξιοποιήθηκαν.

Σε ορισμένα τούννελ που λειτουργούν με πηγαία νερά, κατασκευάστηκαν τετραγωνικής ή κυλινδρικής μορφής κατακόρυφα φρεάτια πάνω στις οροφές των τούννελ. Τα παραπάνω φρεάτια θα πρέπει μάλλον να κατασκευάστηκαν κατά την διάρκεια της κατασκευής των οροφών πάνω από τους λάκκους (Σχ. 17D). Πολλά από αυτά τα τούννελ δεν διέθεταν ούτε ένα φρεάτιο, ενώ όσα από αυτά διέθεταν κάποια δεν ήταν περισσότερα από τέσσερα. Ασφαλώς στην περίπτωση αυτή ο αριθμός των φρεατίων δεν καθοριζόταν από το μήκος του τούννελ (Πίνακας 4).

N°	Spring	Area or Village		Tunnel length (meters)	Number of shafts
1	Ein Rafa	near Abu Ghosh	(J)	1	0
2	Ein Kesalon	Kesalon	(J)	3	0
3	Ein Matta 2	Matta	(J)	3.6	0
4	Ein Giyyora	Bar Giyyora	(J)	5.5	0
5	Spring	near Even Sappir	(J)	10	0
6	Ein el-Birke	Nes Harim	(J)	13.5	1
7	Ein Uzi 1	near Even Sappir	(J)	15	0
8	Ein Yoel	Mevo Betar	(J)	16.5	0
9	Ein es-Seif	Walaja, near Amminadav	(J)	18	0
10	Ein Sea'dim	near Amminadav	(J)	24	3
11	Ein Hantash	Beith Jala	(H)	25	1
12	Ein Balad	Sataf, near Even Sappir	(J)	25.4	0
13	Ein Dilba	near Arub, Hebron area	(H)	25.7	2
14	Ein Bikura	Sataf, near Even Sappir	(J)	34	0
15	Ein Hod	near Nes Harim	(J)	39.5	2
16	Ein el-Balad	Gibeon (el-Jib)	(R)	40	0
17	Ein Haska	near Halhul	(H)	41	2
18	Ein Sappir	Even Sappir	(J)	42	0
19	Ein Sit Miryam	Ein Karim	(J)	45	1
20	Ein Unkur	near Hebron	(H)	50.5	4
21	Ein Marjel Lein	Nes Harim	(J)	51	2
22	Ein Beroshim	Beit Zait	(J)	52.5	4
23	Ein Balad	Battir	(H)	58	0
24	Ein Zova	Zova	(J)	59.5	2
25	Ein Artas	Artas, near Bethlehem	(H)	62	1
26	Ein Qovi	Mevo Betar	(J)	69	3
27	Ein Wadi el-Biyar	between Bethlehem and Hebron	(H)	100	0
28	Ein Jweizeh	Beith Jala	(H)	225	1

Ein = Spring ; J = Jerusalem Mountain ; H = Hebron Mountain ; R = Ramalla Mountain

Πίν. 4. Ενδεικτικός πίνακας που περιλαμβάνει τα μήκη και τον αριθμό των φρεατίων των πηγαίων τούννελ γύρω από τους λόφους της Ιουδαίας στη Μέση Ανατολή (Ron Y.D. Zvi, 1985).

Η ανάπτυξη των πηγών με την εκσκαφή τούννελ και εγκοίλων μέσα στην κορεσμένη ζώνη καθώς και η επιμήκυνση αυτών των τούννελ καθώς το νερό υποχωρούσε, είναι χαρακτηριστικό των μικρών πηγών που τροφοδοτούνταν από ‘**κουρνιασμένους**’ υδροφόρους. Το γεγονός αυτό αποτελεί χαρακτηριστικά την περίπτωση των περισσότερων μικρών πηγών στις λοφώδεις περιοχές των Αγίων Τόπων.

E. ΤΕΧΝΗΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΗΓΩΝ

Η γνώση για το πώς μπορεί να επιμηκυνθεί ένα τούννελ, έτσι ώστε να φτάσει τον υδροφόρο ορίζοντα που υποχωρεί, κατέστη δυνατόν να αποκτηθεί μετά την παρέλευση πολλών ετών και εντελώς εμπειρικά. Αφού συνέβη αυτό ήταν πλέον απλά θέμα χρόνου μέχρι να φτάσουμε στην εκμετάλλευση των υπαρχόντων πηγών ή ακομή και στην τεχνητή δημιουργία πηγών με την κατασκευή τούννελ μέσα στην υπόγεια κορεσμένη ζώνη του υδροφόρου στρώματος, κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα.

Αυτό που κανείς μέχρι και σήμερα δεν μπορεί να εξακριβώσει είναι το γεγονός για το πια πηγή από το όλο σύνολο που ρέει μέσα σε τούννελ ή έγκοιλα ξεκίνησε να ρέει σαν φυσική πηγή ή εάν προηγήθηκε ανθρώπινη παρέμβαση για την δημιουργία της.

Η μελέτη και η παρατήρηση των πηγών αυτών έχει δείξει ότι οι περιπτώσεις αποτυχίας της εκσκαφής σημειώνονται αποκλειστικά στις περιπτώσεις εκείνες που έγινε προσπάθεια να ανοιχτούν τούννελ μέσα στην **ακόρεστη ζώνη** (Ron Y.D. Zvi, 1985).

ΣΤ. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Από μερικές απόψεις υπάρχουν πολλές ομοιότητες ανάμεσα στις σήραγγες πηγαίων υδάτων που βρέθηκαν στις λοφώδεις περιοχές των Αγίων Τόπων και των συστημάτων κανάτ. Και στις δυο περιπτώσεις έχουμε να κάνουμε με διανοιγμένες σήραγγες που διακλαδίζονται μέσα στον κορεσμένο υδροφόρο ορίζοντα με σκοπό να βγάλουν νερό με την βαρύτητα της ροής σε ποσότητες αρκετές για άρδευση. Για να αυξηθεί η παροχή, τα κανάτ μπορούν να διακλαδιστούν έτσι ώστε να αποκτήσουν μεγαλύτερο όγκο από την κορεσμένη ζώνη.

Παρακάτω αναφερόμαστε στις διαφορές ανάμεσα στους δύο τύπους σιράγγων, θέλοντας έτσι να δώσουμε έμφαση στην αλληλεπίδραση που υφίσταται ανάμεσα στα τεχνικά χαρακτηριστικά κατασκευής των συστημάτων αυτών και στις γεωλογικές και πρακτικές συνθήκες που υπαγορεύουν τα συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά. Επισημαίνουμε λοιπόν τα εξής:

1. Το μεγαλύτερο κομμάτι των συστημάτων Qanat βρίσκεται κατά μήκος ξηρών ή ημίξηρων λεκανών που πρόσκεινται σε λοφίσκους ή σε ψηλά υψίπεδα με μεγαλύτερη ποσότητα απορροής.
2. Τα Qanat διανοίγονται σε αλλουβιακούς κώνους ή σε προσχωματικές λοφοειδείς περιοχές με χαλίκια, όπου η δυνατότητα φιλτραρίσματος της απορροής μέσα στην υπόγεια δεξαμενή είναι σημαντική. Έχοντας λοιπόν τα αλλουβιακά ιζήματα μια εξαιρετική ικανότητα διηθήσεως του επιφανειακού κατά βάση νερού, δημιουργούν μέσα σε αυτά εξαιρετικούς υδροφόρους ορίζοντες μικρού βάθους.
3. Στις περισσότερες περιπτώσεις ανακάλυψης υπογείων υδάτων που ρέουν σε Qanat, το νερό εξάγεται τεχνητά σκάβοντας ένα «μητρικό πηγάδι» μέσα στον κορεσμένο υδροφόρο ορίζοντα, το οποίο συνήθως βρίσκεται 10-15μ. κάτω από την επιφάνεια των υδάτων και μερικές φορές ακόμη βαθύτερα.
4. Το μήκος των Qanat ή αλλιώς η μεγάλη απόσταση ανάμεσα στους αγρούς και στο μητρικό πηγάδι καθορίστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε η θέση των αγρών να ανταποκρίνεται σε δύο ιδιαίτερες ανάγκες θέσης: α) οι αγροί θα πρέπει να

είναι αρκετά χαμηλά ώστε να υπάρχει ροή νερού μέσα στα κανάτ, λόγω βαρύτητας και β) αρκετά ψηλά ώστε να βρίσκονται πιο πάνω από την περιοχή με το ρυπαρό χώμα και τα ρυπαρά ύδατα που ρέουν μέσα στα χαμηλότερα επίπεδα των ξηρών λεκανών και δημιουργούν μία ρυπαρή ρηχή επιφάνεια υπόγειων υδάτων. Η συντριπτική πλειοψηφία των κανάτ έχουν μήκος από 1-5 Km. Υπάρχουν επίσης κανάτ με μήκος μεγαλύτερο από 50Km (Ιράν).

5. Η σήραγγα και τα φρέατα των κανάτ διανοίχτηκαν από το μητρικό πηγάδι σαν μία μονάδα πρώτης βαθμίδας. Η σήραγγα χωρίστηκε σε δύο τμήματα: α) το εσωτερικό μέρος, που διεισδύει μέσα στην **κορεσμένη ζώνη** κάτω από την επιφάνεια των υπόγειων υδάτων και αποτελεί την μονάδα παραγωγής υδάτων αυτών των συστημάτων β) την υπόλοιπη σήραγγα που έχει πολύ μεγαλύτερο μήκος, περνά μέσα από την **ζώνη εξερισμού** και λειτουργεί ως τομέας μεταφοράς των υδάτων του συστήματος.
6. Το πιο εμφανές χαρακτηριστικό των Qanat είναι τα πολυάριθμα φρέατα που ακολουθούν ολόκληρο το μήκος τους. Τα φρέατα αποτελούν ουσιαστικό μέρος της διαδικασίας της εκσκαφής και διανοίγονται ταυτόχρονα με την σήραγγα των Qanat. Τα φρεάτια καθορίζουν σχεδόν απόλυτα την σωστή στρώση της σήραγγας κατά την διάνοιξή της και χρησιμοποιούνται σαν ανοίγματα μέσα από τα οποία μπορούσαν να απορριφθούν τα άχρηστα υλικά που απέμεναν από το χτίσιμο γειτονικού τμήματος. Τα φρεάτια χρησιμοποιούνταν κυρίως για φωτισμό, εξερισμό και επίσης σαν είσοδοι, ειδικά στις σήραγγες πηγαίων υδάτων καθώς και σε εκείνα τα τούννελ που το ύψος και το πλάτος τους ήταν μικρό.
7. Ένα σύστημα Qanat αποτελείται επίσης από ένα ελαφρώς κεκλιμένο τούννελ με κλίση που κυμαίνεται από **1/1000-1/2500**. Εάν η κλίση είναι πολύ μεγαλύτερη από το εύρος αυτό μπορεί να προκαλέσει διάβρωση και κατάρρευση αργότερα.
8. Καθώς τα περισσότερα Qanat είναι σκαμμένα μέσα σε αλλούβια ιζήματα με τον καιρό καταστρέφονται λόγω διάβρωσης ή και κατάρρευσης ακόμα. Για τους λόγους αυτούς και όχι μόνο, η συντήρηση ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί μεγάλη και συνεχή προσπάθεια. Υπάρχουν τμήματα ενός Qanat, τα οποία πρέπει να αντικατασταθούν εξολοκλήρου σκάβοντας νέα τμήματα έτσι ώστε να ξεπεραστούν τα τμήματα που έχουν καταρρεύσει. Στην πραγματικότητα πολλά Qanat που έχουν πέσει σε αχρηστία λόγω κατάρρευσης, γεμίζουν αρχικά με υλικά και στην ουσία αδρανοποιούνται και εξαφανίζονται εντελώς, αφήνοντας μόνο μικρές, στρογγυλές και ρηχές κοιλάτητες, περικυκλωμένες από χαμηλά αναχώματα τα οποία στην ουσία δηλώνουν τις θέσεις των φρεατίων.

8. ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΣΗ ΠΗΓΩΝ

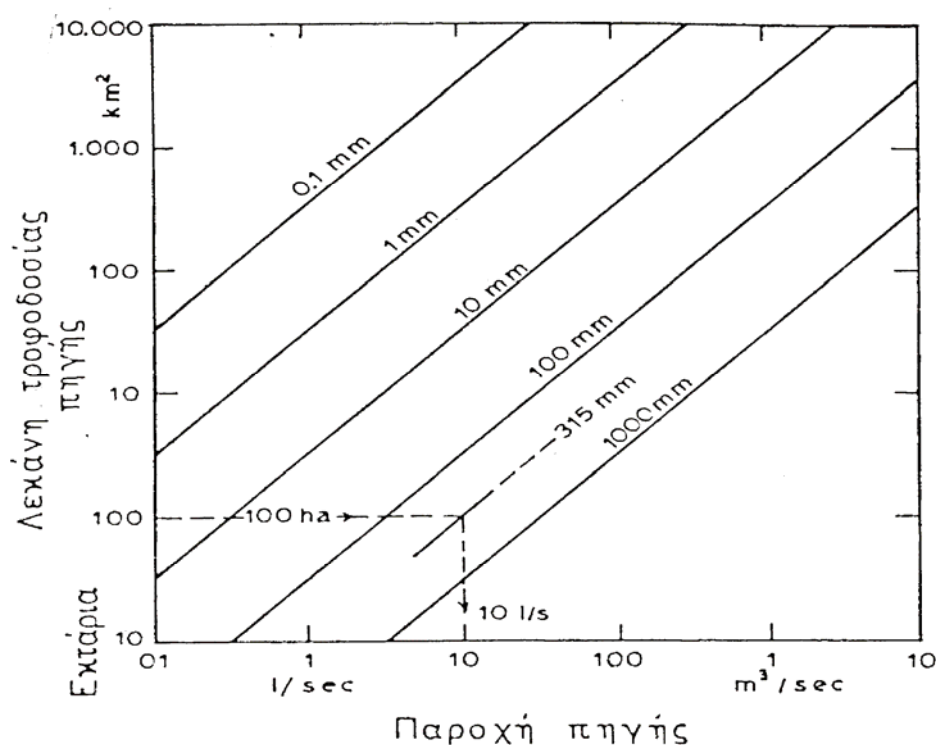
Στο κεφάλαιο αυτό θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μια βασική και στοιχειώδη σύγκριση ανάμεσα στα συστήματα Qanat και τις φυσικές πηγές, έχοντας ως σκοπό να τονίσουμε την αντιστοιχία που υπάρχει ανάμεσα στα δύο αντικείμενα, κυρίως λειτουργικά. Την αντιστοιχία αυτή θα μας βοηθήσει να την αποσαφηνίσουμε και να την κατανοήσουμε περισσότερο, εάν τα όσα αναφέρουμε παρακάτω τα εξετάσουμε και υπό το πρίσμα των στοιχείων των κεφαλαίων που προηγήθηκαν, λειτουργώντας πάντα βέβαια συγκρητικά.

Ως πηγή ορίζουμε μια συγκεντωμένη εκροή υπόγειου νερού, που εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους σαν ένα ρεύμα νερού που ρέει ελεύθερα (Todd, 1980). Πρέπει να γίνει αντιδιαστολή της πηγής από την διαρροή (seepage), η οποία είναι μια πιο αργή κίνηση υπόγειου νερού προς την επιφάνεια του εδάφους. Το νερό στις περιοχές διαρροών μπορεί να σχηματίσει μικρά τέλματα ή ροές ή και να εξατμιστεί, ανάλογα με το μέγεθος της διαρροής, το κλίμα και την τοπογραφία.

Διάφοροι τρόποι ταξινόμησης των πηγών έχουν προταθεί, χωρίς να έχει καθιερωθεί κάποιος από αυτούς. Πιο επιτυχημένες κρίνονται οι ταξινομήσεις που έχουν προταθεί στην καρστική υδρογεωλογία.

Ειδικά για την περιοχή έρευνας θεωρείται ότι μάλλον συναντάμε την κατηγορία των πηγών επαφής, όπου εδώ αναπτύσσεται υπόγεια ροή στην επαφή ενός υδροπερατού σχηματισμού με ένα αδιαπέρατο ή καλύτερα ένα ελάχιστο διαπερατό σχηματισμό. Πάνω στην επαφή αυτή λοιπόν στηρίζεται η όλη κατασκευή και λειτουργία των συστημάτων που αναπτύχθηκαν.

Συνήθως πηγές μεγάλου μεγέθους απαντούν στις ηφαιστειακές και καρστικές περιοχές. Η παροχή μιας πηγής πρωτίστως εξαρτάται από το μέγεθος της περιοχής τροφοδοσίας του υδροφόρου που εκφορτίζεται από την πηγή και την ένταση της τροφοδοσίας (Σχ. 19).



Σχ. 19. Σχέση της έκτασης της λεκάνης απορροής μιας πηγής και της αντίστοιχης παροχής της (Καλλέργης Γ., 1986).

Οι περισσότερες πηγές παρουσιάζουν διακύμανση της παροχής τους. Οι διακυμάνσεις αυτές αντανακλούν τις μεταβολές στην ένταση του εμπλουτισμού, με διάρκεια εμπλουτισμού που κυμαίνεται από λεπτά της ώρας μέχρι χρόνια και βρίσκονται σε στενή σχέση με τις γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες.

Ειδικότερα για το Qanat του Αγίου Γεωργίου (Q2) παραθέτουμε την ετήσια διακύμανση της παροχής του όπως αυτή παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 1**. Επίσης από την συσχέτιση της βροχόπτωσης του 2003 με την παροχή του Q2 προκύπτει ότι η περίοδος ανταπόκρισης για το συγκεκριμένο σύστημα στις συνθήκες τροφοδοσίας αυτού φτάνει κατά μέσο όρο περίπου τις 30 ημέρες, ιδίως κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου **Διάγραμμα 2**.

Για τον καθορισμό του μεγέθους των πηγών ο Meinzer (1923) πρότεινε την πιο κάτω ταξινόμηση:

ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΗΓΗΣ

ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ

1°	>10	m ³ /sec
2°	1-10	m ³ /sec
3°	0,1-1	m ³ /sec
4°	10-100	l/sec
5°	1-10	l/sec
6°	0,1-1	l/sec
7°	0,01-0,1	l/sec
8°	< 0,01	l/sec

Σύμφωνα με τις τιμές παροχής που έχουμε στην διάθεση μας, για τα συστήματα Qanat της περιοχής έρευνας, τα τελευταία παρουσιάζουν τιμές παροχής που αντιστοιχούν για **μέγεθος πηγής 6** ως επί το πλείστον.

Οι τιμές της μέσης μηνιαίας παροχής που έχουν μετρηθεί για το Q2 της ερευνούμενης περιοχής παρατίθενται στον **Πίνακα 5** που ακολουθεί για το χρονικό διάστημα έτους (2004):

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

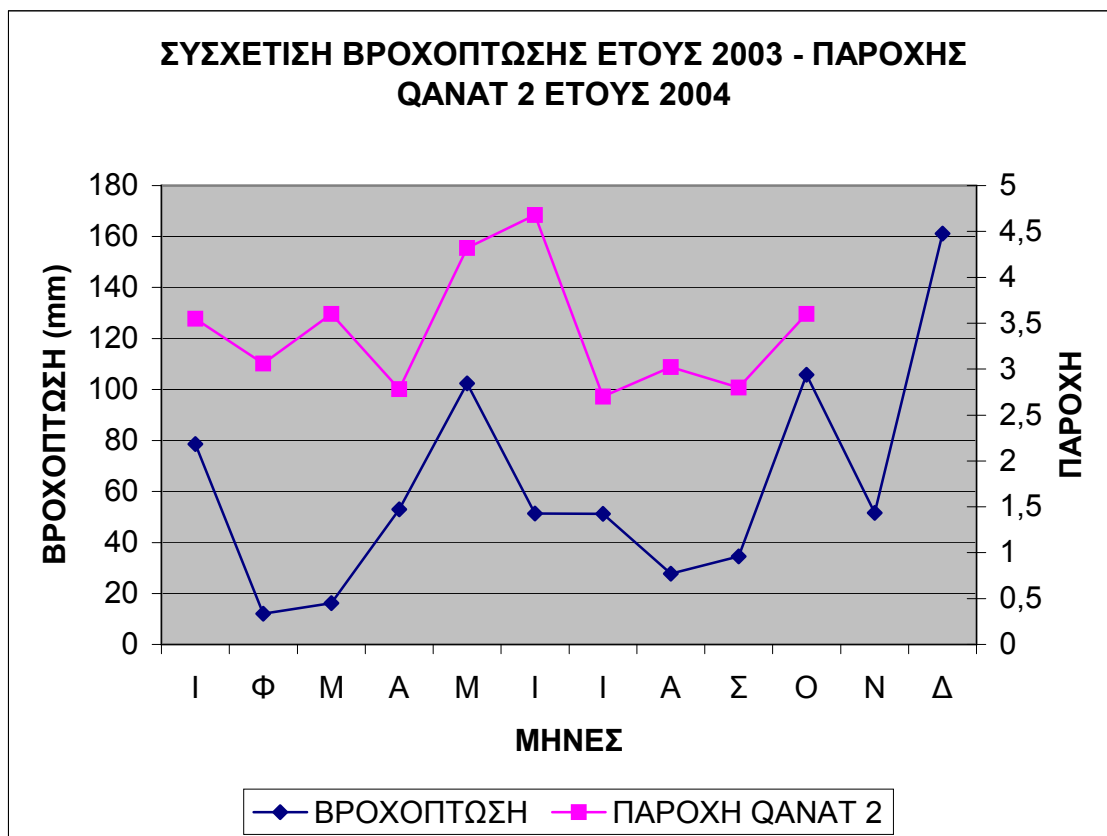
	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
P(σε mm)	78,6	12	16,2	53	102,4	51,4	51,2	27,8	34,6	105,8	51,6	161,2
Q2(m ³ /s)	3,55	3,06	3,6	2,78	4,32	4,68	2,7	3,02	2,8	3,6	-	-

Όσον αφορά τις τιμές της βροχόπτωσης του **Πίνακα 5**, αυτές έχουν ληφθεί από τον αντίστοιχο **Μ.Σ. Δράμας** (υψόμετρο 100μ. περίπου) για το έτος 2003 μόνο και μόνο για να μπορούν τα αποτελέσματα της σύγκρισης να είναι πιο ρεαλιστικά, δεδομένου ότι η παροχή του συστήματος που μελετήθηκε εξαρτάται ασφαλώς από τις τιμές των κατακρημνισμάτων που προηγήθηκαν

Οι μόνιμες πηγές αποστραγγίζουν συνήθως εκτεταμένους υδροφόρους και δίνουν νερό όλο το χρόνο, ενώ οι διαλείπουσες πηγές δίνουν νερό μόνο για χρονικά διαστήματα μηνών. Μόνιμες πηγές, σχετικά σταθερής παροχής, δίνουν τα ηφαιστειακά πετρώματα και οι αμμόλοφοι. Οι περιοδικές πηγές παρουσιάζουν κανονικές, κατά μάλλον ή ήττον, διακυμάνσεις της παροχής τους που δεν έχουν σχέση με τις βροχοπτώσεις ή με εποχικά γεγονότα. Τέτοιες διακυμάνσεις μπορεί να προκληθούν από μεταβολές στην διαπνοή, στην ατμοσφαιρική πίεση, από την επίδραση παλλιρροιακών φαινομένων πάνω σε αρτεσιανούς υδροφόρους και από φυσικούς σίφωνες που δρούν σε υπόγειους ταμιευτήρες (Καλλέργης 1986).

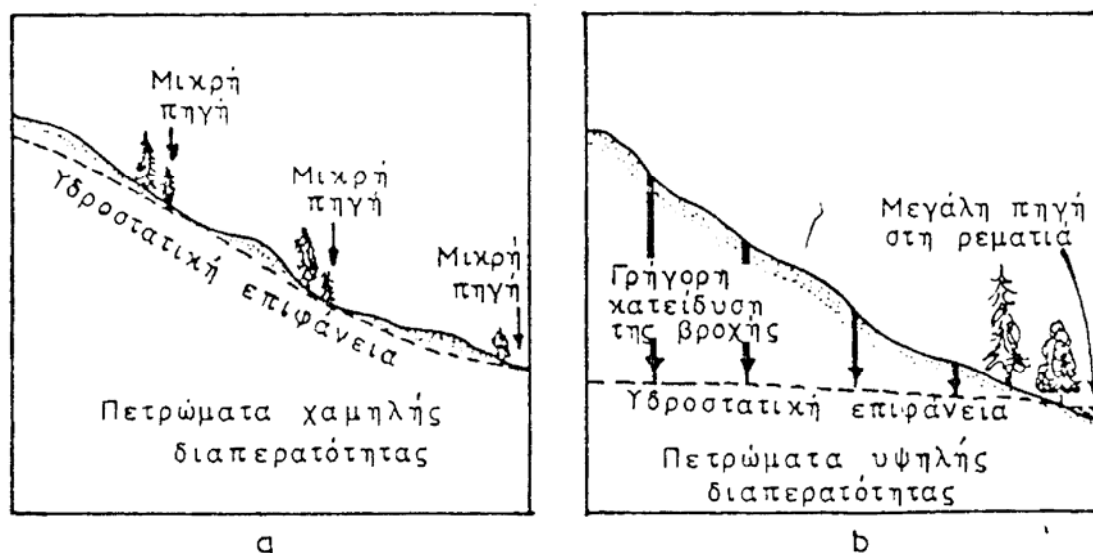
Από τα παραπάνω φυσικά καταλαβαίνουμε τον μόνιμο ρόλο των ενεργών Qanat από άποψη παροχής βέβαια με τιμές διόλου ευκαταφρόνητες, τόσο για αρδευτική όσο και για υδρευτική χρήση όπως θα αντιληφθούμε και σε επόμενο κεφάλαιο.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2

Οι πηγές αποτελούν μια ασφαλή ενδειξη του είδους της υδροφορίας μιας περιοχής. Μεγάλος αριθμός μικρών πηγών στις παρυφές μίας κοιλάδας και στα κράσπεδα των λόφων γενικά μαρτυρούν την ύπαρξη ρηχού ελεύθερου υδροφόρου μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας (Σχ. 20Α). Αντίθετα, μεγάλες πηγές συγκεντρωμένες στο πυθμένα της κοιλάδας μαρτυρούν την ύπαρξη σημαντικού ελεύθερου υδροφόρου μεγάλης υδραυλικής αγωγιμότητας (Σχ. 20Β). Για μια ακόμη φορά βλέπουμε την πλήρη ταύτιση των πηγών με τα συστήματα Qanat, από πλευράς εκροής, δεδομένου ότι οι απολήξεις των τελευταίων βρίσκονται στους πυθμένες ξηρών κοιλάδων.



Σχ. 20. Η θέση της υδροστατικής επιφάνειας ανάλογα με την υδραυλική αγωγιμότητα, όπου (Α) μικρή υ.α. δημιουργεί πολλές και μικρές πηγές με μεγάλη υδραυλική κλίση και (Β) υψηλή υ.α. δημιουργεί λίγες πηγές αλλά μεγάλων παροχών (Καλλέργης, 1986).

Γενικά για πηγές που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία πόσιμου νερού θα πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- Ι. Καθαρή και χωρίς ρύπους λεκάνη απορροής**
- ΙΙ. Πρακτικά ομοιόμορφη θερμοκρασία νερού σε κάθε εποχή**
- ΙΙΙ. Μικρές κατά το δυνατόν διαφορές στην παροχή τους και ιδιαίτερα καμιά απότομη αύξηση των παροχών τους μετά από δυνατή βροχόπτωση ή λιώσιμο χιονιού.**

Όσον αφορά την πρώτη προϋπόθεση θα αναφερθούμε εκτενώς σε άλλο σημείο ειδικά για την περιοχή (στο κεφ. των Υδροχημικών Στοιχείων).

Από μετρήσεις **θερμοκρασίας νερού (σε °C)** που πήραμε κατά την διάρκεια μέτρησης της παροχής και στα δύο συστήματα Qanat που μελετήσαμε στην περιοχή, διαπιστώσαμε μια αξιόλογη αντιστοιχία ανάμεσα στις μετρήσεις των δύο συστημάτων καθώς και μια κοινή γενική ομοιομορφία στις ίδιες τιμές **(ΠΙΝΑΚΑΣ 6)**:

ΠΙΝΑΚΑΣ 6

ΜΗΝΕΣ	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O
QANAT 1 (σε °C)	14	13	14	14	14	14	14	9	-	15
QANAT 2 (σε °C)	14	10	13	14	15	15	15	9,5	-	14,5

Είναι σαφής η αντιστοιχία ανάμεσα στις μετρήσεις και η σταθερότητα που παρουσιάζουν στο μεγαλύτερο μέρος τους. Το γεγονός αυτό γίνεται πιο αξιόλογο εάν αναλογιστούμε ότι το Q1 εντοπίζεται σε ένα βάθος 3,5μ. περίπου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ η εκροή του Q2 είναι σχεδόν επιφανειακή. Αυτή η σταθερότητα ιδανικών συνθηκών, σε όλη την διάρκεια του έτους, που εξασφαλίζεται με τα συστήματα αυτά, είναι ένα ισχυρό πλεονέκτημα έναντι των όποιων φυσικών πηγών.

Ισχύει ότι η ελάχιστη παροχή μιας πηγής κατά την ξηρή περίοδο καθορίζει και τα όρια χρησιμοποίησής της. Συνιστάται επίσης να υδρομαστεύονται κατά το δυνατόν εκείνες οι πηγές, στις οποίες η σχέση της ελάχιστης παροχής προς την μέγιστη να μην είναι μικρότερη από το πηλίκο 1:10, επειδή μεγαλύτερες διακυμάνσεις της παροχής παρουσιάζονται παράλληλα με ισχυρές προσωρινές μεταβολές της χημικής σύστασης του νερού και της θερμοκρασίας.

Σε πηγές επίσης όπου το πηλίκο είναι μικρότερο από 1:10 και το νερό της πηγής παρουσιάζει ισχυρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας δημιουργείται πάντοτε ο κίνδυνος να παρουσιασθούν μικροβιακές μολύνσεις εξαιτίας της μικρής παραμονής του υπόγειου νερού στο υπέδαφος.

Παρατηρώντας αντίστοιχα τις τιμές του **ΠΙΝΑΚΑ 5**, διαπιστώνουμε ότι το παραπάνω όριο ικανοποιείται άριστα από το Q2, καθώς επίσης οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας είναι τέτοιες που δεν επιτρέπουν την παρουσία μικροβιακών μολύνσεων μέσα στο νερό.

Το υπόγειο νερό που βρίσκεται μέσα σε στερεά συνεκτικά πετρώματα, προέρχεται κυρίως από ανοικτές κατατμήσεις, ρωγμές και άλλες ανοικτές δομές του πετρώματος. Οι ανοικτοί αυτοί δρόμοι μέσα στους οποίους κινείται το νερό σχηματίζουν ένα πυκνό ή αραιό δίκτυο συνδεδεμένων υδραυλικών μεταξύ τους αγωγών με πολυσχιδή μορφή, που σχηματίζουν τον υδροφόρο ορίζοντα του πετρώματος και ο οποίος εκδηλώνεται με την παρουσία πηγών. Η υδρομάστευση τέτοιων υδροφόρων οριζόντων που αναπτύσσονται στα στερεά συνεκτικά πετρώματα προκύπτει είτε με υδρομάστευση των πηγών που προκύπτει ύστερα από καλλιέργειά τους, είτε με αποστραγγιστικές σήραγγες, είτε με αβαθή πηγάδια, είτε τέλος με γεωτρήσεις.

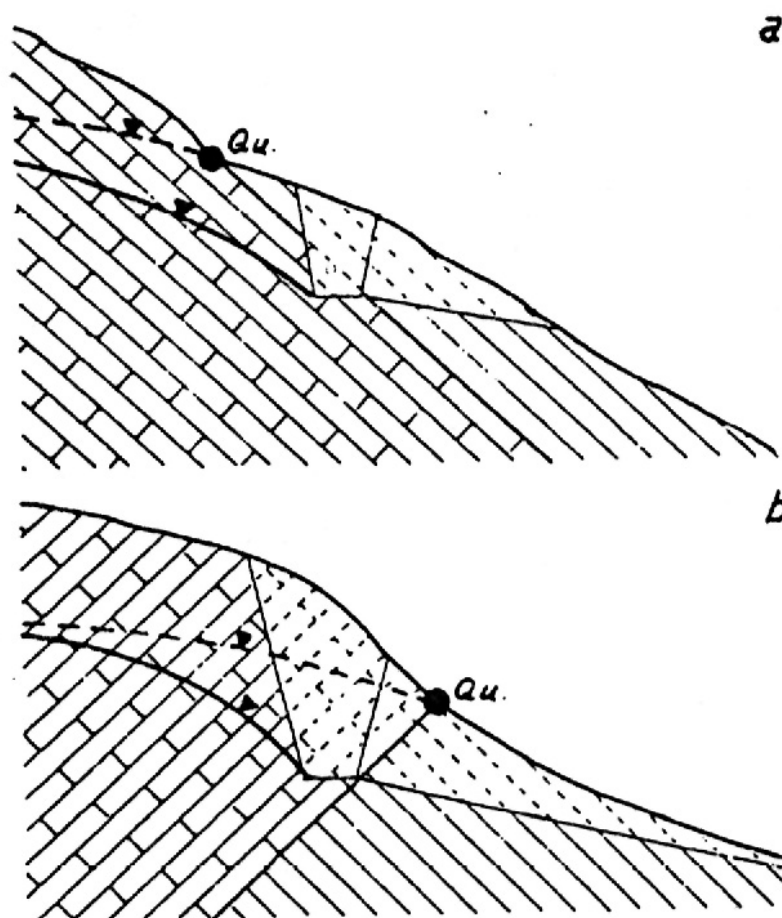
Για την υδρομάστευση των πηγών και την κατασκευή υδρομαστευτικών έργων υπάρχουν μόνο λίγοι γενικοί κανόνες, επειδή κάθε εμφάνιση πηγών μπορεί να διαφέρει εντελώς από μια άλλη και οι υδρογεωλογικές συνθήκες υπό τις οποίες παρουσιάζονται οι πηγές μπορεί να είναι εντελώς διαφορετικές. Σε κάθε περίπτωση όμως υπάρχει ένας κανόνας, ότι δηλαδή κάθε πηγή συμπεριλαμβανομένων και των γύρω μικρότερων πηγών, καλλιεργείται μέχρι τέτοιο βάθος και πλάτος, έτσι ώστε να μπορεί να υδρομαστεύεται κατά το δυνατόν ολόκληρη η ποσότητα του νερού που εξέρχεται από τα πετρώματα.

Την κατάλληλη καλλιέργεια, την οποία πρέπει να κάνουμε σε μια πηγή θα μας την υποδείξει η ειδική γεωλογική χαρτογράφηση της εγγύτερης περιοχής της πηγής.

Μόνο έτσι θα εξακριβώσουμε τον **τύπο της πηγής**, κάτι το οποίο είναι απολύτως απαραίτητο για την ορθή καλλιέργεια της πηγής.

Αν τα στρώματα κλίνουν προς την πλευρά της πηγής πρόκειται για πηγή υπερχείλισης μπροστά από το αδιαπέρατο πέτρωμα (**Σχ. 21 Α,Β**), τότε η καλλιέργεια γίνεται από το σημείο εξόδου της πηγής, είτε χαμηλότερα όπου η κλίση του πρανούς είναι μικρότερη είτε με μια απόξεση του πετρώματος μέχρι να τμήσει το υποκείμενο αδιαπέρατο πέτρωμα και να βρεθεί κάτω από την αρχική έξοδο της πηγής.

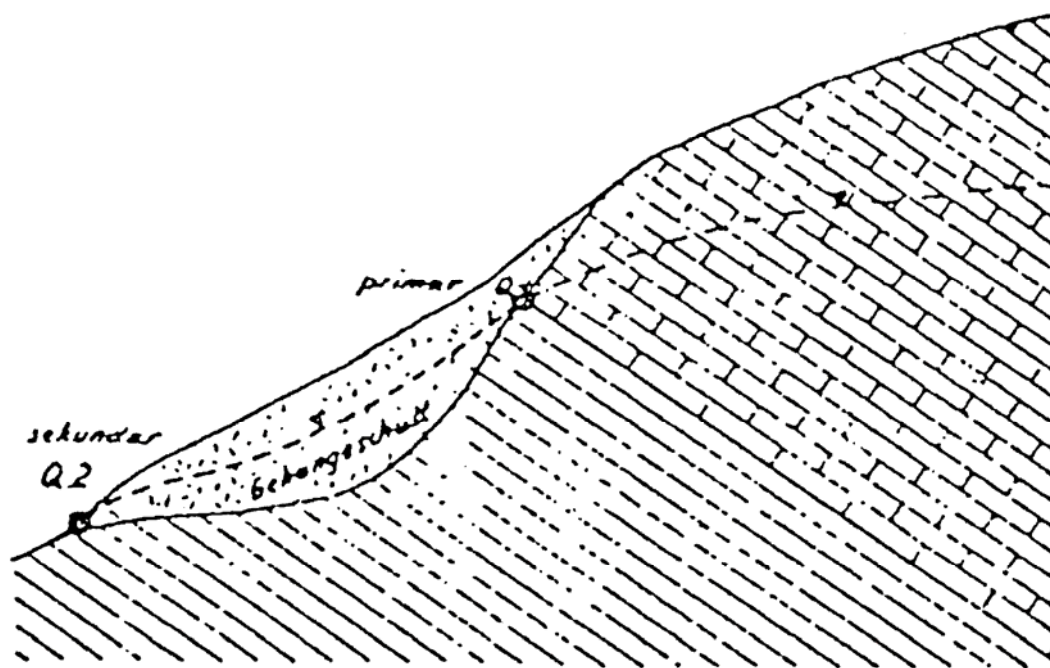
Αν παρουσιάζεται η αντίθετη περίπτωση, όπου τα πετρώματα κλείνουν αντίθετα από την έξοδο της πηγής, τότε η απόξεση του πετρώματος θα πρέπει να γίνεται πάντοτε πάνω από την αρχική έξοδο της πηγής.



Σχ. 21. Καλλιέργεια και υδρομάστευση πηγής που εξέρχεται στο πρανές με (Α) κλίση των στρωμάτων ομόρροπη με την κλίση του πρανούς (Β) με κλίση αντίρροπη προς την κλίση του πρανούς (Δημόπουλος Γ., 1995).

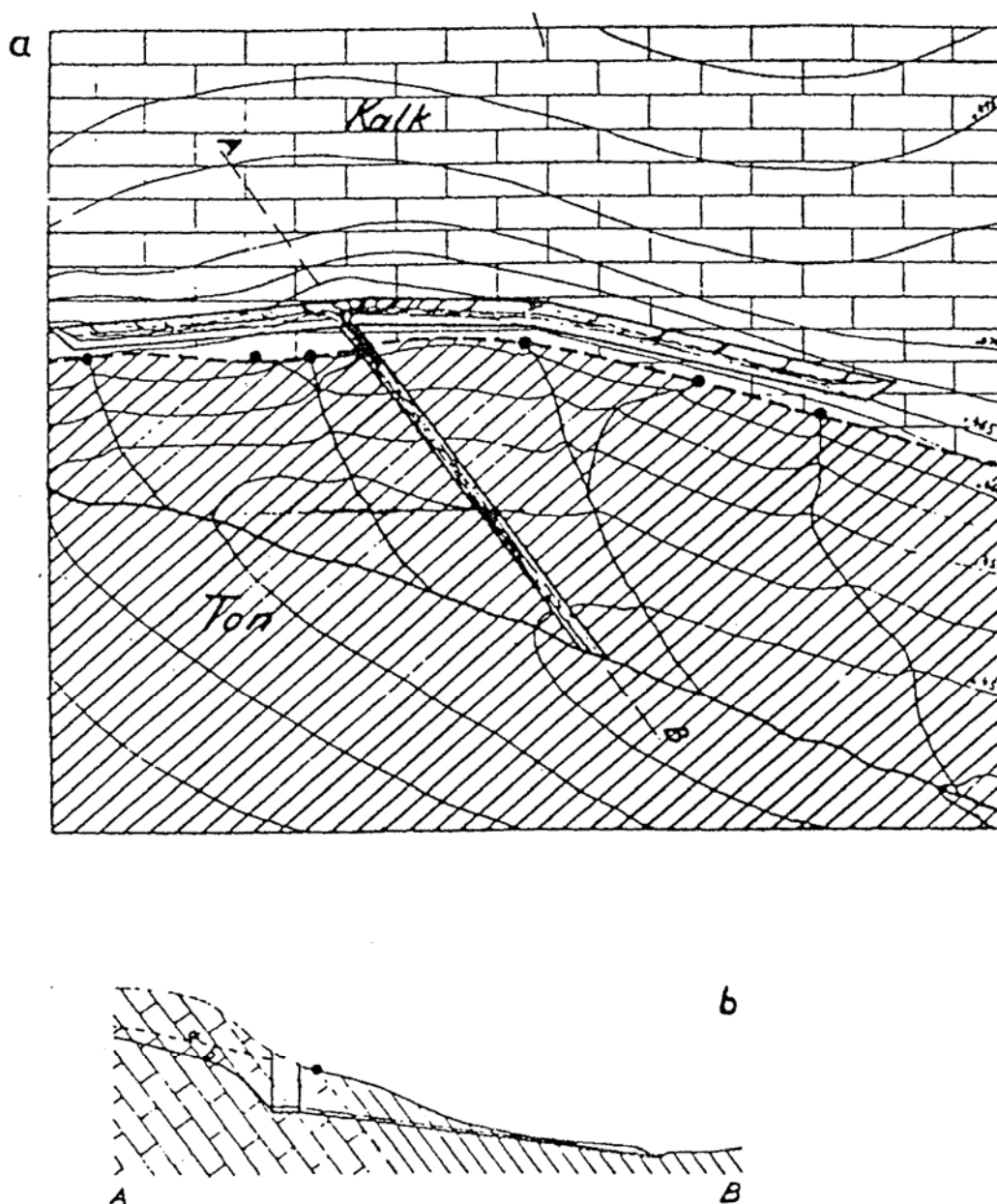
Κατά την καλλιέργεια μιας πηγής (βλ. Σχ. 22) θα πρέπει να προσέξουμε αν ο τόπος όπου εμφανίζεται η πηγή ταυτίζεται με τον τόπο δημιουργίας της πηγής. Συνήθως η πραγματική έξοδος της πηγής βρίσκεται ψηλότερα από την θέση εκείνη από την οποία εμφανίζεται η πηγή σε ένα πρανές. Αποτελεί δηλαδή αυτή η θέση μια φαινομενική θέση εμφάνισης της πηγής. Στην περίπτωση αυτή το νερό μπορεί μέσα από διαπερατά πλευρικά κορήματα να μεταναστεύει σε χαμηλότερες θέσεις και στην θέση όπου αυτά τελειώνουν και αποσφηνώνονται, εμφανίζεται η πηγή. Στην

περίπτωση αυτή θα πρέπει κανείς να αποφασίσει πια από τις δυο θέσεις της πηγής θέλει να υδρομαστεύσει. Αν μπορεί να καθορίσει επακριβώς την αρχική θέση της πηγής, με βάση τα γεωλογικά δεδομένα και εάν τα έξοδα και τα τεχνικά μέσα υδρομάστευσης δεν είναι πολλά, τότε προβαίνει στην υδρομάστευση της πηγής. Συνήθως όμως σε αυτήν την θέση το πλάτος, από το οποίο εξέρχονται οι πηγές, είναι πολύ μεγαλύτερο από την πρώτη περίπτωση.



Σχ. 22. Δευτερογενής έξοδος πηγής Q_2 στο πόδα ενός σχηματισμού με πλευρικά κορήματα. Η πρωτογενής έξοδος της πηγής Q_1 βρίσκεται υψηλότερα, στην επαφή των δύο σχηματισμών (Δημόπουλος Γ., 1995).

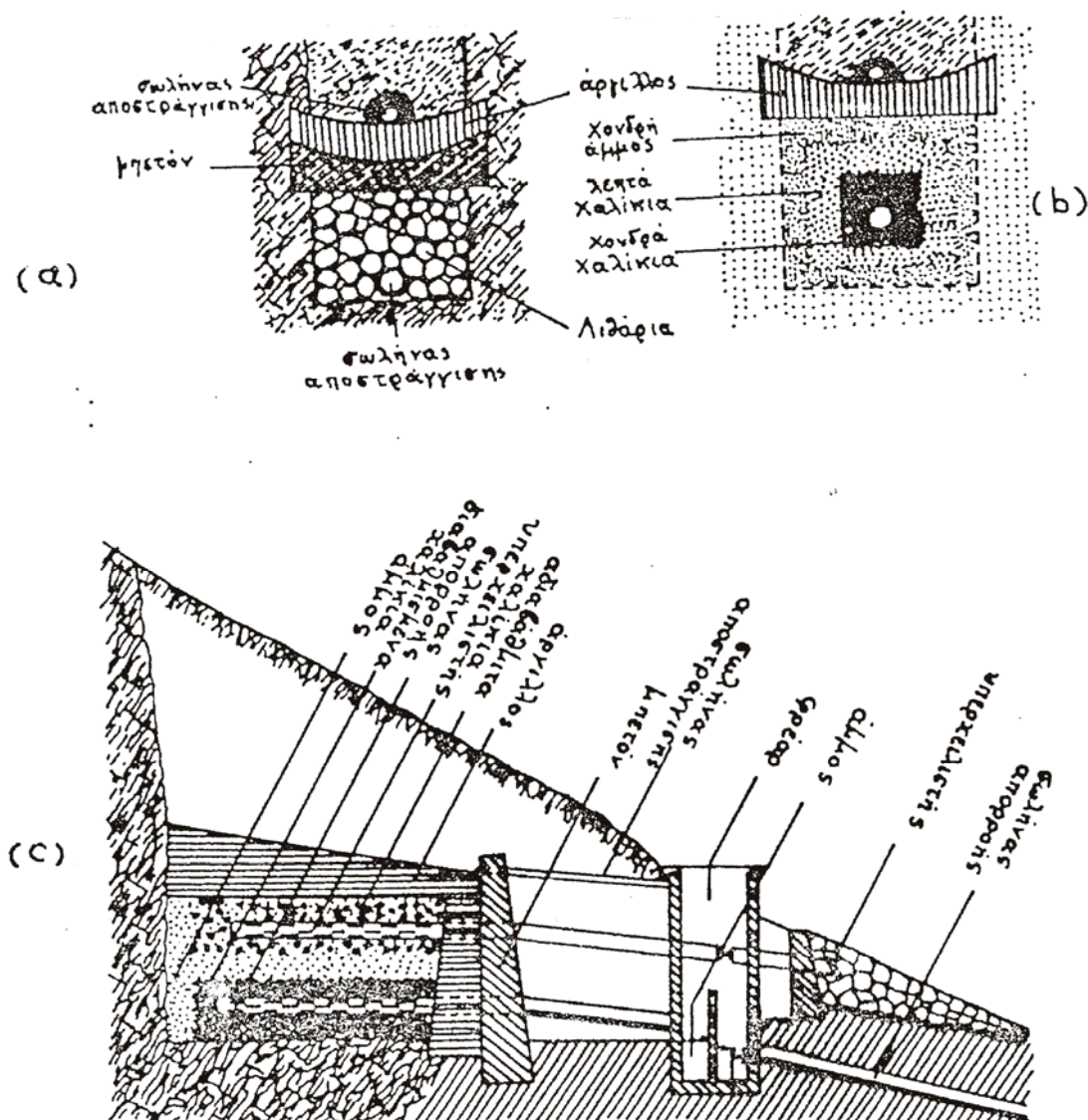
Οι εργασίες της καλλιέργειας μιας πηγής αρχίζουν από την απόξεση του πετρώματος κάτω από τον τόπο εμφάνισης της πηγής και την διάνοιξη μιας τάφρου με ομαλή κλίση της βάσης προς την πλευρά της πηγής. Από την τάφρο αυτή θα πρέπει με την βοήθεια μιας υπόγειας σήραγγας να μεταφερθούν τα νερά της πηγής έξω από την πηγή σε χαμηλότερη περιοχή (Σχ. 23Α). Η τάφρος σκάβεται τόσο βαθιά μέσα στο πρανές, ώστε η περιοχή της υδρομάστευσης με την προβλεπόμενη κλίση της βάσης της σήραγγας να μπορεί να φτάσει στο απαιτούμενο βάθος. Όταν η τάφρος φτάσει στο ύψος της διαχωριστικής επιφάνειας, ανάμεσα δηλαδή στο υδροπερατό και αδιαπέρατο πέτρωμα, προβαίνουμε και στην εγκάρσια διάνοιξη της τάφρου (Σχ. 23Β). Η διάνοιξη αυτής της οριζόντιας τάφρου προχωρά κατά μήκος της διαχωριστικής επιφάνειας μέχρις ότου όλες οι προκαθορισμένες πηγές υδρομαστευθούν με ανάλογες σωληνώσεις. Αν η ποσότητα του νερού που έρχεται στις σωληνώσεις είναι μεγαλύτερη από αυτή που μπορούν να υδρομαστεύσουν οι σωληνώσεις, τότε μεταφέρονται υπόγεια προς την έξοδο με στοές υπερχειλήσης.



Σχ. 23. Καλλιέργεια και υδρομάστευση πηγών (α) με τάφρους κάθετα και παράλληλα στη διεύθυνση ροής και (β) τομή του ίδιου τύπου (Δημόπουλος Γ., 1995).

Ένα άλλος τύπος υδρομάστευσης υπόγειου νερού είναι η κατασκευή αποστραγγιστικών στοών και σηράγγων (Σχ. 24). Μια τέτοια κατασκευή αποτελείται από έναν ή περισσότερους αποστραγγιστικούς σωλήνες (σήραγγες). Αυτοί κατασκευάζονται συνήθως από μπετόν μέσα σε μικρού πάχους επιφανειακούς υδροφόρους ορίζοντες, η υδρομάστευση των οποίων με την βοήθεια φρεάτων φαίνεται ασύμφορη, κάθετα στην διεύθυνση ροής και πάνω ακριβώς από την βάση του υδροφορέα. Οι σωλήνες αυτοί περιβάλλονται με χαλικώδες φίλτρο. Στην συνέχεια αυτοί οδηγούν σε μια συλλεκτήρια τάφρο, η οποία κατασκευάζεται στο αδιαπέρατο πέτρωμα που βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Τέτοιες

κατασκευές χρησιμοποιούνται κατά κανόνα για να υδρομαστεύσουν υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες με ελεύθερη επιφάνεια (Δημόπουλος Γ, 1995).



Σχ. 24. Κατασκευή σήραγγας ή τάφρου υδρομάστευσης (α) σε στερεά ρωγμώδη πετρώματα (b) σε άμμους και χαλίκια (c) συνδυασμός σήραγγας και τάφρου σε τομή (Δημόπουλος Γ., 1995).

Όσον αφορά το βάθος υδροληψίας, αυτό πρέπει να είναι τουλάχιστον 3-5μ., προκειμένου το ανάντη υδροφόρο τμήμα να βρίσκεται, όταν αυτό είναι δυνατόν, αρκετά βαθύτερα από την επιφάνεια του εδάφους και να προστατεύεται έτσι όχι μόνο από επιφανειακές ρυπάνσεις αλλά και από τις ατμοσφαιρικές κυμάνσεις της θερμοκρασίας.

Στην περίπτωση των πηγών επαφής και γενικά σε εκείνες που δεν υπάρχει υπόγεια αποθήκη χαμηλότερα από το σημείο ανάβλυσης, το έργο υδρομάστευσης θα πρέπει να είναι οριζόντιο και πάντα κάθετο προς την διεύθυνση ροής ώστε να αυξηθεί το μέτωπο εκφόρτισης. Τυχόν κατασκευή του έργου παράλληλα προς την διεύθυνση ροής προς τα ανάντη είναι πολύ πιθανόν να προκαλέσει παροδική αύξηση της παροχής αλλά στείρευσή της κατά την ξηρή περίοδο.

Από τεχνικής πλευράς καθαρά, φαίνεται ότι ειδικά το σύστημα Qanat του Αγίου Γεωργίου ανταποκρίνεται σχεδόν απόλυτα στον παραπάνω τρόπο κατασκευής ενός υδρομαστευτικού συστήματος.

Στην περίπτωση των πηγών υπερχειλίσης και γενικά των πηγών που υπάρχει σημαντική υπόγεια αποθήκη κάτω από το σημείο ανάβλυσης, ενδείκνυται η κατασκευή κατακόρυφων έργων (πηγαδιών- υδρογεωτρήσεων) ανάντη του σημείου εκφόρτισης. Τα έργα αυτά θα πρέπει να φθάνουν μέχρι και το στεγανό υπόβαθρο και να προχωρούν και μέσα σε αυτό μέχρι να συναντήσουν το υγιές πέτρωμα, εκτός εάν η σκοπούμενη παροχή σε σχέση με το πάχος της υπόγειας αποθήκης στο σημείο κατασκευής του έργου υδροληψίας, είναι μικρή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πηγές με μεγάλες εποχικές διακυμάνσεις έχουν κατά κανόνα μικρή αποθήκη (υδρογεωλογική λεκάνη).

Οι παροχές των συγκεκριμένων συστημάτων που μελετήσαμε δεν ικανοποιούν σε καμιά περίπτωση τον παραπάνω κανόνα, γεγονός που σημαίνει ότι οι υδροφόροι τους αποστραγγίζουν υπόγεια κυρίως λεκάνες κάποιας σημαντικής έκτασης.

Τα έργα υδρομάστευσης πρέπει να είναι σωστά σχεδιασμένα, ώστε:

- Να είναι επισκένημα.
- Να είναι έτσι διατεταγμένα ώστε η επιθεώρησή τους και η συντήρησή τους να μην προκαλεί ρύπανση του νερού.
- Να εξασφαλίζεται η υπερχειλίση, ώστε το νερό να μην έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες που είναι δυνατόν να ρυπαίνονται κατά τις επισκέψεις στα έργα.
- Να είναι εξοπλισμένα με διάταξη που εξασφαλίζει τον επαρκή αερισμό του νερού.
- Η είσοδος επίσκεψης να είναι απόλυτα στεγανή.
- Να είναι εξασφαλισμένη η μη ανάμειξη του νερού του γεωλογικού αποθέματος με τα νερά άλλης προέλευσης.

Ενδεικτικά εδώ αναφέρουμε μόνο, ότι τα μελετούμενα Qanat πληρούν τέλεια ίσως τις παραπάνω προϋποθέσεις με γνώμονα πάντα την τεχνοτροπία της κατασκευής τους.

Όσον αφορά επιπλέον τα οριζόντια έργα υδροληψίας (στοές και ορύγματα), πρέπει να σημειώσουμε ότι η επένδυση της στοάς πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εμποδίζεται απόλυτα η είσοδος σε αυτή επιφανειακών ή άλλων ανεπιθύμητων νερών. Οι στοές υδροληψίας παρουσιάζουν μεγάλο κόστος και για αυτό κατασκευάζονται μόνον όταν δεν προσφέρονται τα παραδοσιακά έργα υδροληψίας. Ανάλογα με την κατασκευή τους υπάρχουν όλες οι διαβαθμίσεις από την καθαρή υδρομαστευτική στοά, μέχρι την στραγγιστική στοά. Οι τελευταίες συνήθως χρησιμοποιούνται για υδρομάστευση διάχυτης υδροφορίας σε συμπαγή πετρώματα, όταν δεν προσφέρεται η κατασκευή στραγγιστικής τάφρου, καθώς και για την εκμετάλλευση υδροφόρων που βρίσκονται ψηλότερα από την περίμετρο στην οποία θα χρησιμοποιηθεί το νερό.

Ως κατακλείδα από όλα τα παραπάνω αναφέρουμε ότι η μεθοδολογία στην εκμετάλλευση των καρστικών νερών (πηγαίων και υπογείων) είναι διαφορετική από ότι των νερών σε κοκκώδεις σχηματισμούς και γίνεται κυρίως με πηγάδια, στοές που ξεκινούν από πηγάδια και γεωτρήσεις (υπόγεια νερά) ή με τάφρους, στοές κ.λπ. (πηγαία νερά), εξαιτίας της ιδιομορφίας που παρουσιάζει το καρστ. Η διαφορά παρουσιάζεται κυρίως στην δυσκολία που υπάρχει να εντοπιστούν οι πιο κατάλληλες θέσεις για την εκτέλεση των σχετικών έργων.

Εάν το επίπεδο βάσης του καρστικού υδροφόρου είναι πέτρωμα υδατοστεγές, η αποστράγγιση του γίνεται κατά κανόνα γρήγορα και χωρίς συνέχεια, με αποτέλεσμα τα πηγάδια και οι γεωτρήσεις να μην είναι πάντοτε αποδοτικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι προτιμότερο να γίνονται στοές, που το δάπεδό τους να είναι υδατοστεγές πέτρωμα και ο άξονάς τους να είναι κάθετος προς την ροή των καρστικών νερών.

Όταν σχεδιάζεται η αξιοποίηση μιας πηγής, δεν θα πρέπει να παραλείπεται ότι η πηγή αυτή, ανάλογα με τον τύπο στον οποίο ανήκει, δεν είναι παρά ένα σύμπτωμα μέσα σε ένα καρστικό σύστημα. Έτσι λοιπόν απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή επιλογή του συστήματος υδροληψίας είναι η γνώση:

- Τον τύπου της πηγής
- Τον μηχανισμό της πηγής
- Της ποιότητας νερού της πηγής και της διακύμανσής της
- Της δόξας της πηγής και του καρστικού συστήματος καθώς και της απόκρισης του τελευταίου στις μεταβολές της πρώτης.

Αυτονόητο βέβαια είναι, ότι πέρα από τους πιο πάνω παράγοντες, τα έργα υδρομάστευσης διαφοροποιούνται στις παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές, ενώ όταν είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά του καρστικού συστήματος που τις τροφοδοτούν, η αξιοποίηση του καρστικού νερού του συστήματος αποτελεί τον καλύτερο τρόπο αξιοποίησης των πηγών που τροφοδοτεί.

9. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ QANAT ΤΗΣ ΕΠΑΡΧΙΑΣ ΦΥΛΛΙΔΑΣ

Τα πρώτα συστήματα κανάτ που μελετήθηκαν στην Ελλάδα είναι αυτά της παρούσας μελέτης (Βαβλιάκης 1989). Τα κανάτ της περιοχής έρευνας που χαρτογραφήσαμε, τα διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτά που βρίσκονται σε λειτουργία και υδροδοτούν πολλούς οικισμούς της επαρχίας αυτής. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν αυτά που για διάφορους λόγους δεν έχουν νερό σήμερα και τα χαρακτηρίζουμε ως **αδρανή**.

A. ΕΝΕΡΓΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ QANAT

Qanat που σήμερα λειτουργούν και παρέχουν νερό για ύδρευση ή άρδευση εντοπίστηκαν στα διοικητικά όρια των εξής κοινοτήτων ή Μονών **(βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 3):**

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1. <u>Νέας Ζίχνης</u> | 10. Πρώτης |
| 2. Μεσορράχης | 11. Ροδολείβους |
| 3. Δήμητρας | 12. Παλαιοκώμης |
| 4. <u>Π.Λευκοθέας</u> | 13. Δραβείσκου |
| 5. Σ.Σ. Αγγίστας | 14. Μυρίνης |
| 6. Αγγίστας | 15. Μικρού Σουλίου |
| 7. Κρηνίδας | 16. Μονής Εικοσιφοίνησησης |
| 8. Ηλιοκώμης | 17. Μονής Αγ. Κυριακής |
| 9. Κορμίστας | 18. Μονής Αγ. Παρασκευής |

Οι θέσεις και τα μήκη πολλών από τα Qanat που χαρτογραφήθηκαν σε κλίμακα 1:50.000 **(Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 3, Βαβλιάκης Ε., 1989)**, είναι ενδεικτικές δεδομένου ότι η χαρτογράφησή τους βασίστηκε αποκλειστικά σε μορφολογικά και υδρογραφικά κριτήρια. Η ακριβής και λεπτομερής χαρτογράφησή τους απαιτεί συνδυασμένη μορφολογική και γεωφυσική έρευνα για κάθε ένα Qanat που δεν ήταν δυνατή για λόγους οικονομικούς.

Τα πιθανά μήκη που χαρτογραφήθηκαν κυμαίνονται από 35μ. μέχρι και πάνω από 4Km.

Ανάλογα με την επιφανειακή μορφολογία και την λιθουδρογεωλογική κατάσταση της ζώνης υδρομάστευσης των ενεργών κανάτ τα διακρίνουμε στους εξής τύπους:

- I. Τύπος κανάτ Ν. Ζίχνης
- II. Τύπος κανάτ Ροδολείβους
- III. Τύπος κανάτ Σ.Σ. Αγγίστας και
- IV. Τύπος κανάτ Αγγίστας.

Παρακάτω θα περιγράψουμε μόνο τον **τύπο I** διότι αφενός μεν έχει τύχει προηγούμενης μελέτης από τον Βαβλιάκη Ε. (1989), αφετέρου δε στον τύπο αυτό αντιστοιχεί και το κανάτ που βρίσκεται στον οικισμό της Π. Λευκοθέας.

A.1. ΤΥΠΟΣ QANAT ΝΕΑΣ ΖΙΧΝΗΣ-ΠΑΛΙΑΣ ΛΕΥΚΟΘΕΑΣ

Από μορφολογική άποψη το κανάτ αυτό έχει κατασκευαστεί στον πυθμένα ξηρής κοιλάδας που έχει σχηματιστεί σε Glacis με B-N διεύθυνση (**Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 2**).

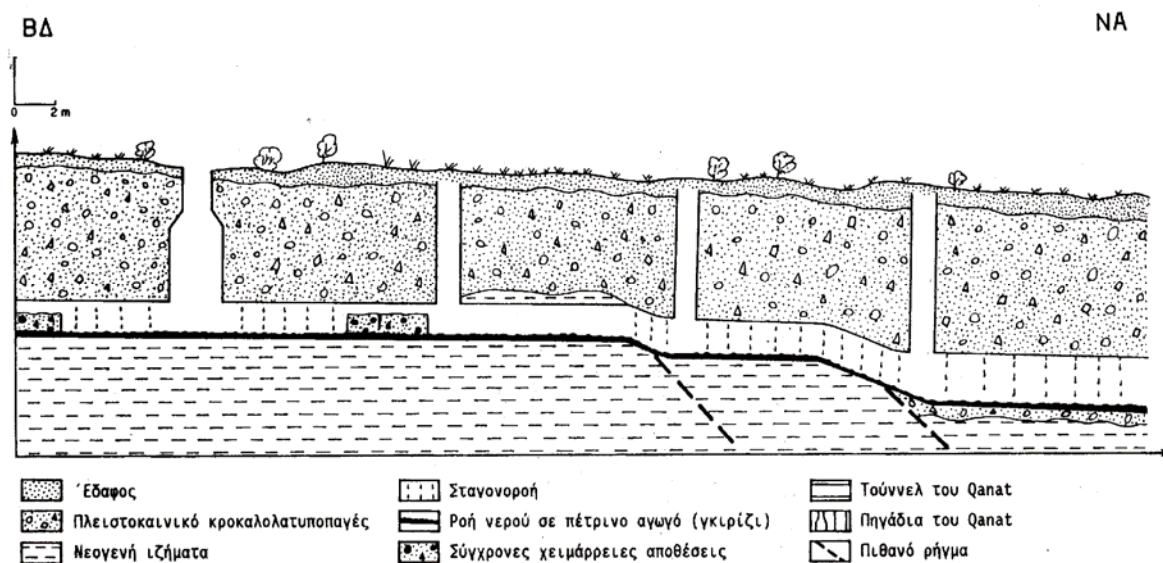
Στον ίδιο χάρτη διαπιστώνεται ότι και τα συστήματα κανάτ της περιοχής μελέτης έχουν κατασκευαστεί σε αντίστοιχη επιφάνεια διάβρωσης με διεύθυνση B-N.

Η ζώνη υδρομάστευσής του εντοπίστηκε σε απόσταση 2Km περίπου από το κέντρο της οικιστικής ζώνης της Ν. Ζίχνης. Στην απόσταση αυτή και στο κέντρο του πυθμένα της κοιλάδας, που διέρχεται από την Ν. Ζίχνη, εντοπίστηκε πηγάδι (**Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3**), με βάθος 7μ., διάμετρο στομίου 1.5μ. και διάμετρο πυθμένα 2μ. αυτή η διαφορά της διαμέτρου δίνει στο πηγάδι το σχήμα φιάλης (**Σχ. 25, Φωτ. 3**).

Με το πηγάδι αυτό συνδέεται τούννελ που το ύψος του είναι 1,5μ. περίπου (**Φωτ. 4**). Μετά από μια διαδρομή 3-5μ. μέσα στο τούννελ το ύψος του περιορίζεται στα 30-40εκ.



Φωτ. 3. Άποψη του εσωτερικού χώρου πηγαδιού του Qanat της Ν. Ζίχνης. Η διαφορά της διαμέτρου είναι ενδεικτική του σχήματος της φιάλης του πηγαδιού (Βαβλιάκης 1989).



Σχ. 25. Σχηματική γεωλογική τομή στην ζώνη υδρομάστευσης του μεγαλύτερου Qanat της Ν. Ζίχνης (Βαβλιάκης, 1989).

Όσον αφορά τα συστήματα Qanat του οικισμού Π. Λευκοθέας, εντοπίζουμε τρία ξεχωριστά τούννελ, όπου μόνο τα δύο όμως είναι σε φυσική λειτουργία και μόνο αυτό που βρίσκεται πίσω από την εκκλησία του Αγίου Γεωργίου (**Q2**) είναι περισσότερο αξιοποιήσιμο και προς εκμετάλλευση. Η ζώνη υδρομάστευσης των συστημάτων αυτών εντοπίζεται σε απόσταση 1,4 χλμ. περίπου από το σημείο εκροής τους στο κέντρο σχεδόν του οικισμού.

Το απενεργοποιημένο Qanat παρουσιάζει το μεγαλύτερο μήκος από τα τρία φτάνοντας τα 1.400μ. περίπου. Το κεντρικό Qanat (Q1) παρουσιάζει ένα σχετικό μήκος που αντιστοιχεί στα 460μ., αυτά και τα δύο μαζί τροφοδοτούσαν την μικρή τεχνητή λίμνη του οικισμού που χρησιμοποιούνταν παλιότερα, όπως θα δούμε σε άλλο κεφάλαιο, για την άρδευση τουλάχιστον 1000 στρεμμάτων. Το τρίτο σύστημα έχει μήκος που φτάνει τα 730μ. και ρέει στον πυθμένα ξηρής κοιλάδας, περίπου 200μ. ανατολικά του κέντρου του οικισμού και είναι το περισσότερο καλά διατηρημένο (Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3).

Προσεγγίζουμε στο εσωτερικό του κεντρικού Qanat με την βοήθεια ενός πηγαδιού (τσιμεντένια κατασκευή), η είσοδος του οποίου βρίσκεται 4μ. από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και συνάμα η όλη κατασκευή έχει σχήμα φιάλης. Ενδεικτικά η διάμετρος της οπής στην επιφάνεια, η οποία σημειωτέον έχει τετραγωνική μορφή, φτάνει τα 80εκ. και υψώνεται μόλις 50εκ. από την επιφάνεια του εδάφους. Αμέσως κάτω από την τελευταία η διάμετρος αυξάνει στα 2μ. περίπου, διατηρώντας τις τετραγωνικές διαστάσεις της.

Όσον αφορά το ανατολικό Qanat, αυτό παρουσιάζει πλάτος οπής 60εκ και ύψος από την επιφάνεια του εδάφους περίπου 80εκ, σαφώς η μορφή του συστήματος αυτού είναι περισσότερο ορθογώνια. Το Qanat αυτό φαίνεται να προσεγγίζει την στάθμη του υδροφόρου σε βάθος 1,5μ. περίπου, αυξάνοντας ελαφρά το ευρύς του στο 1μ. Ασφαλώς η όποια κίνηση μέσα σε αυτό γίνεται πολύ δύσκολα.

Από την στρωματογραφική μελέτη των πηγαδιών αυτών διαπιστώθηκε, ότι έχουν κατασκευαστεί στην επαφή ασβεστολιθικών κροκαλολατυποπαγών με μαργαϊκό υλικό, το οποίο στην βιβλιογραφία είναι γνωστό με τον όρο **‘Μάργα του Βερό’**. Την επαφή αυτή την βλέπουμε ξεκάθαρα στο Q1, σε βάθος 3,5μ. περίπου από την επιφάνεια του εδάφους.

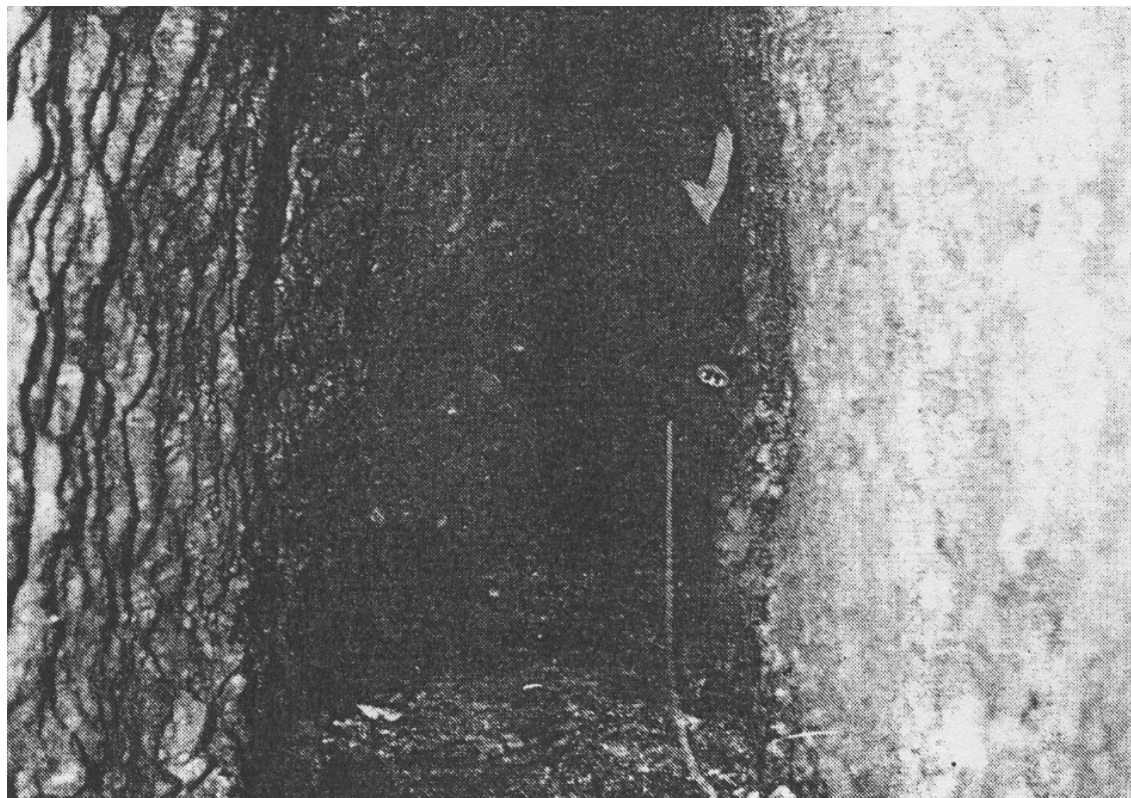
Από την στρωματογραφική μελέτη του πηγαδιού και του τούννελ της **N. Ζίχνης** διαπιστώθηκε, ότι το τελευταίο έχει κατασκευαστεί στην επαφή κροκαλολατυποπαγών και αργιλικών ιζημάτων σε βάθος 5,5μ. από την επιφάνεια του εδάφους.

Γενικά η μείωση του τούννελ της **N. Ζίχνης** σε μια ακτίνα 5-8μ. από τον πυθμένα του πρώτου πηγαδιού, οφείλεται στο γεγονός ότι, κατά τις κατακλυσμιαίες βροχοπτώσεις το Σεπτέμβριο του 1957, επιφανειακά νερά πλημμυρών εισήλθαν από το ανοικτό τότε στόμιο του πηγαδιού μέσα στο τούννελ, το οποίο πρόσχωσε σε ύψος 1-1,20μ.

Παρά την πρόσχωση του τούννελ στο τμήμα αυτό δεν σταμάτησε η ροή νερού προς το χωριό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην βάση του τούννελ υπάρχει πέτρινος αγωγός με πλάτος 40εκ. και ύψος 10-15εκ. περίπου. Ο αγωγός αυτός που σε κάθετη τομή έχει ορθογώνιο σχήμα, είναι κλειστός στο επάνω τμήμα του. Σε ορισμένες όμως αποστάσεις υπάρχουν ανοίγματα που κατά την άποψη μας αποσκοπούν αφενός μεν στην δυνατότητα εισόδου του νερού που κατέρχεται από την οροφή και τα πλευρικά τοιχώματα του τούννελ, αφετέρου στις περιπτώσεις που η παροχή του νερού είναι μεγάλη να ρέει αυτό έξω από τον πέτρινο αγωγό.

Σε απόσταση 20μ περίπου νότια από το πρώτο πηγάδι, διαπιστώθηκε απότομη αύξηση της κλίσης του πυθμένα του τούννελ (**Φωτ. 4**). Η μεταβολή αυτή της κλίσης

προκαλεί αύξηση της ταχύτητας ροής του νερού σε μια απόσταση 3μ. περίπου. Στο διάστημα αυτό η ροή γίνεται στροβιλώδης που προκαλεί θόρυβο αισθητό σε απόσταση μεγαλύτερη από 20μ. Ανάλογη αύξηση της κλίσης του πυθμένα του τούννελ διαπιστώθηκε και σε δεύτερη θέση 8-10μ. περίπου Ν από την πρώτη (Σχ. 26).



Φωτ. 4. Το τούννελ του Qanat της Ν. Ζίχνης. Διακρίνεται η μεγάλη κλίση του πυθμένα του τούννελ, λόγω της παρουσίας πρόσφατου ρήγματος (Βαβλιάκης 1989).

Από την μελέτη της στρωματογραφίας του τούννελ διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της κλίσης του πυθμένα του στις συγκεκριμένες θέσεις έγινε από τους κατασκευαστές του για καθαρά τεχνικογεωλογικούς λόγους. Συγκεκριμένα στις θέσεις αυτές πρέπει να υπάρχουν ρήγματα με μετάπτωση της τάξης 1-1,2μ.

Μια ανάλογη κατάσταση συμβαίνει και με το Q2 της Π. Λευκοθέας, η ροή του οποίου επηρεάζεται σημαντικά από την δράση ενός ρήγματος πλειστοκαινικής ηλικίας και διεύθυνσης ΝΔ-ΒΑ (Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 1 & 2). Η μετάπτωση εδώ δεν ξεπερνά το 1μ.

Η πορεία των τούννελ στις ζώνες υδρομάστευσης και των δύο οικισμών είναι οφιοειδής και αυτό γιατί η πορεία αυτή εξασφαλίζει μεγαλύτερη επιφάνεια αποστράγγισης του υπερκείμενου κροκαλολατυποπαγούς και συνεπώς μεγαλύτερη παροχή του Qanat.

Η χρήση χρωστικής απέδειξε ότι το τούννελ που συναντούμε στον οικισμό της Ν. Ζίχνης συνδέεται με το φρεάτιο που κατασκεύασε η κοινότητα 300μ. Β από την παλαιά εθνική οδό Ν. Ζίχνης –Σερρών, στην βάση της ανατολικής κλιτύς της ξηρής κοιλάδας.

Από το φρεάτιο αυτό το νερό του κανάτ με ελεύθερη ροή οδηγείται με σύγχρονους πλαστικούς σωλήνες σε δεξαμενή και από εκεί διανέμεται στον οικισμό. Η μέση ετήσια παροχή αυτού του Qanat είναι μεγαλύτερη από 60 κυβικά/ώρα. Μέχρι την

κατασκευή του φρεατίου, που έγινε πριν το 1980, η μεταφορά του νερού του Qanat από την θέση του σημερινού φρεατίου μέχρι τις βρύσες, που τροφοδοτούσαν το ανατολικό τμήμα του οικισμού, γίνονταν με κυλινδρικού σχήματος πήλινους αγωγούς. Οι αγωγοί αυτοί στους κατοίκους της ευρύτερης περιοχής είναι γνωστοί ως **‘κιούγκια’**. Η επιφανειακή απόσταση του φρεατίου αυτού από τα πηγάδια του κανάτ είναι περίπου 700μ. Η υπόγεια απόσταση μεταξύ του φρεατίου και του πηγαδιού υποθέτουμε ότι είναι περίπου 1000μ. εξαιτίας της οφιοειδούς πορείας που ακολουθεί το μεταξύ τους τούννελ.

Η κατασκευή της ζώνης υδρομάστευσης στην παραπάνω κοιλάδα της Ν. Ζίχνης (κατά αντιστοιχία και στον οικισμό της **Π.Λευκοθέας**) έγινε κατά την άποψη μας για τους εξής λόγους:

- Στο πυθμένα της ξηρής κοιλάδας το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα είναι 7-9μ. ενώ στις παρακείμενες ράχεις 20-30μ. συνεπώς ο χρόνος και το κόστος κατασκευής του Qanat κατά μήκος του πυθμένα της ξηρής κοιλάδας ήταν μικρότερο, δεδομένου ότι το βάθος των πηγαδιών του τούννελ, που κατασκευάστηκαν ανά 10μ. περίπου είναι πολύ μικρότερο.
- Με την κατασκευή του Qanat στο κέντρο του πυθμένα της ξηρής κοιλάδας εξασφαλίστηκε μεγαλύτερη παροχή από ότι αν κατασκευαζόταν σε ράχη, γιατί στον άξονα του Qanat συγκλίνουν όλες οι υπόγειες και υποεπιφανειακές (υποδερμικές) γραμμές ροής, στις οποίες καταλήγει νερό της κατείσδυσης και της διήθησης από τα επιφανειακά ρέματα, που καταλήγουν στα Qanat και το τροφοδοτούν.
- Τα χιόνια που πέφτουν κατά την χειμερινή περίοδο παραμένουν στο πυθμένα και στις κλιτύες της κοιλάδας περισσότερο από ότι στις ράχεις. Είναι γνωστό ότι η κατείσδυση του νερού από την τήξη των χιόνων είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του νερού της βροχής. Αυτό συμβαίνει διότι οι τιμές της ταχύτητας εξάτμισης του νερού από την τήξη των χιονιών, είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές του νερού των βροχών της ίδιας περιόδου. Έτσι δικαιολογείται, και το γεγονός ότι η παροχή του Qanat που περιγράψαμε, κατά την θερινή περίοδο είναι σχετικά μεγάλη εφόσον κατά την χειμερινή περίοδο του ίδιου έτους το ύψος των χιονοπτώσεων είναι μεγάλο.

Από τα στοιχεία που αναφέραμε παραπάνω για το Qanat Ν. Ζίχνης αποδεικνύεται ότι οι κατασκευαστές του παραπάνω συστήματος διακρίνονται όχι μόνον για τις κατασκευαστικές ικανότητές τους αλλά κατείχαν και αξιοσημείωτες φυσικογεωγραφικές και υδρογεωλογικές γνώσεις.

Ασφαλώς παρόμοιες αιτιολογήσεις ισχύουν και για τα συστήματα Qanat της Π. Λευκοθέας, με την μόνη διαφορά ότι εδώ τα αριθμητικά μεγέθη που αναφέρονται παραπάνω περιορίζονται κατά το ήμισυ περίπου.

Στον ίδιο τύπο κανάτ ανήκουν και αυτά των κοινοτήτων Μεσορράχης, Δήμητρας, Λευκοθέας, Ηλιοκώμης και Κορμίστας. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των Qanat όλων των παραπάνω κοινοτήτων είναι ότι τα τελικά σημεία τους εντοπίζονται στον πυθμένα ή στις κλιτύες ξηρών κοιλάδων που διασχίζουν τους οικισμούς αυτούς.

B. ΑΙΡΑΝΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ QANAT

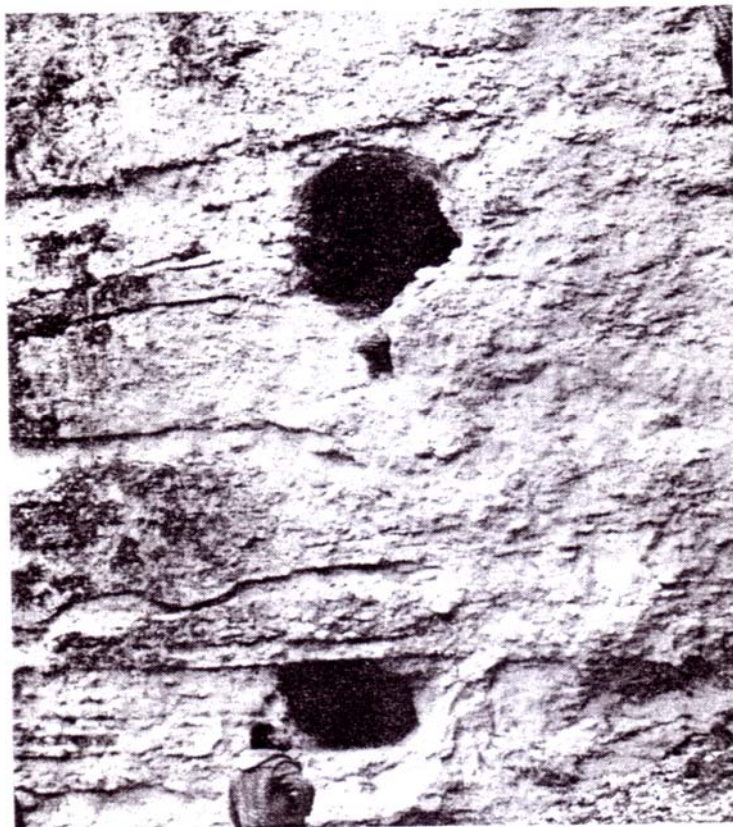
Στην περιοχή έρευνας, ταυτόχρονα με τα ενεργά, εντοπίστηκαν και Qanat που σήμερα δεν έχουν νερό και τα χαρακτηρίζουμε ως αδρανή **(βλ. Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3).**

Από την επιτόπια έρευνα και το συσχετισμό ιστορικών και σεισμολογικών στοιχείων (Βαβλιάκης Ε., 1989) διαπιστώθηκαν αφενός μεν οι παρακάτω παράγοντες αδρανοποίησής τους, αφετέρου δε ο πιθανός χρόνος κατασκευής τους.

B.1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

Τα υδρολιθολογικά δεδομένα της περιοχής έρευνας ευνοούν την εκδήλωση φαινομένων κατολίσθησης ιδιαίτερα κατά μήκος των απότομων κλιτύων των ανανεωμένων κοιλάδων στο χώρο των νεογενών και πλειστοκαινικών ιζημάτων.

Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελούν οι κατολισθήσεις πλειστοκαινικών κροκαλολατυποπαγών πάνω σε νεογενείς μάργες κατά μήκος των κλιτύων της κοιλάδας του Γαζώρου. Οι κατολισθήσεις αυτές προκάλεσαν και την αδρανοποίηση δύο συστημάτων Qanat BA από τα ερείπια της Π. Ζίχνης **(Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3, Φωτ. 5).**



Φωτ. 5. Τα αδρανή Qanat της Π. Ζίχνης στη δυτική κλιτύ της κοιλάδας του ρέματος Γαζώρου (Βαβλιάκης 1989).

Το μήκος των παραπάνω κανάτ είναι μεγαλύτερο από 2 Km. Τα ψηλότερα τμήματά τους βρίσκονται στην ανατολική και τα χαμηλότερα στη δυτική κλιτύ της κοιλάδας του Γαζώρου. Η σύνδεση μεταξύ των δύο τμημάτων των κανάτ της Π. Ζίχνης γίνονταν με υδρογέφυρα, το δυτικό τμήμα της οποίας σώζεται μέχρι σήμερα **(Φωτ. 6).**



Φωτ. 6. Τμήμα της υδρογέφυρας που συνδέει το ανατολικό με το δυτικό τμήμα ενός από τα αδρανή Qanat της Π. Ζίχνης (Βαβλιάκης 1989).

Δεν υπάρχουν ιστορικά στοιχεία σχετικά με τον χρόνο κατασκευής και τα αίτια αδρανοποίησης των παραπάνω συστημάτων.

Η συσχέτιση όμως των στοιχείων απογραφής πληθυσμού ή κατοικιών της Π. Ζίχνης (βλ. Πιν. 7), που αναφέρονται από διαφόρους ιστορικούς, με αυτά των ιστορικών σεισμών που αναφέρουν οι Κομνηνάκης και Παπαζάχος (1982) μας επέτρεψε έμμεσα μεν αλλά όχι αυθαίρετα, να προσδιορίσουμε το πιθανό χρόνο κατασκευής και τα αίτια αδρανοποίησής τους.

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται, ότι η Π. Ζίχνη ενώ το 1750 είχε 200 κατοικίες το 1877 μειώνονται στις 40.

Δεν υπάρχουν πληροφορίες για τα αίτια της παραπάνω μείωσης των κατοικιών μετά το 1750. η πιθανότερη αιτία θα πρέπει να ήταν ο σεισμός του 1829 με επίκεντρο τη Δράμα που, σύμφωνα με τους Κομνηνάκη και Παπαζάχο, είχε ένταση 7,3 Richter. Οι σεισμικές δονήσεις, εκτός από τις υλικές καταστροφές που προκάλεσαν σε μεγάλη ακτίνα από το επίκεντρο, θα πρέπει να προκάλεσαν και μεγάλης έκτασης κατολισθήσεις μαζών κατά μήκος των κλιτύων της κοιλάδας του Γαζώρου.

ΕΤΟΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ & ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΑΝΑΦΕΡΕΤΑΙ	ΟΝΟΜΑ ΧΩΡΙΟΥ	ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	ΚΑΤΟΙΚΟΙ
1464/65 (Μουτσόπουλος 1986)	Π. Ζίχνη	425	2.668
1750 (Μοσχόπουλος 1939)	Π. Ζίχνη	200	-
1877 (Φιλίππιδης 1877)	Π. Ζίχνη	40	-
1886 (Σχινάς 1886)	1. Π. Ζίχνη	-	175
	2. Ν. Ζίχνη	-	2.500

Πίν. 7. Στατιστικά στοιχεία κατοικιών και πληθυσμού της Π. Ζίχνης και της Ν. Ζίχνης (Μουτσόπουλος 1986).

Ο σεισμός του 1867 με ένταση 6,3 Richter πρέπει να προκάλεσε ανάλογα φαινόμενα κατολισθήσεων στην ίδια περιοχή, αλλά μικρότερης έκτασης.

Οι μεγάλης έκτασης κατολισθήσεις, (οι μεγαλύτερες της περιοχής έρευνας), μόνο στην κοιλάδα του Γαζώρου θα πρέπει να οφείλονται κατά την άποψη μας στους εξής λόγους:

- *Η κοιλάδα αυτή είναι ανανεωμένη κοιλάδα και διέρχεται σήμερα το στάδιο νεότητας. Συνεπώς οι μεγάλες κλίσεις των κλιτύων της ήταν και είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την εκδήλωση φαινομένων κατολισθήσεων.*
- *Η κατασκευή των τούνελ των δύο κανάτ κατά μήκος των κλιτύων διέκοψε την συνοχή τους και συνεπώς μείωσε την ευστάθεια τους.*

Η σημερινή εξέλιξη φαινομένων κατολίσθησης κατά μήκος των κλιτύων της παραπάνω κοιλάδας θα πρέπει να συσχετιστεί και με τις δυναμικές ανθρωπογενείς επεμβάσεις στο τοπικό βασικό επίπεδο διάβρωσης, που είναι ο ποταμός Αγγίτης.

Από τα στοιχεία που αναφέραμε παραπάνω για τα αδρανή κανάτ της Π. Ζίχνης προκύπτει το συμπέρασμα ότι αυτά πρέπει να κατασκευάστηκαν πριν από το 1829 και η αδρανοποίησή τους πρέπει να προκλήθηκε από το παραπάνω σεισμό της Δράμας.

Τόσο η αδρανοποίηση των παραπάνω Qanat όσο και οι μεγάλης έκτασης κατολισθήσεις αποθάρρυναν τις τότε διοικητικές αρχές από οποιαδήποτε προσπάθεια ανασυγκρότησης του οικισμού της Π. Ζίχνης.

Το φαινόμενο της εγκατάλειψης οικισμών και της ίδρυσης νέων, μετά την καταστροφή των Qanat εξαιτίας των φαινομένων κατολίσθησης που προκάλεσαν οι σεισμοί της Δράμας το 1829 και 1867, πρέπει να έλαβε χώρα στην ευρύτερη περιοχή έρευνας. Στην ίδια αιτία πρέπει να αποδοθεί και η αδρανοποίηση των Qanat Π. Λευκοθέας και Σ.Σ. Αγγίστας, που δεν οφείλονταν όμως σε κατολισθήσεις αλλά σε

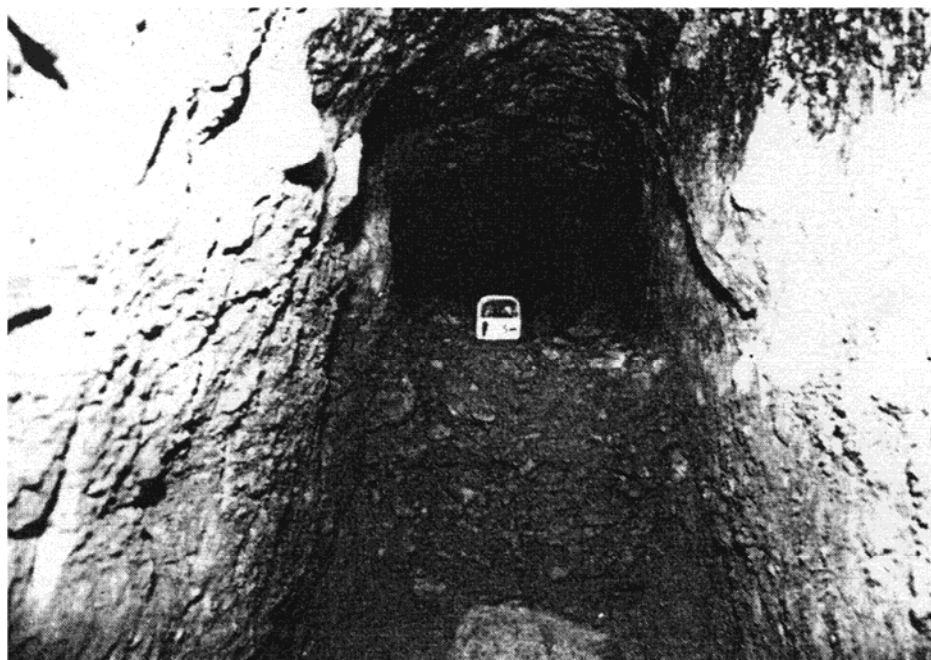
υποχώρηση των τοιχωμάτων πηγαδιών των τούννελ. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι στην τεχνητή λίμνη του οικισμού της Π. Λευκοθέας καταλήγει ένα τρίτο, φαινομενικά μικρού μήκους αδρανές τούννελ και σε αυτό αναφερόμαστε στην παράγραφο αυτή.

Ότι η σεισμική δράση ήταν και είναι αποφασιστικός παράγοντας πλήρους ή μερικής αδρανοποίησης των κανάτ της περιοχής έρευνας, αποδεικνύεται από τις επιπτώσεις που είχε στην λειτουργία τους (καταστροφή των Qanat Δραβείσκου) ο σεισμός της Βόλβης του 1978, ο οποίος είχε ένταση 6,5 Richter.

Β.2. ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΧΕΙΜΑΡΡΩΝ Ή ΡΥΑΚΙΩΝ

Συχνά κατά την διάρκεια των πλημμυρών εισέρχεται το επιφανειακό νερό των χειμάρρων ή ρυακιών στα τούννελ, τα οποία τα προσχώνει με διάφορα υλικά, όπως κροκάλες, άμμο, ιλύ και άργιλο. Η πρόσχωση είναι δυνατόν να προκαλέσει πλήρη ή μερική αδρανοποίηση των κανάτ.

Στην αιτία αυτή οφείλεται η μερική αδρανοποίηση του Qanat της Ν. Ζίχνης, στο οποίο κατά την περίοδο των πλημμύρων του 1957 εισήλθε επιφανειακό νερό από ανοικτό πηγάδι στο τούννελ του κανάτ με συνέπεια την πρόσχωσή του με διάφορα υλικά πάχους 1-1,2μ. (**Φωτ. 7**). ταυτόχρονα προκλήθηκε μείωση της παροχής, που αποδεικνύεται έμμεσα από το γεγονός ότι οι τοπικές αρχές μετά τις πλημμύρες κατέβαλαν προσπάθεια καθαρισμού του τούννελ.



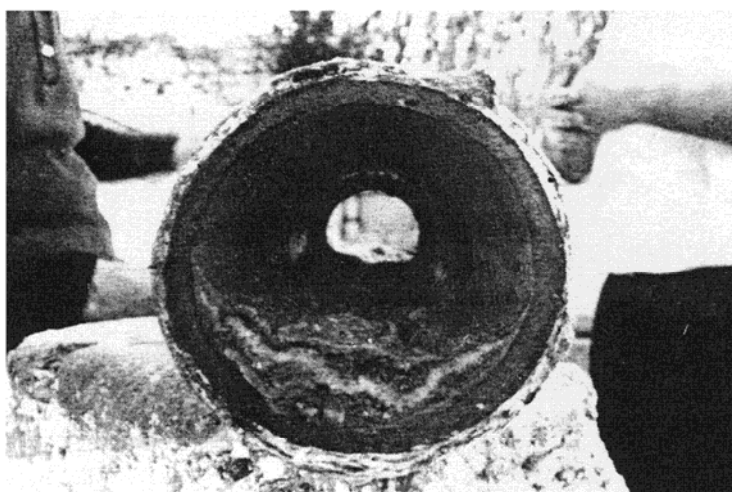
Φωτ. 7. Οι πλημμύρες του 1957 προκάλεσαν πρόσχωση του τούννελ του Qanat της Ν. Ζίχνης και ταυτόχρονη μείωση της παροχής του (Βαβλιάκης 1989).

Γ. Η ΚΑΤΑ ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗ (ΧΑΡΑΔΡΩΤΙΚΗ)

Κατά την διάρκεια των πλημμύρων του 1957 παρατηρήθηκε πλήρης διακοπή της παροχής ορισμένων κανάτ εξαιτίας των φαινομένων διάβρωσης. Συγκεκριμένα είχε διακοπεί η παροχή του κανάτ της Αγγίστας (Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3), επειδή κατά την περίοδο αυτή στην τοποθεσία ‘Ούγγρος’ σχηματίστηκε κοιλάδα μήκους 12-15μ., βάθους 6-7μ. και μέσου πλάτους 5μ. περίπου. Ο σχηματισμός της παραπάνω κοιλάδας προκάλεσε διακοπή της συνέχειας του τούννελ και το νερό έρεε απευθείας στο ρέμα ‘Κουβάδες’.

Δ. ΑΠΟΘΕΣΗ ΑΛΑΤΩΝ ΚΥΡΙΩΣ Ca ΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΕΡΟΥ

Στις περιπτώσεις που το νερό των κανάτ προέρχεται από ανθρακικά πετρώματα ή ιζήματα είναι δυνατόν η απόθεση ανθρακικού ασβεστίου μέσα στους πήλινους αγωγούς στην αρχή να προκαλέσει μείωση και στην συνέχεια πλήρη διακοπή της παροχής τους (Φωτ. 8).



Φωτ. 8. Η απόθεση αλάτων του Ca στους πήλινους αγωγούς των Qanat προκαλεί αρχικά μείωση των παροχών τους και στην συνέχεια την πλήρη αδρανοποίησή τους (Βαβλιάκης, 1989).

Η απόθεση αλάτων προκαλείται από την απόθεση υλικών πάνω ή κοντά στους πήλινους αγωγούς που μεταφέρονται διαλυμένα (CaCO_3 , MgCO_3) ή αιωρούμενα (άργιλος, ιλύς). Η απόθεση αλάτων μπορεί επίσης να οφείλεται στην παρουσία μικροοργανισμών στο νερό (σιδηροβακτήρια, αμμωνιοβακτήρια ή βακτήρια που τρέφονται από οργανικές ενώσεις). Η απότομη πτώση της πίεσης που λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια ροής του νερού μέσα στους πήλινους αγωγούς, ελευθερώνει CO_2 γεγονός που προκαλεί καθίζηση CaCO_3 .

Η επαρκής παρουσία οξυγόνου μέσα στους σωλήνες μπορεί να προκαλέσει την οξείδωση διαλυτού δισθενούς σιδήρου σε αδιάλυτο υδροξείδιο του τριθενούς σιδήρου και ταυτόχρονη απόθεση του φυσικά.

Η απόθεση αλάτων μέσα στους σωλήνες αυτούς γενικότερα εμποδίζει την ροή του νερού μέσα σε αυτούς, μειώνει την απόδοση του όλου συστήματος, αυξάνει σταδιακά την πτώση στάθμης μέσα σε αυτούς και συνεπώς ελαττώνει σημαντικά την παροχή τους.

Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί το ΝΔ κανάλι της Κορμίστας (Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3). Το τούννελ της ζώνης υδρομάστευσης του έχει κατασκευαστεί στην επαφή συνεκτικών τεταρτογενών λατυποπαγών και νεογενούς μάργας. Το νερό κατερχόμενο από τα λατυποπαγή και ερχόμενο σε επαφή με την μάργα εμπλουτίζεται σε ανθρακικό ασβέστιο. Κατά την ροή του στην συνέχεια μέσα στους πήλινους αγωγούς αποθέτει ένα μέρος του ανθρακικού ασβεστίου, το οποίο προέρχεται από το διαλυμένο όξινο δισανθρακικό ασβέστιο υπό μορφή τραβερτίνη. Η ανά 5-7 χρόνια αντικατάσταση των πλαστικών πλέον σωλήνων του Qanat εξαιτίας της απόφραξής τους, αποδεικνύει ότι η ταχύτητα απόθεσης του ανθρακικού ασβεστίου είναι πολύ μεγάλη (περίπου 2-3 εκ. ανά 5 χρόνια).

E. ΕΙΣΟΔΟΣ ΡΙΖΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ Ή ΘΑΜΝΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ ΤΟΥΝΝΕΛ Ή ΠΗΛΙΝΩΝ ΑΓΩΓΩΝ.

Μια συνήθης αιτία μείωσης της παροχής ή της πλήρους αδρανοποίησης των κανάλι της περιοχής έρευνας είναι η ανάπτυξη των ριζικών συστημάτων δένδρων ή θάμνων μέσα στα τούννελ ή στους πήλινους αγωγούς. Συγκεκριμένα στο τούννελ του κανάλι Ροδολαίβους, που αν και είναι επενδεδυμένο με πέτρες και επιχρισμένο με ασβεστοκονίαμα, οι ρίζες πεύκων διέρχονται από τους αρμούς και αναπτύσσονται σε όλο το χώρο του τούννελ (**Φωτ. 9**). Η είσοδος και η ανάπτυξη των ριζών δένδρων προκαλεί μείωση της παροχής του κανάλι αυτού για δύο κυρίως λόγους:

- Ένα μέρος του νερού δεσμεύεται για τις ανάγκες των δένδρων, που κατά την θερινή περίοδο λόγω της μειωμένης παροχής του κανάλι γίνεται αισθητή η δέσμευση αυτή.
- Η ελεύθερη ανάπτυξη των ριζών κατά την διάρκεια ενός έτους αφενός μεν δεν επιτρέπει την είσοδο ανθρώπου μέσα στο τούννελ, αφετέρου δημιουργούνται από τις ρίζες μικροφράγματα που δεν επιτρέπουν την ελεύθερη ροή του νερού στο κανάλι του τούννελ, σύμφωνα με πληροφορίες των αρμοδίων υπαλλήλων της κοινότητας, μπορεί να οδηγήσει στην πλήρη διακοπή της παροχής του κανάλι κατά την διάρκεια του θέρους.

Ανάλογα αποτελέσματα έχουμε και στις περιπτώσεις που οι ρίζες δένδρων ή θάμνων εισέρχονται στους πήλινους αγωγούς από τα σημεία σύνδεσής τους. Στις περιπτώσεις αυτές η αδρανοποίηση των κανάλι γίνεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.



Φωτ. 9. Η διείσδυση ριζών πεύκων από τους αρμούς των τοιχωμάτων των Qanat και η ανάπτυξή τους μέσα στα τούννελ προκαλεί μείωση της παροχής κατά την θερινή περίοδο (Βαβλιάκης, 1989).

10. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι θερμικές σχέσεις αποτελούν επίσης βασική προϋπόθεση για την εμφάνιση των σύγχρονων περιπαγετωδών φαινομένων (κρυογενετικά φαινόμενα και όχι μόνο) στην ψηλότερη ζώνη του Μενοικίου. Οι θερμοκρασίες αέρα στα διάφορα υψόμετρα του Μενοικίου δεν μπορούν να υπολογιστούν άμεσα, γιατί δεν έχουν τοποθετηθεί σε αυτό μετεωρολογικοί σταθμοί. Για το λόγο αυτό κάνουμε χρήση της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας πάνω σε μετρήσεις του αντίστοιχου σταθμού των Σερρών για την περίοδο **1972-2000** για την οποία διαθέτουμε επαρκή δεδομένα. Η μέση κατακόρυφη θερμοβαθμίδα, όπως έχει οριστεί από τον Μπαλαφούτη (1977) για το Μενοίκιο, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$):

ΠΙΝΑΚΑΣ 8												
I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	
0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,3	0,1	

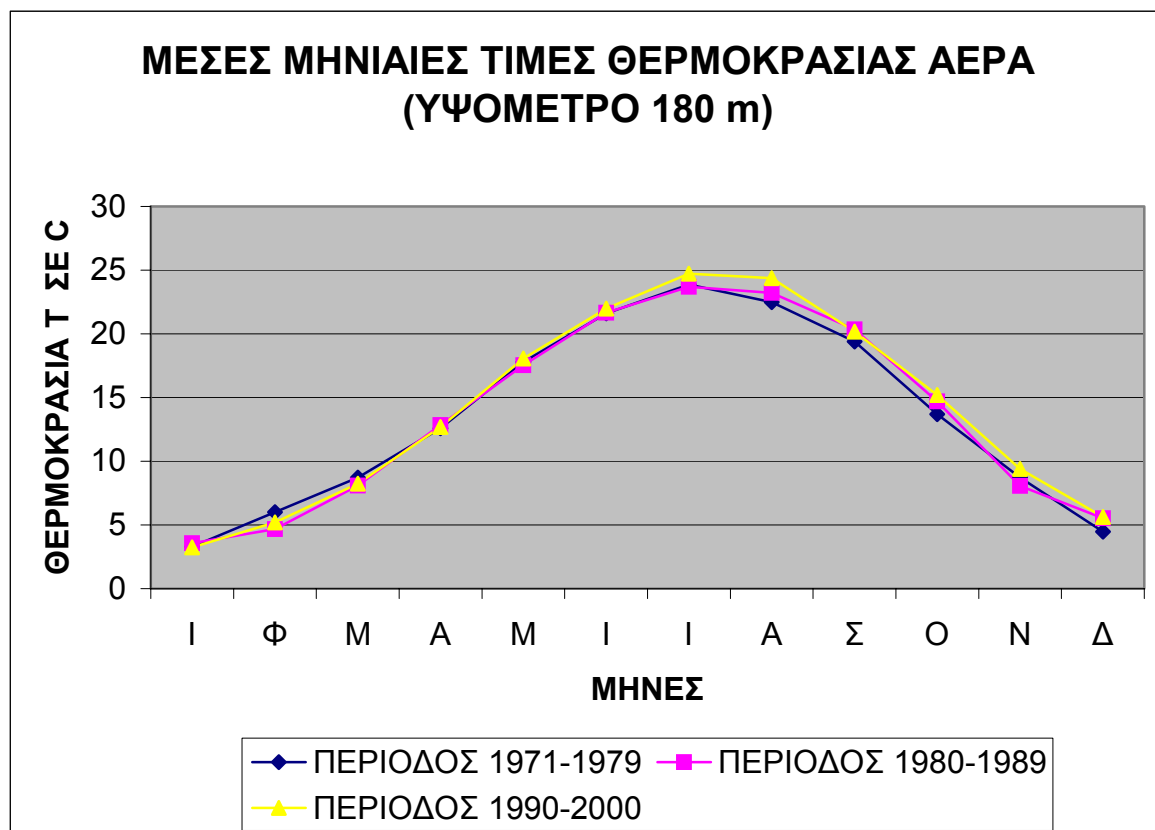
Η θερμοβαθμίδα που δίνεται στον παραπάνω πίνακα δίνει μια τιμή $0,3^{\circ}\text{C}/100\mu$. για τον Ιανουάριο και $0,7^{\circ}\text{C}/100\mu$. για τον Ιούλιο. Οι τιμές αυτές σχεδόν συμπίπτουν απόλυτα με τις τιμές του Wallen C.C. (1977) για ολόκληρη την ΝΑ Ευρώπη.

Από τους πίνακες θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των Μ.Σ. Δράμας και Σερρών αντίστοιχα προκύπτει ότι η μεγάλη θερινή ξηρότητα του κλίματος και οι ψηλές θερινές θερμοκρασίες στην περιοχή της έρευνας, επιδρούν σαν ανασταλτικοί παράγοντες για την εξέλιξη της βλάστησης, ιδιαίτερα για το ασβεστολιθικό Μενοίκιο.

Παρακάτω παραθέτουμε πίνακα και διάγραμμα με τις διορθωμένες μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας λόγω υψομέτρου (θεωρήσαμε $Υ.Δ.=180\text{m}.$), μετά από επίπονη και χρονοβόρα επεξεργασία των αντίστοιχων τιμών του Μ.Σ. Σερρών (**Πίν. 9, Διάγρ. 3**).

ΠΙΝΑΚΑΣ 9

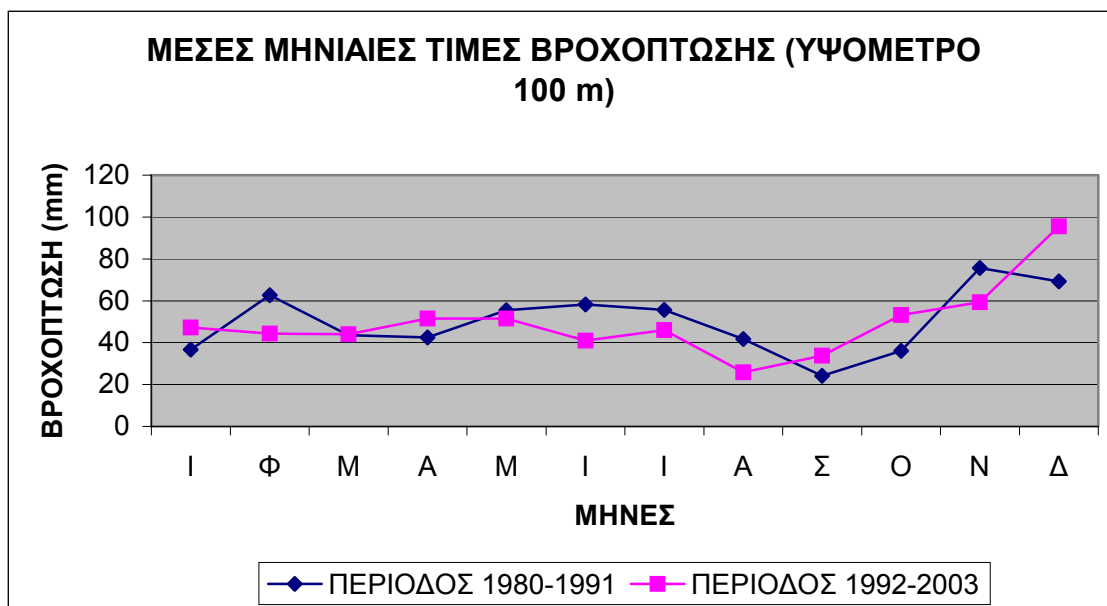
ΠΕΡΙΟΔΟΙ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ
1971-1979	3,3	6,01	8,71	12,6	17,78	21,6	23,87	22,49	19,4	13,7	8,71	4,48	13,55
1980-1989	3,58	4,68	8,10	12,83	17,55	21,66	23,7	23,21	20,35	14,7	8,07	5,54	13,66
1990-2000	3,23	5,21	8,25	12,69	18,06	21,99	24,73	24,38	20,18	15,19	9,4	5,63	14,08

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3**

Επίσης παραθέτουμε παρακάτω πίνακα και σχετικά διαγράμματα που αντιστοιχούν στα βροχομετρικά δεδομένα (**μέσες μηνιαίες τιμές**) του Μ.Σ. Δράμας (Υ.Σ.= 100μ.) για την περίοδο **1980-2003**. Φυσικά, εδώ η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στις δύο περιοχές δεν είναι ικανή για να επηρεάσει σημαντικά τις τιμές μας για την περιοχή του οικισμού της Π. Λευκοθέας. Η μεταβολή επίσης που προέρχεται από την μεταβολή των χωρικών αποστάσεων (Γ.Π. & Γ. Μ.) είναι ασφαλώς αμελητέα (**Πίν. 10, Διάγρ. 4**).

ΠΙΝΑΚΑΣ 10

ΠΕΡΙΟΔΟΙ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
1980-1991	36,76	62,73	43,61	42,53	55,48	58,23	55,70	41,79	24,12	36,07	75,61	69,3
1992-2003	47,26	44,33	44,06	51,51	51,54	40,95	46,01	25,87	33,77	53,26	59,34	95,49



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4

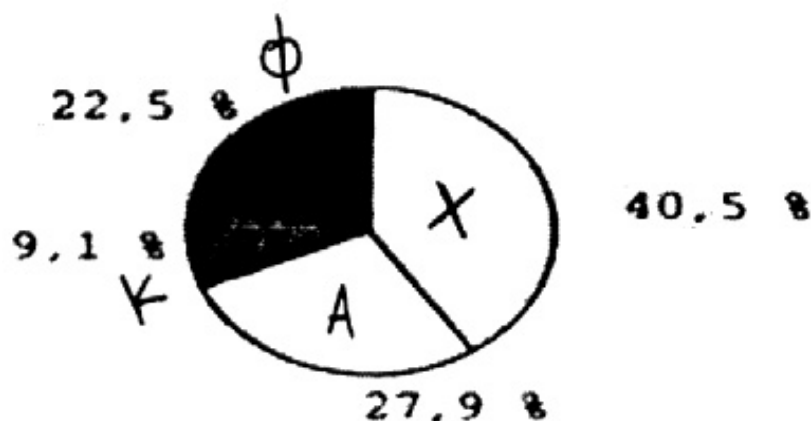
Η ετήσια πορεία του **αριθμού ημερών υετού** στον ελληνικό χώρο παρουσιάζει κατά κανόνα απλή κύμανση εμφανίζοντας μέγιστο τον Δεκέμβριο ή Ιανουάριο και ελάχιστο κατά τους μήνες Αύγουστο ή Ιούλιο, εκτός των περιοχών της Β. Ελλάδας όπου δρουν εαρινές καταιγίδες. Παρατηρήθηκε ότι η ηπειρωτική επίδραση εκδηλώνεται είτε με ασθενή δευτερεύοντα μέγιστα κατά την Άνοιξη (Ιωάννινα, Σέρρες) ή με καθυστέρηση της πτώσης της συχνότητας από το χειμώνα προς το καλοκαίρι (π.χ. Λάρισα).

Η εποχική κατανομή παρουσιάζει την συνήθη υετομετρική, για τον ελληνικό χώρο εικόνα: Χειμώνας>Άνοιξη>Φθινόπωρο>Καλοκαίρι (Σχ. 26, Διάγρ. 5).

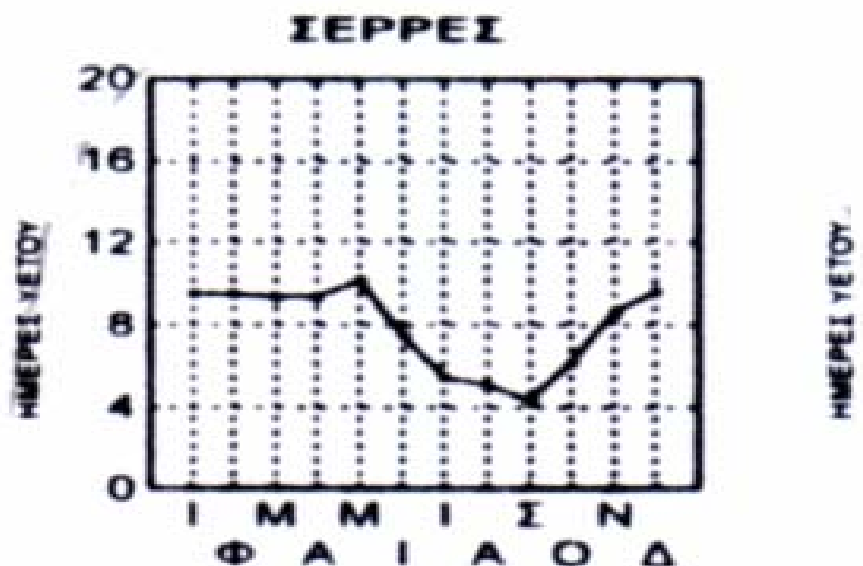
Η χωρική κατανομή των αριθμών ημερών υετού παρουσιάζει κατά τους μήνες της χειμερινής περιόδου μέγιστες συχνότητες στις Β-ΒΑ περιοχές της χώρας. Τους μήνες της άνοιξης παρατηρείται περίπου η ίδια κατάσταση με μόνη εξαίρεση φυσικά την παρουσία εαρινών καταιγίδων λόγω ηπειρωτικής επίδρασης. (Παγώνης & Ναστός).

Κατά την θερινή περίοδο καταγράφεται πτώση της συχνότητας σε όλες τις περιοχές της χώρας και τα μέγιστα εντοπίζονται στην Β. Ελλάδα.

Σύμφωνα με τον Μπαλαφούτη (1977) η ευρύτερη περιοχή μελέτης μας ανήκει στα μεσόθερμα κλίματα (C) κατά Korpen, και μάλιστα στο **Csa κλιματικό (Μεσογειακό) τύπο. Στον ίδιο τύπο κατατάσσει το κλίμα όλης της Μακεδονίας (εκτός του δυτικού τμήματος).**



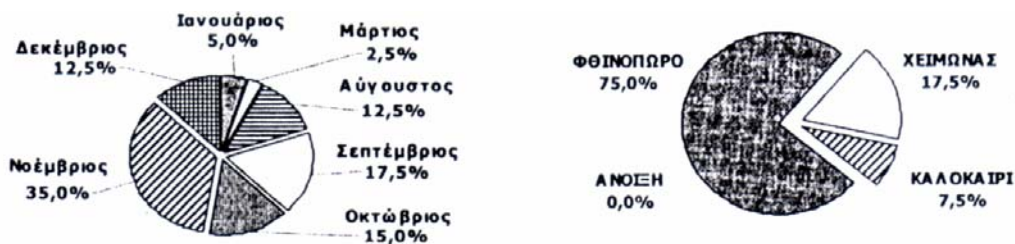
Σχ. 26. Εποχική κατανομή του αριθμού των ημερών υετού στην Ελλάδα (Παγώνης Κ. & Ναστός Π., 1998).



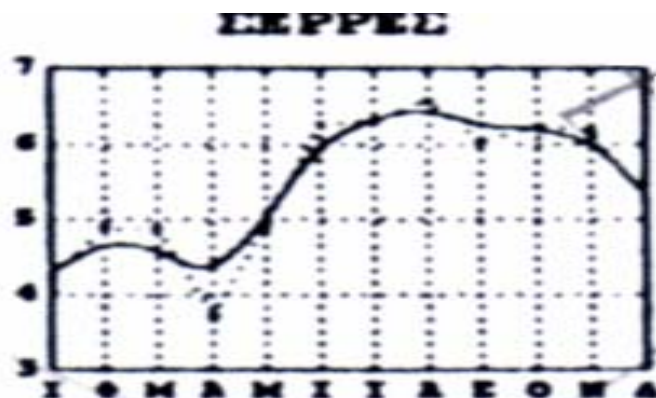
Διάγρ. 5. Μέση ετήσια πορεία του αριθμού ημερών υετού στο Ν. Σερρών (Κανελλοπούλου Ε. & Παγώνης Κ., 1998).

Όσον αφορά την **μέση ραγδαιότητα** των βροχοπτώσεων στον ελληνικό χώρο έχει παρατηρηθεί ότι στους θαλάσσιους τύπου σταθμούς τα κύρια μέγιστα καταγράφονται τους χειμερινούς μήνες, και μάλιστα κυρίως τον Νοέμβριο, ενώ σημειώνονται σαφή δευτερεύοντα μέγιστα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τα οποία οφείλονται στην ανάπτυξη θερμικών καταιγίδων. Σε σταθμούς με ηπειρωτικό χαρακτήρα τα κύρια μέγιστα καταγράφονται τους θερινούς μήνες, ενώ σημειώνονται δευτερεύουσες κυμάνσεις το χειμώνα και την άνοιξη (Κανελλοπούλου & Παγώνης).

Η εποχική κατανομή ακολουθεί την διάταξη: Φθινόπωρο > Χειμώνας > Καλοκαίρι, ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι σε κανένα σταθμό του δικτύου δεν καταγράφεται μέγιστη εποχική ραγδαιότητα κατά την άνοιξη (Σχ. 27, Διάγρ. 6).



Σχ. 27. Μηνιαία & εποχική κατανομή της μέγιστης ραγδιότητας(Κανελλοπούλου Ε. & Παγώνης Κ., 1998).



Διάγρ. 6. Μέση μηνιαία κύμανση της ραγδιότητας στο Ν. Σερρών (Κανελλοπούλου Ε. & Παγώνης Κ., 1998).

Από όσα αναφέρονται γενικά παραπάνω επιβεβαιώνεται πλήρως η ξηρότητα που επικρατεί τους θερινούς μήνες στην περιοχή μελέτης και γίνεται κατανοητό σε αρκετά μεγάλο βαθμό όλο το θερμοκρασιακό και κυρίως βροχομετρικό καθεστώς που επικρατεί στην περιοχή δικαιολογώντας πλήρως την παρουσία συστημάτων Qanat στην περιοχή και κατά επέκταση, αναδεικνύει τον ζωτικό ρόλο των συστημάτων αυτών για την ποιότητα ζωής των κατοίκων της περιοχής.

Σύμφωνα με γεωμορφολογικές μαρτυρίες που έχουν επαληθευτεί τόσο από την υπαίθρια μελέτη όσο και από την μελέτη πλήθος α/φιών, έχει υπολογιστεί ότι το κλίμα στην Βούρμια περίοδο χαρακτηριζόταν από μια θερμή περίοδο του έτους κατά 6-7°C ψυχρότερη από την σημερινή και μια χειμερινή περίοδο κατά 3-4°C επίσης ψυχρότερη. Κατά την ίδια περίοδο, το όριο της μηχανικής αποσάθρωσης έφθανε μέχρι το υψόμετρο των 500-600μ. Συνεπώς, μέχρι το ύψος αυτό θα πρέπει να μην υπήρχαν δέντρα ή αν υπήρχαν να ήταν ελάχιστα. Αν όμως λάβουμε υπόψη μας ότι σήμερα η δενδρώδης βλάστηση αρχίζει από ένα υψόμετρο μεγαλύτερο από 600μ., θα πρέπει να δεχθούμε ότι στην τελευταία παγετώδη περίοδο έλειπαν τα δέντρα από το Μενοίκιο. Η παραπάνω άποψη, που επίσης βασίζεται σε μορφολογικά κριτήρια, επιβεβαιώνεται και από αναλύσεις της γύρης που έγιναν σε δείγματα γεωτρήσεων στην λεκάνη των Φιλίππων (Μελιδώνης 1969).

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 11, κατά τις κύριες φάσεις της Βούρμιας περιόδου στην γύρω από την λεκάνη των Φιλίππων περιοχή, επικρατούσε στεππώδης βλάστηση, πρακτικά χωρίς ή με ελάχιστα δέντρα. Φαίνεται λοιπόν ότι έλειπε η

δενδρώδης βλάστηση όχι μόνο από το Μενοίκιο, αλλά και από τις άλλες οροσειρές που περιβάλλουν την λεκάνη των Φιλίππων.

Βόθος κάτω από τήν έπιφ. (σε m)	Ερμηνεία
2,40 - 4,30	Quercus, Carpinus, Anlus κ.ά. Κλίμα θερμό και σχετικά υγρό. Όλοκαινο.
6,25 - 12,75	Artemisia και Chenopodium. <u>Στέππα πρακτικά χωρίς δένδρα. 'Η νεώτατη κύρια φάση της παγετώδους περιόδου του Würm.</u>
15,60 - 20,15	'Ελάττωση του ποσοστού των στοιχείων στέππας με τό βάθος. Λίγα Quercus, αλλά περισσότερα Pinus. 'Η κύρια ανάπτυξη της παγετώδους περιόδου του Würm.
23,75	<u>'Επανεμφάνιση της φάσης στέππας. Würm.</u>
27,10	'Απουσία στοιχείων στέππας. Quercus και Pinus. Τέλος της μεταξύ Riss και Würm μεσοπαγετώδους περιόδου ή μία από τις πρώτες φάσεις του Würm.
51,00 - 57,20	Quercus, Pinus και Carpinus. 'Η μεταξύ Mindel και Riss μεσοπαγετώδης περίοδος.

Πίν. 11. Αποτελέσματα αναλύσεων γύρης στην λεκάνη των Φιλίππων του Ν. Σερρών (Βαβλιάκης Ε., 1981).

11. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

A. ΓΕΝΙΚΑ

Η χωροχρονική κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, η θερμοκρασία, η υγρασία κ.λ.π. είναι οι βασικοί παράγοντες που διαμορφώνουν τις κλιματολογικές συνθήκες μιας περιοχής με τις οποίες συνδέεται άμεσα η υδροφορία των εν δυνάμει υδροφόρων στρωμάτων και ο πλούτος των επιφανειακών ταμιευτήρων της.

Για την εξαγωγή των επιθυμητών συμπερασμάτων, έγινε επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων των υπαρχόντων υδρομετεωρολογικών σταθμών της περιοχής **(Σερρών & Δράμας)**.

B. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Οι διαθέσιμες συστηματικές παρατηρήσεις που αφορούν τις θερμοκρασίες της περιοχής, προέρχονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ των Σερρών για την χρονική περίοδο 1972-2000.

Από την επεξεργασία των στοιχείων διαπιστώνεται ότι στην συγκεκριμένη υπολεκάνη, η τιμή της θερμοκρασίας παρουσιάζει απλή κύμανση κατά την διάρκεια του έτους με μέγιστο τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και ελάχιστο τον μήνα Ιανουάριο.

Στον πίνακα που παρατίθεται παραπάνω, δίνονται οι μέσες μηνιαίες και οι μέσες ετήσιες τιμές για τον σταθμό των Σερρών. Ειδικά για τα ορεινά τμήματα της περιοχής έρευνας οι θερμοκρασίες μειώνονται αισθητά, λόγω αύξησης του απόλυτου υψομέτρου **(Πίνακας 9)**.

Γ. ΑΝΕΜΟΙ

Οι άνεμοι παρουσιάζουν μεγάλη σπουδαιότητα στην διαμόρφωση των κλιματολογικών συνθηκών μιας περιοχής. Στην υπολεκάνη της Δράμας οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι Β διεύθυνσης, ενώ στην υπολεκάνη των Σερρών κατά 50% επικρατεί άπνοια, από 25-30% πνέουν άνεμοι διάφορης διεύθυνσης και σε ένα ποσοστό 7-8% παρατηρούνται άνεμοι Β-ΒΔ διεύθυνσης.

Ειδικότερα στην περιοχή μελέτης μας, φθάνουν κατά κύριο λόγο άνεμοι νότιας διεύθυνσης που ξεκινούν από τον κόλπο του Ορφανού, οι οποίοι επί το πλείστον είναι πλούσιοι σε υδρατμούς, η συμπύκνωση των οποίων λαμβάνει χώρα στις προσήνεμες πλευρές του όρους Μενοικίου και μάλιστα σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 1000μ. Στην συμπύκνωση των υδρατμών συμβάλλει ιδιαίτερα ο γενικότερος προσανατολισμός του ορεινού συγροτήματος, ο οποίος είναι κάθετος στην μετακίνηση των συγκεκριμένων αερίων μαζών.

Δ. ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ

Στους πίνακες και τα διαγράμματα που παρατίθεται παραπάνω δίνονται οι μέσες μηνιαίες και μέσες ετήσιες τιμές του αντίστοιχου βροχομετρικού σταθμού της Δράμας.

Από τα στοιχεία των παρατηρήσεων διαπιστώνεται ότι κατά την περίοδο των αρδεύσεων από Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο, σημειώνεται για μεν την υπολεκάνη των

Σερρών το 45% περίπου των ετησίων βροχοπτώσεων, για δε την υπολεκάνη της Δράμας περίπου το 40%, ενώ το υπόλοιπο σημειώνεται κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Μαρτίου (Λαζαρίδου Μ. 1993).

Όσον αφορά την λεκάνη του Στρυμόνα προκύπτει η παρακάτω εξίσωση που συνδέει τις βροχοπτώσεις P με το υψόμετρο (Γκιώνη & Παγούνης 1997):

$$P = 377.7 + 0.65 * X \quad (r = 0.88)$$

Όσον αφορά την λεκάνη της Δράμας προκύπτει η εξής εξίσωση με συντελεστή συσχέτισης 0.85:

$$P = 597 + 0.32 * X$$

12. ΚΑΡΣΤΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Για να αντιληφθούμε τον μηχανισμό δημιουργίας μιας καρστικής υδροφορίας, είναι απαραίτητο πρώτα να αναφερθούμε κάπως εντατικά τόσο στην δράση της ιδιότυπης καρστικής διάβρωσης αρχικά όσο και στο χαρακτήρα της κατείσδυσης που την ακολουθεί και την διαμορφώνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να οδηγήσει με την σειρά της στην δημιουργία καρστικής υδροφορίας.

Με τον όρο **‘καρστική διάβρωση’** χαρακτηρίζεται η μικτή μορφή διάβρωσης-αποσάθρωσης τόσο της επιφάνειας του κάρστ, όσο και της εσωτερικής μάζας του. Τα αίτια που προκαλούν την καρστική διάβρωση είναι κυρίως χημικά (διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό) και κατά δεύτερο λόγο μηχανικά (μηχανική δράση του νερού).

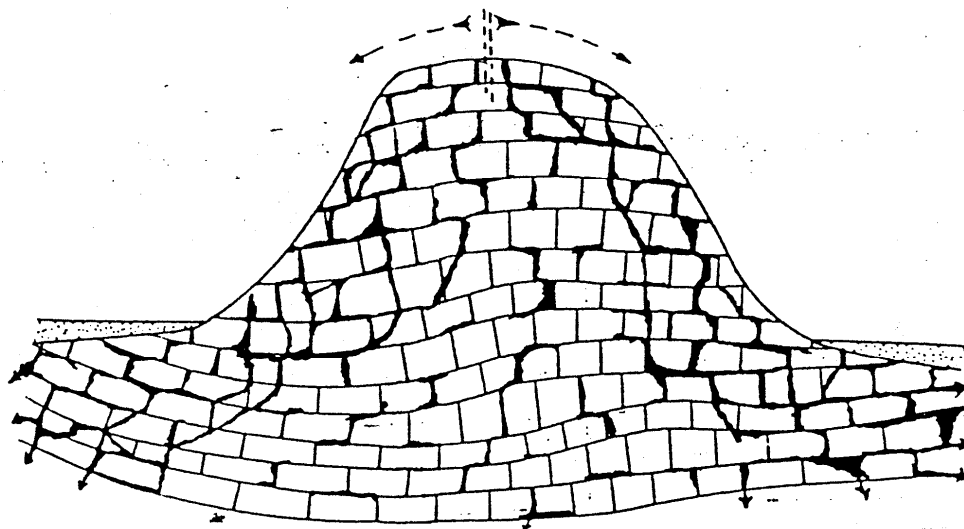
Η χημική διάβρωση οφείλεται στην διαλυτότητα του CaCO_3 ή του MgCO_3 ή του $(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$ των ανθρακικών πετρωμάτων. Η διαλυτότητα αυτή είναι πολύ χαμηλή, αλλά πάντως μακροχρόνια είναι ικανή να προκαλέσει τη διάλυση μεγάλων μαζών.

Στην ουσία δεν πρόκειται για μια απλή διάλυση, αλλά για μια σύνθετη χημική διεργασία με παρουσία όξινων ιόντων και με πολλές φάσεις (Σωτηριάδης Λ. 1976, Βαβλιάκης Ε. 1981). Με την μεταβολή διαφόρων φυσικοχημικών παραγόντων η διαλυτότητα αυτή, αλλά και η ταχύτητα διάλυσης μεταβάλλονται πολύ. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η χημική αποσάθρωση στο εσωτερικό μιας καρστικής μάζας απαιτεί ύπαρξη ασυνεχειών (ρωγμών) τεκτονικής προέλευσης ώστε να μπορέσει να διαρρέυσει το νερό. Επομένως η χημική διάβρωση ακολουθεί (ή έστω συμβαδίζει με) την μηχανική διάβρωση. Η τελευταία άρα είναι προϋπόθεση της πρώτης στην περίπτωση αυτή.

Η μηχανική διάβρωση μπορεί να οφείλεται σε εξωγενείς ή ενδογενείς παράγοντες. Η πρώτη έχει βέβαια την σημασία της, αλλά δεν μπορεί παρά να προσβάλλει μόνο τα επιπόλαια τμήματα του κάρστ.

Εκείνη όμως που οφείλεται σε ενδογενείς παράγοντες (τεκτονισμός) είναι πρωταρχικής σημασίας γιατί θα προκαλέσουν τις αρχικές ασυνέχειες (ρωγμές) μέσα στις οποίες θα ρεύσει το υπόγειο νερό και θα τις διευρύνει με την διαλυτική του ικανότητα (χημική διάβρωση). Επίσης θα δοθεί έτσι η ευκαιρία να δράσουν και άλλοι ενδεχόμενα φυσικοχημικοί παράγοντες.

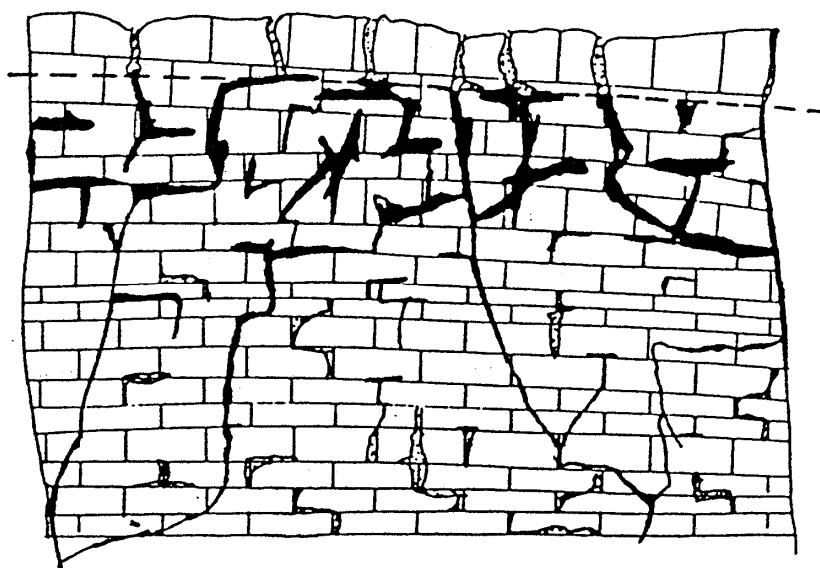
Ο τεκτονισμός μιας ανθρακικής μάζας είναι προϋπόθεση για την καρστικοποίηση της. Όμως ο ίδιος ο τεκτονισμός δεν προκαλεί τα ίδια αποτελέσματα σε όλο το πάχος του κάρστ, έστω και αν αυτό είναι ομοιογενές λιθολογικά. Αυτό συμβαίνει διότι με το βάθος αυξάνεται και η θερμοκρασία και κυρίως η πίεση και επομένως μεταβάλλονται οι μηχανικές ιδιότητες (κυρίως το όριο θραύσης) του ανθρακικού σχηματισμού με συνέπεια μια προοδευτική μείωση της πυκνότητας των ρωγμών από την επιφάνεια προς το βάθος. Βέβαια στο θέμα αυτό μεγάλη σημασία έχει η παλαιογεωγραφική, παλαιοκλιματολογική και παλαιο- ή νεοτεκτονική εξέλιξη της υπόψη καρστικής περιοχής. Οι πληροφορίες που θα έχουμε από αυτούς τους παράγοντες θα είναι απλά χρήσιμες και δεν συνιστούν καθοριστικά δεδομένα, διότι οι παράγοντες που υπεισέρχονται στην καρστικοποίηση και την σημερινή διαμόρφωση μιας καρστικής μάζας, άρα και οι παράμετροι που την προσδιορίζουν, είναι πολλοί και ποικιλότυποι (τεκτονική δομή, λιθολογία, γεωλογικό υπόβαθρο, εξέλιξη τεκτονική-παλαιογεωγραφικοί-παλαιοκλιματολογικοί κ.α.) και ο βαθμός επηρεασμού από τον κάθε παράγοντα μεταβλητός (Σχ. 28).



Σχ. 28. Καρστική διάβρωση και κυκλοφορία του υπόγειου νερού σε κάποια σημαντική εδαφική προεξοχή (Σούλιος Γ., 1985).

Η γνώση του βάθους καρστικοποίησης μιας ανθρακικής περιοχής είναι κεφαλαιώδους σημασίας για την Υδρογεωλογία, γιατί μόνο η καρστικοποιημένη μάζα των πετρωμάτων αυτών μπορεί να αποτελέσει υπόγειο ταμιευτήρα και να επιτρέψει την ροή του υπόγειου νερού και μάλιστα τόσο καλύτερος είναι ένας καρστικός υδροφορέας, όσο περισσότερο καρστικοποιημένος είναι. Οι συμπαγείς ανθρακικές μάζες έχουν πολύ μικρό (συνήθως μηδενικό) ενεργό πορώδες και σχεδόν μηδενική περατότητα. Στην ουσία πρόκειται για στεγανές μάζες, ανενεργές υδρογεωλογικά.

Μια ορισμένη τεκτονική τάση συμπίεσης μπορεί να ρηγματώσει τα επιφανειακά τμήματα μιας καρστικής μάζας, όχι όμως κατά ανάγκη και τα βαθύτερα. Οπότε λοιπόν το δίκτυο των ρωγμών είναι πυκνότερο στα επιφανειακά τμήματα, από ότι στα βαθύτερα (Σχ. 29).



Σχ. 29. Περίπτωση ανάπτυξης επικαρστικού υδροφόρου στρώματος (Σούλιος Γ., 1985).

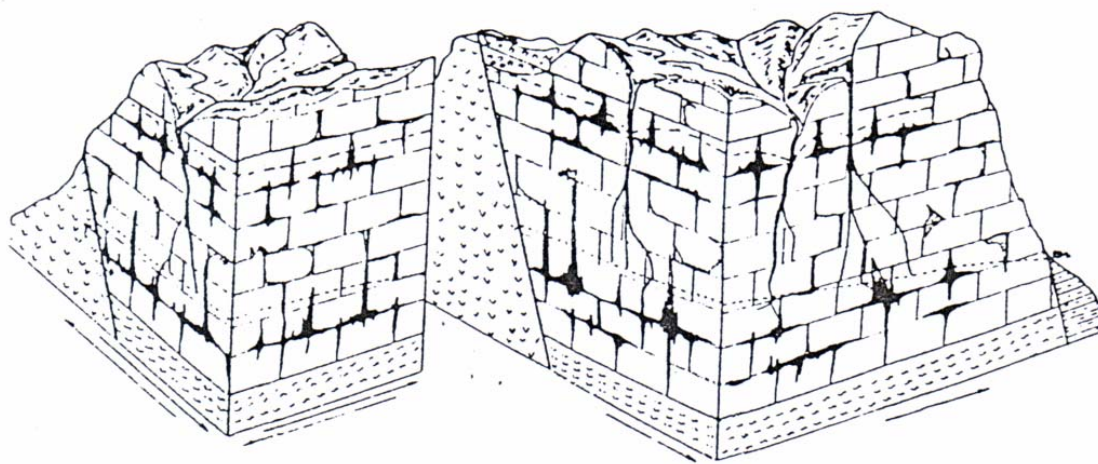
Αντίστοιχα μια ορισμένη τάση εφελκυσμού θραύει ευκολότερα τα βαθιά στρώματα, χωρίς να εξαιρούνται όμως και τα επιφανειακά.

Ακόμα τα όρια πλαστικής συμπεριφοράς είναι ευρύτερα για τα βαθύτερα στρώματα (λόγω συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας), ώστε μερικές φορές να θεραπεύονται τυχόν υπάρχουσες ασυνέχειες μικρού πλάτους και να προκαλείται μια **‘αναδιοργάνωση’** των καρστικών πετρωμάτων. Παρατηρήσεις που γίνονται σήμερα σε επιφανειακά τέτοιου είδους πετρώματα που πρέπει κάποτε να ήταν βαθιά, επαληθεύουν αυτή την άποψη.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, όπως και την λιθολογική ετερογένεια και την μηχανική ετερογένεια και ανισοτροπία των ανθρακικών πετρωμάτων, μπορούμε να πούμε ότι ο βαθμός καρστικοποίησης μιας ανθρακικής μάζας αναμένεται κατά γενικό κανόνα να μειώνεται με το βάθος κατά ασυνεχή τρόπο και ότι από κάποιο βάθος και μετά να μηδενίζεται πρακτικά (**Σχ. 29**).

Το παραπάνω γεγονός έχει σαν συνέπεια τα υπόγεια νερά να αρχίζουν να ρέουν, κυρίως στα επιτόλαια τμήματα των καρστικών μαζών. Το ίδιο φυσικά συμβαίνει και όταν το νερό συναντήσει έναν αδιαπέρατο σχηματισμό δημιουργώντας ασφαλώς στην συνέχεια έναν αξιόλογο προς εκμετάλλευση υδροφόρο ορίζοντα επί το πλείστον.

Ως **καρστικό υδροφόρο σύστημα** ορίζεται ένα υδροφόρο σύστημα που συνίσταται εξ’ ολοκλήρου ή κατά κύριο λόγο από καρστικά πετρώματα. Κατά ένα άλλο ορισμό το καρστικό υδροφόρο σύστημα είναι ένα σύνολο καρστικής περιοχής, στο επίπεδο του οποίου οι υπόγειες ροές είναι έτσι οργανωμένες ώστε να συνιστούν μια ενότητα αποστράγγισης. Είναι δηλαδή το αντίστοιχο της υδρολογικής λεκάνης (αν και η οργάνωσή του και η υδραυλική του λειτουργία είναι διαφορετικές). Συνιστά περιοχή υδρολογικά ανεξάρτητη και αυτόνομη. Πρόκειται στην ουσία για την στοιχειώδη ανεξάρτητη ενότητα της καρστικής υδροφορίας (**Σχ. 30**).



Σχ. 30. Στερεοδιάγραμμα που εμφανίζει στοιχεία και λειτουργία του καρστικού συστήματος (Σούλιος Γ., 1985).

Η ποικιλοτυπία της οργάνωσης και οι λεπτομέρειες της λειτουργίας των υδροφόρων καρστικών συστημάτων είναι θέματα επιστημονικών διχογνωμιών και πάντως σε μεγάλο βαθμό συζητήσιμα. Μπορούμε όμως βασικά να διαιρέσουμε κατακόρυφα το καρστικό σύστημα σε δύο βασικές ζώνες (Σούλιος Γ. 1985):

- Την ζώνη (ή το υποσύστημα) κορεσμού (λέγεται και **ζώνη διήθησης**) όπου όλα τα κενά είναι κορεσμένα με νερό. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται ένα τουλάχιστο καρστικό υδροφόρο στρώμα. Μπορεί φυσικά να υπάρχουν και περισσότερα υδροφόρα στρώματα (σε κάθε σύστημα) επάλληλα ή με άλλου είδους υδραυλική διασύνδεση και αλληλεξάρτηση. Η κορεσμένη ζώνη, δηλαδή το υδροφόρο στρώμα καταλαμβάνει συνήθως μικρό και σπάνια μεγάλο τμήμα του όλου συστήματος.
- Την ζώνη (ή το υποσύστημα) αερισμού (λέγεται και **ζώνη κατείσδυσης**) που μπορεί να υποδιαιρεθεί σε υποζώνες. Έχει ποικίλο πάχος. Μπορεί να περιλαμβάνει και στρώματα με διαφορετική περατότητα και άρα με ανάλογη ταχύτητα κατείσδυσης. Αυτή η ετερογένεια της περατότητας μπορεί να δημιουργήσει εποχιακά ή και μόνιμα, κορεσμένα τμήματα μέσα στην ζώνη κατείσδυσης. Πρόκειται στην ουσία για τα επικαρστικά υδροφόρα στρώματα (MANGIN 1975). Αυτά μπορούν να συνιστούν ένα ενιαίο ή περισσότερα αλληλοεξαρτώμενα ή αναξάρτητα μεταξύ τους υδροφόρα στρώματα. Αυτά τα συστήματα αναπτύσσονται κυρίως στις επιπόλαιες ζώνες των καρστικών μαζών, δεδομένου ότι σε αυτές σημειώνεται ο μέγιστος βαθμός καρστικοποίησης, διότι οι ζώνες αυτές βρίσκονται σε εναλλαγή με την ατμόσφαιρα και υπόκεινται στην δράση όλων των παραγόντων της εξωτερικής γεωδυναμικής.

Ακόμα στο κάρστ έχει σημασία για την υδροδυναμική του συμπεριφορά η οργάνωση των κενών του (διάφορης προέλευσης). Αν λοιπόν στο επίπεδο του πορώδους η συνέχεια των κενών είναι εξασφαλισμένη, τότε έχουμε ζώνες υδροδιαβιβαστικές, δηλαδή ζώνες με μεγάλο k και T . Αν αντίθετα παρά το μεγάλο πορώδες, δηλαδή παρά το μεγάλο όγκο κενών, αυτά δεν επικοινωνούν εύκολα μεταξύ τους, τότε έχουμε μια ζώνη υδροαποθηκευτική, δηλαδή ζώνη με μεγάλο S και μικρά k και T . Έτσι η επαλληλία μιας υδροαποθηκευτικής και μιας υδροδιαβιβαστικής ζώνης μπορεί να δώσει ένα επικαρστικό υδροφόρο στρώμα μόνιμο ή εποχιακό, σε οποιοδήποτε τμήμα του καρστικού συστήματος (του μη κορεσμένου). Ο ρόλος τους τόσο ως ζώνες εναλλαγής με την ατμόσφαιρα, όσο και ως ζώνες έμμεσης τροφοδοσίας των κύριων υδροφόρων στρωμάτων είναι σημαντικός για την υδραυλική συμπεριφορά του κάρστ, αφού προκαλούν μια ρυθμιζόμενη-επιβραδυνόμενη τροφοδοσία των τελευταίων. Γενικά η μη κορεσμένη ζώνη καταλαμβάνει συνήθως το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος του καρστικού συστήματος. Για την οργάνωση αυτού παίζει ρόλο η γεωλογική του δομή, αλλά και η λιθολογική του σύσταση (Πίν. 12).

ΠΙΝΑΚΑΣ 12 (Καλλέργης Γ., 1986)

Μερικές αντιπροσωπευτικές τιμές πορώδους και υδροπερατότητας διαφόρων γεωλογικών υλικών (Bowen, 1980, με τροποποίηση).

Υλικά	Αντιπροσωπευτικές τιμές πορώδους %	Τάξη μεγέθους υδροπερατότητας $\times 5$ (m/sec)
<u>1) Χαλαρά</u>		
Αργίλος	50 - 60	10^{-12} - 10^{-10}
Ιλύς, λιθώνες	20 - 40	10^{-10} - 10^{-6}
Αλουβιακές άμμοι	30 - 40	10^{-6} - 10^{-3}
Αλουβιακά χαλίκια	25 - 35	10^{-3} - 10^{-1}
<u>2) Συνεκτικά</u>		
<u>α) Ιζηματογενή</u>		
Σχιστόλιθοι	5 - 15	10^{-14} - 10^{-11}
Ιλυόλιθοι	5 - 20	10^{-12} - 10^{-8}
Ψαμμίτες	5 - 25	10^{-10} - 10^{-5}
Κροκαλοπαγή	5 - 25	10^{-10} - 10^{-5}
Ασβεστόλιθοι	0,1 - 10	10^{-11} - 10^{-6}
<u>β) Μαγματικά και Μεταμορφωμένα</u>		
Ηφαιστίτες (βασάλτες)	0,001-50	10^{-11} - 10^{-7}
Αποσαθρωμένοι γρανίτες	0,001-10	10^{-12} - 10^{-9}
Υγιείς γρανίτες	0,0001-1	10^{-14} - 10^{-11}
Σχιστόλιθοι (γρανιτικοί)	0,001 -1	10^{-14} - 10^{-11}
" (μαρμαρυγισιοί)	0,001 -1	10^{-13} - 10^{-10}
Γνεύσιλοι	0,0001-1	10^{-14} - 10^{-11}
Τόφφοι	10 - 80	10^{-12} - 10^{-7}

Προκύπτει λοιπόν από τα πιο πάνω ότι μέσα στην οργάνωση ενός και του ίδιου καρστικού υδροφόρου συστήματος μπορούμε να συναντάμε:

- Ζώνες (περιορισμένες ή και εκτενείς) κορεσμένες, δηλ. υδροφόρα καρστικά στρώματα με όλα τα συμπαμαρτυρούντα: επιφάνεια κορεσμού κάτω από την οποία όλα τα κενά (κάθε είδους) πληρώνονται με υπόγειο νερό που ρέει βραδύτατα ή είναι πρακτικά ακίνητο.
- Ζώνες (συνήθως εκτενείς) μη κορεσμένες, όπου το υπόγειο νερό απαντάται (ενίοτε εποχιακά) μόνο σε ορισμένα έγκοιλα και οχετούς που συνιστούν συλλέκτες-αγωγούς, όπου ρέει κατά κανόνα με μεγάλη ταχύτητα σχηματίζοντας υδατορεύματα.

Η επικρατούσα συνιστώσα της ροής είναι: η κατακόρυφη στην ακόρεστη ζώνη και η οριζόντια στην κορεσμένη ζώνη.

Το χαρακτηριστικό των καρστικών υδροφόρων είναι η μεγάλη εποχική διακύμανση της υδροστατικής τους επιφάνειάς τους, η οποία συχνά ξεπερνά ακόμη και τα 50μ. Τούτο οφείλεται στην μεγάλη τους μεταβιβαστικότητα και στην μικρή αποθηκευτικότητα, η οποία οδηγεί σε μικρή ικανότητα ρύθμισης της υπόγειας ροής. Οι καρστικοί υδροφόροι δημιουργούνται σχετικά γρήγορα, αλλά πολύ γρήγορα επίσης αποστραγγίζονται. Κατά την υγρή περίοδο αυτοί οι υδροφόροι παρουσιάζουν μεγάλη κατακόρυφη μεταβολή της στάθμης τους. Κατά την ξηρή περίοδο, αντίθετα, παρουσιάζουν πολύ μικρές μεταβολές της στάθμης τους, με μια συνεχή καθοδική πτώση σχετικά σταθερού ρυθμού (περίοδος εξάντλησης του υδροφόρου).

Οι πιο υψηλές στάθμες των καρστικών υδροφόρων, σε μερικές θέσεις, φτάνουν ή και ξεπερνούν την επιφάνεια του εδάφους ενώ σε άλλες θέσεις της ίδιας περιοχής μπορεί να βρίσκονται σε βάθη μεγαλύτερα από 200μ. (τοπικά επίπεδα βάσης). Στην περιοχή έρευνας οι πρώτοι καρστικοί υδροφόροι απαντώνται σε βάθη 2-5μ., ανάλογα βέβαια και με τις εκάστοτε γεωλογικές συνθήκες.

Οι διακυμάνσεις της ζώνης των δυναμικών αποθεμάτων του καρστικού νερού, δηλαδή των αποθεμάτων νερού που περιέχονται ανάμεσα στην ανώτερη και κατώτερη στάθμη του ίδιου υδρολογικού χρόνου, μπορεί να κυμαίνονται από μερικά μέχρι και πάνω από 300μ. Συνήθως οι διακυμάνσεις αυτές είναι της τάξης των 20-80μ (Σούλιος Γ. 1985).

Οι λιθοστρωματογραφικοί και ιζηματογενείς χαρακτήρες καθορίζουν την ανομοιογένεια και ισοτροπία των ανθρακικών σχηματισμών, τόσο κατά την οριζόντια έννοια όσο και κατά την κατακόρυφη. Ο ρόλος των χαρακτηριστικών αυτών, είναι καταρχήν, καθοριστικός για το είδος του κάρστ που θα δημιουργηθεί.

Στο περιμεσογειακό κάρστ, τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι τέτοια, ώστε να μην εξασφαλίζεται, τουλάχιστον κατά την κατακόρυφη έννοια, ομοιογένεια και ισοτροπία, με αποτέλεσμα η αντίσταση των πετρωμάτων στη διάβρωση αλλά και στην χημική διάλυση να αναπτύσσεται ανώμαλα. Η ανομοιογένεια αυτή, στην μικροσκοπική κλίμακα ή το πολύ στην κλίμακα του δείγματος, είναι σχεδόν απόλυτη και αποτελεί τον κανόνα.

Οι νεοτεκτονικές κινήσεις εκδηλώνονται σαν εναλλαγές τάσεων συμπίεσης και εφελκυσμού (L. Mercier 1977). Έτσι έχουμε:

- Συμπίεση κατά το τέλος του Μειοκαίνου-αρχή Πλειοκαίνου
- Διάταση στο μέσο ανώτερο Πλειόκαινο
- Συμπίεση στο τέλος του Πλειοκαίνου και την βάση του Πλειστοκαίνου
- Διάταση στο μέσο και ανώτερο Πλειστόκαινο

Οι τεκτονικές διαταραχές συνήθως παίζουν θετικό ρόλο στην διαμόρφωση της υδραυλικής αγωγιμότητας ενός καρστικού συστήματος, διότι με την αύξηση των ρωγμών σε αριθμό και εύρος προκαλούν και αύξηση της υδαταγωγιμότητας, η αύξηση όμως της τελευταίας μπορεί να γίνει έμμεσα με την διάρρηξη των στεγανών διαφραγμάτων ή του στεγανού υποβάθρου. Το ρόλο αυτό μπορούν να τον παίξουν οι τεκτονικές διαταραχές τόσο του εφελκυσμού όσο και της συμπίεσης. Από την άλλη μεριά, οι αντικλινικές πτυχές προκαλούν μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας με το βάθος, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στις συγκλινικές πτυχές, δηλαδή στις τελευταίες οι ρωγμές διευρύνονται προς το βάθος σε αντίθεση με τις πρώτες. Ακριβώς για το λόγο αυτό μπορούμε να αντιληφθούμε γιατί τα συστήματα Qanat επιλέγονταν να κατασκευαστούν σε πυθμένες ξηρών κοιλάδων, δεν ήταν κάτι τυχαίο λοιπόν, διότι

στα σημεία αυτά διαμορφώνονταν ιδανικές συνθήκες δημιουργίας μόνιμων και αρκετά σημαντικών υδροφόρων οριζόντων.

Σημαντικές υδροφορίες αναπτύσσουν τα πλευρικά κορρήματα. Τα τελευταία είναι αποθέσεις πρόσφατης ηλικίας, οι οποίες όμως έφθασαν στην σημερινή τους θέση όχι από τα ρέοντα νερά, αλλά από βαρυτική ολίσθηση ή πτώση υπολειμμάτων, απότομων βράχων. Σχηματίζουν ‘ημιριπίδια’ με μεγάλες κλίσεις, στα πόδια απότομων κλιτύων ή βράχων. Τα υλικά τους παρουσιάζουν φτωχή διαβάθμιση. Αποτελούνται από τεράστιους ογκόλιθους καιγωνιώδη τεμάχια, ανακατεμένα με αποπλυμένες αργίλους και εδάφη. Η έκτασή τους είναι μικρή και περιορίζεται σε μια λουρίδα, κατά μήκος της ορεινής ζώνης, με αποτέλεσμα να μην αναμένεται σοβαρός εμπλουτισμός από τις βροχοπτώσεις. Στα πόδια τους, στην επαφή με το υπόβαθρο, δημιουργούνται συχνά πηγές, οι οποίες τροφοδοτούνται από υδροφόρους, που συνδέονται με την γειτονική ορεινή περιοχή. Στην επαρχία Φυλλίδας πλήθος συστημάτων κανάτ εκμεταλλεύονται τις υδροφορίες που αναπτύσσουν αυτά.

Το πορώδες, η ειδική απόδοση και η υδραυλική αγωγιμότητα, επηρεάζονται, από το μέγεθος των σωματιδίων, την κατανομή του κοκκομετρικού μεγέθους και την κοκκομετρική διαβάθμιση (sorting). Το μέγεθος καθορίζει την σχετική σημασία της επιφανειακής τάσης και των μικρότερων μοριακών δυνάμεων, που συγκρατούν το νερό μέσα στους πόρους. Το μέγεθος βοηθά επίσης, στον καθορισμό της διαμέτρου των πόρων, που είναι καθοριστική στην διαμόρφωση της υδραυλικής αγωγιμότητας και της ειδικής απόδοσης. Η κοκκομετρική διάταξη, καθορίζει την έκταση, κατά την οποία, κόκκοι μικρότερης διαμέτρου, μπορεί να πιάνουν χώρο μεταξύ μεγαλύτερων διακένων. Όταν οι άλλοι παράγοντες είναι ίδιοι, ιζήματα με κακή κοκκομετρική διάταξη, παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές πορώδους, υδραυλικής αγωγιμότητας και ειδικής απόδοσης.

Οι καρστικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν σημαντική γεωγραφική εξάπλωση τόσο στον Ελληνικό και Μεσογειακό χώρο. Το νερό που κυκλοφορεί στις καρστικές αυτές μάζες είναι σημαντικό σε ποσότητα, στην κλίμακα της Εθνικής υδατικής οικονομίας των μεσογειακών χωρών.

Αλλά και πέρα από αυτό αποτελεί υδατικό πόρο, που βρίσκεται σε χαμηλό βαθμό αξιοποίησης και διότι η τεχνολογία στον τομέα δεν έχει φθάσει σε ανάπτυξη την τεχνολογία αξιοποίησης των προσχωματικών νερών και διότι τόσο η έρευνα όσο και η αξιοποίησή τους είναι αρκετά δαπανηρή.

Το αρχικό πορώδες και η αρχική υδραυλική αγωγιμότητα στα καρστικά πετρώματα μεταβάλλονται πολύ γρήγορα, λόγω τεκτονισμού και διάλυσης. Το πρωτογενές πορώδες, είναι γενικά μεγάλο πριν την συμπίκνωση, αλλά η πρωτογενής υδραυλική αγωγιμότητα είναι σχετικά μικρή (**Πίν. 13**).

ΠΙΝΑΚΑΣ 13 (Καλλέργης Γ., 1986)

Υδροφόρες ιδιότητες μερικών πετρωμάτων (Davis-DeWiest, 1966).

Υδραυλική αγωγιμότητα	Πορώδες
Ψηλότερη υδραυλική αγωγιμότητα	Ψηλότερο ολικό πορώδες
καλά διαβαθμισμένα χαλίκια	μαλακή άργιλος
πορώδης βασάλτης	ιλύς
καρστικοί ασβεστόλιθοι	καλά διαβαθμισμένη άμμος
καλά διαβαθμισμένη άμμος	κακά " "
ψαμμίτες	και χαλίκια
ρωγματωμένα κρυσταλλικά πετρώματα	χαλίκια
ιλύς και τόφφοι	ψαμμίτης
άργιλοι	πορώδης βασάλτης
συμπαγή κρυσταλλικά πετρώματα	καρστικός ασβεστόλιθος
	ρωγματωμένα κρυσταλλικά πετρώματα
	συμπαγή κρυσταλλικά πετρώματα
Χαμηλότερη υδραυλική αγωγιμότητα	Χαμηλότερο ολικό πορώδες

Το δευτερογενές όμως πορώδες είναι πολύ πιο μεγάλης σημασίας από υδρογεωλογική άποψη, μια και με αυτό δημιουργείται αυξημένη υδραυλική αγωγιμότητα. Το πρωτογενές πορώδες στα ανθρακικά πετρώματα, με εξαίρεση την κρητίδα και τους τραβερτίνες, δεν δημιουργεί υδροφόρα. Το αντίθετο συμβαίνει με το δευτερογενές, το οποίο συχνά δημιουργεί πολύ σημαντικούς, εκτεταμένους, συνήθως όμως ανισότροπους καρστικούς υδροφόρους σχηματισμούς. Γενικά, στα καρστικά πετρώματα δεν είναι πάντα δυνατή η πρόβλεψη της διεύθυνσης και των λοιπών υδροδυναμικών χαρακτηριστικών της ροής του νερού, καθώς και της απόδοσης των υδρομαστευτικών έργων, παρά μόνο με πολύ πυκνό δίκτυο παρατηρήσεων και μετρήσεων.

Οι οριζόντιες γενικά ρωγμές τείνουν να μείνουν ανοιχτές σε σχέση με τις κατακόρυφες, για αυτό και η παροχή των υδρομαστευτικών έργων (άρα και των Qanat) προέρχεται κυρίως από τις οριζόντιες ρωγμές. Οι τελευταίες είναι πάντα καλύτερα αναπτυγμένες κοντά σε διαρρήξεις. Οι περιοχές του πυθμένα των κοιλάδων προσφέρονται καλύτερα για την τοποθέτηση παραγωγικών πηγαδιών, από όσο οι κλιτείες των κοιλάδων, καθώς και οι επίπεδες περιοχές από όσο οι λόφοι. Οι ρωγμές είναι πιο πολλές, συνήθως, στις κορυφές των αντικλίνων και στους πυρήνες των συγκλίνων, από ότι στις πλευρές τους. Στα σύγκλινα οι γεωτρήσεις και τα πηγάδια είναι κατά κανόνα πιο επιτυχημένα από ότι στα αντίκλινα.

Εάν και κάθε καρστικό σύστημα πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν ξεχωριστή περίπτωση, τα έργα υδρομάστευσης, ενδεικτικά επιλέγονται ως εξής (Καλλέργης Γ.Α. 1986):

Α) Όταν στο σύστημα επικρατούν προνομιακές ροές κατά μήκος ασυνεχειών, για μέτριες απολήψεις ενδείκνυται η κατασκευή σκαφτού πηγαδιού μέχρι το τοπικό επίπεδο βάσης, όταν το επιτρέπει η μορφολογία, ή συνδυασμός σκαφτού πηγαδιού και στοάς, όταν δεν προσφέρεται η μορφολογία. Αυτονόητο είναι ότι η στοά θα πρέπει να κατευθύνεται κάθετα στην διεύθυνση των επιπέδων ασυνέχειας. Αν τα πιο πάνω έργα υδροληψίας δεν φτάνουν μέχρι το τοπικό επίπεδο βάσης, οι αποδόσεις τους είναι σημαντικά μικρότερες, μέχρι ασήμαντες.

Β) Όταν στο σύστημα επικρατεί η διάχυτη ροή οι ασωλήνωτες υδρογεωτρήσεις, μέχρι το τοπικό επίπεδο βάσης, δίνουν καλά αποτελέσματα. Όταν το καρστικό σύστημα είναι εγκιβωτισμένο ανάμεσα σε στεγανά πετρώματα (πχ. μάρμαρα ανάμεσα σε σχιστολίθους), οι υδρογεωτρήσεις αρκεί να φθάσουν σε βάθος μερικά μέτρα κάτω από την χαμηλότερη, εποχιακά, στάθμη.

13. Η ΚΑΤΕΙΣΔΥΔΗ ΣΕ ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Καταρχήν με τον όρο κατείσδυση εννοούμε εδώ την **ενεργή κατείσδυση**, δηλαδή το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που διαπερνά το έδαφος και τα πρώτα στρώματα του υπεδάφους και φθάνει μέχρι το υδροφόρο στρώμα, στο νερό του οποίου προστίθεται και μετέχει στις κινήσεις, χωρίς να επανεξατμίζεται (Σούλιος Γ. 1985).

Η γνώση του συντελεστή κατείσδυσης είναι βασικής σημασίας γιατί σε συνδυασμό με το αντίστοιχο ύψος των κατακρημνισμάτων μας δίνει το μέγεθος των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων μιας περιοχής. Αποτελεί με άλλα λόγια τον τελικό στόχο για την κατάρτιση βέλτιστου προγράμματος εκμετάλλευσης υπόγειου νερού. Εντούτοις ο προσδιορισμός του συντελεστή κατείσδυσης είναι πρόβλημα πολύ λεπτό, γιατί στην διαμόρφωση της τιμής του επιδρούν πολλοί παράγοντες που βρίσκονται μεταξύ τους σε πολύπλευρη αλληλεξάρτηση. Πάντως υπό ίδιες τις άλλες συνθήκες η διαμόρφωση του συντελεστή αυτού σε ένα κάρστ εξαρτάται τελικά ουσιωδώς από το αν το κάρστ αυτό είναι ή όχι καλυμμένο με πρόσφατες αργιλλικές κ.α. αποθέσεις και από το αν φέρει γενικά πυκνή και τι είδους βλάστηση. Αυτή η τελευταία για δύο λόγους μάλιστα: την κατανάλωση νερού με την διαπνοή, και την κατακράτηση της βροχής με την κομοστέγη (Μ. Νικολαΐδης 1980). Έτσι και η απάντηση αυτή καθεαυτή στο συγκεκριμένο πρόβλημα δεν μπορεί να είναι ολοκληρωμένη και ενιαία. Λαμβάνοντας όμως υπόψη τις ελληνικές συνθήκες θα ασχοληθούμε με καρστικές περιοχές ακάλυπτες ή λίγο καλυπτόμενες και σε ότι αφορά την βλάστηση γυμνές ή με αραιά θαμνώδη κυρίως και δευτερευόντως με δενδρώδη.

Φαινομενολογικά η κατείσδυση στο κάρστ δεν ακολουθεί τις ίδιες φάσεις και τις ίδιες χρονολογικές συναρτήσεις και ποσοτικές κλιμακώσεις που ακολουθεί στα πορώδη (κοκκώδη) πετρώματα. Η διαφορά μάλιστα είναι τόσο εντονότερη όσο περισσότερο ακάλυπτο είναι το κάρστ. Εδώ πάντως δεν μας ενδιαφέρει η ποιοτική μελέτη των επιμέρους αυτών φαινομένων, αλλά η ποσοτική και για αυτό αντιπαρερχόμαστε αυτό το θέμα.

Από άποψη τιμών του συντελεστή κατείσδυσης αυτές διακυμαίνονται κατά περίπτωση από 0,3 μέχρι 0,7 περίπου με μέση και συχνότερη τιμή την 0,45 περίπου (Μαρίνος Π. 1975).

Ο φυσικός εμπλουτισμός των καρστικών υδροφόρων είναι πιο εύκολος και πιο σημαντικός από τους παραδοσιακούς υδροφόρους. Η κατείσδυση είναι άμεση από το πρωτογενές και, κυρίως, το δευτερογενές πορώδες, στην επιφάνεια.

Ο Kessler (1957,1965), για τον υπολογισμό της ενεργής κατείσδυσης πρότεινε, με βάση μετρήσεις στην καρστική πηγή Tettys (Ουγγαρία), την χρησιμοποίηση των πιο κάτω μηνιαίων συντελεστών (**Πίνακας 14**) με τους οποίους πρέπει να πολλαπλασιάζονται τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής ώστε να παίρνεται η μηνιαία κατείσδυση (ισοδύναμο βροχής) σε mm. Οι συντελεστές αυτοί βέβαια ισχύουν για τις δοσμένες γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της πηγής Tettys αλλά η χρησιμοποίησή τους στον ελληνικό κάρστ έχει δώσει λογικά αποτελέσματα, για αυτό και την αναφέρουμε άλλωστε. Οι μεγάλες τιμές των συντελεστών Kessler στους μήνες Φεβρουάριο μέχρι και Μάιο οφείλονται στο λιώσιμο, κατά τους μήνες αυτούς, του χιονιού (Καλλέργης Γ.Α. 1986).

ΠΙΝΑΚΑΣ 14 (Καλλέργης Γ., 1986)
--

Συντελεστές Kessler (1965) για τον υπολογισμό της κατείδυσης

Μήνας	Συντελεστής Kessler (1965) %
Σεπτέμβριος	14,6
Οκτώβριος	12,8
Νοέμβριος	22,5
Δεκέμβριος	49,7
Ιανουάριος	43,4
Φεβρουάριος	77,5
Μάρτιος	113
Απρίλιος	60
Μάϊος	44,6
Ιούνιος	33,9
Ιούλιος	20,7
Αύγουστος	17,6

Όσον αφορά ειδικότερα τώρα την περιοχή μελέτης παραθέτονται τα παρακάτω στοιχεία.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της κατείδυσης είναι: α) τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα σε σχέση με την έντασή τους και την κατανομή τους στο υδρολογικό έτος β) η φύση του εδάφους.

Μετρήσεις του συντελεστή κατείδυσης σε πειραματικό επίπεδο έγιναν μόνο στους τεταρτογενείς σχηματισμούς (άμμος, αμμοχάλικες, άργιλος), που καταλαμβάνουν και το μεγαλύτερο τμήμα των πεδιάδων Σερρών-Δράμας, με την τοποθέτηση 2 λυσιμέτρων στις περιοχές Χορτερού και Παραλιμνίου της υπολεκάνης Σερρών (Λαζαρίδου Μ. 1993).

Από την παρακολούθηση των οργάνων αυτών, διαπιστώθηκε ότι οι τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής κατείδυσης σε τέτοιου είδους πετρώματα είναι: 10-18%.

Για όλους τους υπόλοιπους σχηματισμούς που απαντούν στην λεκάνη δεν υπάρχουν μετρήσεις, παρά μόνο αυτές που δίνονται βιβλιογραφικά. Έτσι, στους ανθρακικούς σχηματισμούς που καλύπτουν κυρίως το ορεινό τμήμα της λεκάνης, όπου ο βροχομετρικός δείκτης είναι υψηλός, ο συντελεστής κατείδυσης σύμφωνα με τους διάφορους μελετητές (Burdon, Παπάκης, Μονοπώλης) κυμαίνεται μεταξύ 50-55%. Όσον αφορά, τα υδατοστεγή πετρώματα (σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, αμφιβολίτες) που καταλαμβάνουν το βόρειο και δυτικό τμήμα της περιοχής, οι τιμές που δίνουν οι διάφοροι μελετητές είναι: 3-8%. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής κατείδυσης λαμβάνει την μεγαλύτερη τιμή του εκεί που κατά τόπους αυτά τα πετρώματα εμφανίζουν έντονη ρηγμάτωση και αποσάθρωση.

14. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

A. ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί που συμμετέχουν στην διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής είναι οι εξής:

A) Προσχωσιγενείς αποθέσεις του Τεταρτογενούς → Αλλουβιακές προσχώσεις και Διλουβιακοί σχηματισμοί.

B) Νεογενείς σχηματισμοί → Μάργες, Κροκαλοπαγή, Άργιλοι

Γ) Σχηματισμοί υποβάθρου → Σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, μάρμαρα

Από άποψη υδροπερατότητας ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

1. Υψηλής διαπερατότητας

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι προσχωσιγενείς αποθέσεις του τεταρτογενούς και τα μάρμαρα του Παλαιοζωϊκού.

2. Μέτριας ως Χαμηλής Υδροπερατότητας

Εδώ υπάγονται τα νεογενή ιζήματα σχεδόν αποκλειστικά.

3. Μη υδροπερατοί σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται οι σχιστόλιθοι, οι γνεύσιοι, οι αμφιβολίτες και τα όποια εκρηξιγενή πετρώματα.

Στην υδρογεωλογική κατάσταση που επικρατεί, βασικό ρόλο διαδραματίζουν οι προσχωσιγενείς αποθέσεις και τα μάρμαρα σαν υδροπερατά πετρώματα, αλλά και οι σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, αμφιβολίτες που αποτελούν τον ρυθμιστικό παράγοντα στην διαμόρφωση υδροφόρων οριζόντων και την κατανομή των υπογείων νερών.

B. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ

Η διαμόρφωση των υδρογεωλογικών ενοτήτων εξαρτάται βασικά από δύο παράγοντες: α) την Υδροπερατότητα των λιθολογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή σε συνάρτηση με την θέση των μη υδροπερατών σχηματισμών β) από το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Οι δύο επιμέρους υπολεκάνες (Σερρών-Δράμας) που έχουν διαμορφωθεί σε όλη την έκταση της λεκάνης Στρυμόνα παρουσιάζουν διαφορετικές υδρογεωλογικές εικόνες από την ορεινή ως την πεδινή τους έκταση, που οφείλεται αποκλειστικά στους παραπάνω παράγοντες.

Βάσει των γεωλογικών, τεκτονικών και γεωμορφολογικών συνθηκών που επικρατούν στην εν λόγω περιοχή, αναπτύσσονται τρεις βασικοί υδροφορείς του υπόγειου ύδατος (Λαζαρίδου Μ. 1993).

B.1.) ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Στις αλλουβιακές αποθέσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο πάχος τους στην πεδιάδα των Σερρών αναπτύσσονται υδροφορίες πολύ σημαντικής δυναμικότητας τόσο στον φρεάτιο ορίζοντα που απαντάται στα 1,5-3μ. από την επιφάνεια του εδάφους, όσο και στους βαθύτερους ορίζοντες (Πίν. 15).

ΛΕΚΑΝΗ	ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ	ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΤΕΡΤΟΓΕΝΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ	ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ	ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΧΙΣΤΟΓΕΝΕΙΩΝ κλπ.	ΣΥΝΟΛΟ
		Ρυθμιστικά αποθέματα σε $m^3 \times 10^6$				
ΣΤΡΥΜΩΝΑ	ΣΕΡΡΩΝ (ΣΤΡΥΜΩΝΑΣ)	Καρστικό συστήμα Μενικίου	16 0	165 0	30 0	291 0
		Καρστικό συστήμα Αγκίστρου	55 0			
	ΔΡΑΜΑ (ΑΓΓΙΤΗ)	Καρστικό συστήμα Αγγίτη	238 0	30 0	-	>270
	ΝΕΥΡΟΚΟΠΙΟΥ					
ΜΑΡΜΑΡΑ	ΜΑΡΜΑΡΑΣ	Καρστικό συστήμα Μαρμαρά	11 0	5 0	1 5	17 5
	ΣΥΝΟΛΟ		320 0	>200 0	>30 0	>580 0

Πίν. 15. Υπόγεια αποθέματα νερού υδατικού διαμερίσματος Α. Μακεδονίας (Γκιώνη Γ. & Μόρφης Α., 1997).

Οι βαθύτεροι ορίζοντες παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυναμικότητα ως προς τις παροχές και βρίσκονται συνήθως υπό πίεση.

Η τροφοδοσία των υδροφόρων οριζόντων είναι συνεχής καθόλη την διάρκεια του έτους και εξασφαλίζεται εκτός από την διήθηση των ομβρίων υδάτων, από τους χειμάρρους της λεκάνης και κυρίως από τον ποταμό Στρυμόνα.

Από τις αντλήσεις που έγιναν σε αβαθείς γεωτρήσεις σε όλο το ανάπτυγμα της πεδιάδας από τον κ. **Μ. Κνιθάκη** διαπιστώθηκαν παροχές 10-80 κυβικά μέτρα την ώρα, καθώς και μεγάλοι συντελεστές μεταβιβαστικότητας $T(0,01-0,0001 \text{ m}^2/\text{s})$.

Τα μέσα ετήσια ρυθμιστικά αποθέματα του Τεταρτογενούς υδροφόρου συστήματος της λεκάνης των Σερρών εκτιμώνται της τάξης των $165 \cdot (10^3)^2$ κυβικών μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη μέση διακύμανση στάθμης ίση με 1,1μ. και συντελεστή εναποθήκευσης S ίσο με 0,15.

Στις **Διλλουβιακές αποθέσεις που απαντούν κυρίως στα κρᾶσπεδα των ορεινών όγκων υπό μορφή κροκαλοπαγών, αναπτύσσεται επίσης ένας ισχυρός υδροφόρος ορίζοντας. Η δίατα του υδροφόρου αυτού εξασφαλίζεται κυρίως με πλευρικές μεταγγίσεις υπογείων καρστικών νερών από τα μάρμαρα της περιοχής.**

B.2.) ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

Τα νεογενή θεωρούνται ένας ημιυδροπερατός σχηματισμός και παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον μόνο στην πεδιάδα, όπου εμφανίζουν και το μεγαλύτερο πάχος.

Στο χώρο αυτό, αναπτύσσονται σε διάφορα βάθη υδροφόροι ορίζοντες ικανοποιητικής παροχής, μερικοί από τους οποίους παρουσιάζουν και αρτεσιανισμό (Πίν. 15).

Β.3.) ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ

Στο δυτικό ήμισυ της λεκάνης ή επιφανειακή ανάπτυξη των μαρμάρων είναι ελάχιστη σε σχέση με την έκταση αυτού και επομένως τα μάρμαρα δεν επηρεάζουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής σε μεγάλη κλίμακα, εκτός μόνο από ορισμένες τοπικές και μεμονωμένες περιπτώσεις, όπως η περιοχή Ορέσκειας.

Αντίθετα τα μάρμαρα που αναπτύσσονται στο ανατολικό ήμισυ και δομούν κυρίως τους ορεινούς όγκους του Αγκίστρου και του Μενοικίου, έχουν αξιόλογο πάχος και σημαντική επιφανειακή ανάπτυξη. Παρουσιάζουν επίσης ένα έντονο τεκτονισμό και αποκάρσωση που διαμορφώνουν συνθήκες πλούσιας υδροφορίας (Πίν. 15).

Οι συνθήκες τροφοδοσίας του υπόγειου υδροφόρου που αναπτύσσεται στους ανθρακικούς σχηματισμούς είναι ευνοϊκότερες εξαιτίας της έντονης διάρρηξης και αποκάρσωσης των μαρμάρων καθώς και των έντονων βροχοπτώσεων.

Από παρατηρήσεις στην λεκάνη του Στρυμώνα, ο συντελεστής κατείδυσης στα μάρμαρα πρέπει να υπερβαίνει το 50% των κατακρημνισμάτων.

Το απόλυτο υψόμετρο του καρστικού υδροφορέα του αναπτύγματος Μενοικίου (χαμηλότερο σημείο ανάβλυσης) εντοπίζεται περίπου στα 70-100μ., γεγονός που επιβεβαιώνεται και από το υψόμετρο ανάβλυσης της πηγής του Αγίου Ιωάννη (Πίν. 16).

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΠΗΓΗΣ	ΜΕΣΗ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ m ³ / sec	ΑΠΟΡΡΕΟΝ ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ m ³ x 10 ⁶ /έτος	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ
1. Αγ. Ιωάννης	0.506	15.96	1 9 8 7
2. Σιδηρόκαστρο Ζεστά Νερά	0.211	6.65	
3. Αγκίστρο Θερμή	0.014	0.44	
4. Αγκίστρο Μύλοι	0.609	19.20	1 9 9 1
5. Ντελί Κράβα	1.150	36.27	
Πηγή Ελαιώνα	0.048	1.510	

Πίν. 16. Μέση ετήσια παροχή κυριοτέρων καρστικών πηγών λεκάνης Σερρών (Γκιώνη Γ. & Μόρφης Α., 1997).

Όσον αφορά την λεκάνη της Δράμας, λόγω της καθολικής σχεδόν υπεροχής των μαρμάρων έναντι των άλλων σχηματισμών στην ορεινή περιοχή, δημιουργήθηκαν συνθήκες υψηλής κατείσδυσης, με αποτέλεσμα η επιφανειακή απορροή να είναι σχεδόν ανύπαρκτη, ενώ αντίθετα αναβλύζουν καρστικές πηγές μεγάλης παροχής (Πίν. 17).

	Περίοδος μετρήσεων - παροχή					
ΠΗΓΗ	Μ.Ο 1979-92	Μ.Ο 1990-92	1992	1993	1994	Μ.Ο 1979-94
Αγ. Βαρβάρα	103	30	11	11.2	34.9	38.02
Μασρά	140	52	41	52.4	71.7	71.42
Συμβολή	29	21	19	18.6	22.6	22.04
Γαλ.Νερά	57	20	13	9.5	18.1	23.52
Κεφαλάρι	76	55	52	58.2	50.0	58.24
Καρνάντζα						25.23
Σύνολα	405	178	136	149.9	197.3	238.50

Πίν. 17. Παροχές καρστικών πηγών λεκάνης Αγγίτη σε $\text{m}^3 * 10^{-6}$ / έτος (Γκιώνη Γ. & Μόρφης Α., 1997).

Τα επιφανειακά νερά της υπολεκάνης της Δράμας δια μέσου του ποταμού Αγγίτη, οδηγούνται στον ποταμό Στρυμόνα. Τα νερά του ποταμού Αγγίτη σχεδόν αποκλειστικά προέρχονται από τις παροχές των καρστικών πηγών, που αναβλύζουν στην περιφέρεια της υπολεκάνης.

Στις προσχωσιγενείς αποθέσεις αναπτύσσεται υδροφορία σημαντικής δυναμικότητας, ο εμπλουτισμός της οποίας εξασφαλίζεται από την άμεση διήθηση των ομβρίων νερών και έμμεσα από τις πλευρικές μεταγίσεις των υπόγειων καρστικών νερών από τα μάρμαρα της περιοχής (Πίν. 15).

Αναπτύσσονται κατά βάση ένας ελεύθερος φρεάτιος ορίζοντας στα 3-4,5μ. από την επιφάνεια του εδάφους και αλληπάλληλοι βαθύτεροι με εκδηλώσεις αρτεσιανισμού.

Τα Νεογενή αντιπροσωπεύονται από μια σειρά εναλλαγών μαργών, ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και αργίλων. Στο σύνολό τους, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, θεωρούνται ένας μη υδροπερατός σχηματισμός και αποκτούν υδρογεωλογικό

ενδιαφέρον στο κέντρο της πεδιάδας της Δράμας όπου έχουν και το μεγαλύτερο πάχος τους.

Οι υδροφόροι ορίζοντες αναπτύσσονται εντός των κροκαλοπαγών και ψαμμιτών, η δε εναλλαγή υδροπερατών (κροκαλοπαγή, ψαμμίτες) και μη υδροπερατών στρωμάτων (μάργες, άργιλοι) δημιουργούν συνθήκες αρτεσιανισμού.

Η δίαιτα του σχηματισμού αυτού εξασφαλίζεται από την πλευρική τροφοδοσία των μεγάλων καρστικών πηγών, που αναβλύζουν στην περιφέρεια της λεκάνης.

Η μεγάλη επιφανειακή ανάπτυξη των μαρμάρων σε συνδυασμό με το αξιόλογο πάχος τους καθώς και το μεγάλο βαθμό αποκάρστωσης δημιουργούν συνθήκες υψηλού βαθμού κατείσδυσης των κατακρημνισμάτων και ως εκ τούτου δικαιολογείται η ύπαρξη σημαντικής υπόγειας καρστικής υδροφορίας, που τροφοδοτεί τις μεγάλες καρστικές πηγές της περιοχής και τις προσχώσεις της πεδιάδας της Δράμας.

Ρυθμιστικός παράγοντας στην διαμόρφωση των υδροφόρων οριζόντων, την δαικίνηση και την κατανομή των υπόγειων νερών αποτελεί η ύπαρξη των υδατοστεγών σχηματισμών (σχιστόλιθοι, γνεύσιοι).

Ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας στην περιοχή αυτή εντοπίζεται στην περιμετρική ζώνη επαφής των τεταρτογενών σχηματισμών και της ανθρακικής φάσης, μεταξύ των ισοϋψών 40-180μ., συμπίεσμα που προκύπτει από το υψόμετρο ανάβλυσης των πηγών αλλά και από τις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν κατά περιόδους.

15. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

A. ΓΕΝΙΚΑ

Οι φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του υπόγειου νερού καθορίζουν και την χρήση του από τον άνθρωπο στους διάφορους τομείς της οικονομίας, όπως την γεωργία και τη βιομηχανία. Επιπλέον η ποσότητα του υπόγειου νερού μας δίνει πληροφορίες για τον τύπο του υδροφόρου ορίζοντα, την προέλευση, την ταχύτητα και την διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού.

Για να βγάλουμε συμπεράσματα που να αφορούν την **ποιότητα** του υπόγειου νερού σε περιοχές που υπάρχει δυνατότητα επηρεασμού της από εξωτερικές επιδράσεις, θα πρέπει αρχικά να κάνουμε διάκριση ανάμεσα στις χημικές επιρροές που υφίσταται το υπόγειο νερό και που προέρχονται από βαθείς υδροφόρους ορίζοντες και σε εκείνες που προέρχονται από την επιφάνεια. *Στα πλαίσια της εργασίας αυτής δίδεται έμφαση κυρίως στις επιφανειακές και υποεπιφανειακές επιρροές.*

Επιρροές της ποιότητας του υπόγειου νερού από την επιφάνεια παρουσιάζονται ύστερα από μεταβολές της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, εξαιτίας της οικονομικής του εκμετάλλευσης, της επιφανειακής λίπανσης των αγρών, της απόθεσης στην επιφάνεια στερεών και υγρών αποβλήτων όπως και άλλων ανθρωπογενών επεμβάσεων, όπου τα διαλυμένα και αραιωμένα άλατα μπορούν να διεισδύουν διαμέσου επιφανειακών στρωμάτων και να αυξήσουν την συγκέντρωση των αλάτων του υπόγειου νερού.

Ανάλογες υψηλές προσθήκες ιόντων παρουσιάζονται εκεί όπου τα πετρώματα που έρχονται σε επαφή με τον υδροφόρο ορίζοντα είναι ευκολοδιάλυτα, όπως το ορυκτό άλας, η γύψος, ο ασβεστόλιθος και ο δολομίτης.

Όσον αφορά τον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής μελέτης, εντοπίζεται ακριβώς στην επαφή του επονομαζόμενου κροκαλοπαγούς του Μενοικίου (περιέχει ασβεστολιθική συγκολλητική ύλη) με μαργαϊκούς σχηματισμούς. Αυτοί οι δυο συγκεκριμένοι σχηματισμοί, όπως θα δούμε αναλυτικά παρακάτω, είναι υπεύθυνοι για τον εμπλουτισμό σε στοιχεία και ιόντα του παραπάνω ορίζοντα.

Η χημική σύσταση των εδαφών διαφέρει καταφανώς από την χημική σύσταση των κατακρημνισμάτων. Χαρακτηριστικό του εδάφους είναι η υψηλή συγκέντρωση ιόντων NO_3 , που είναι αποτέλεσμα μιας έντονης βιοχημικής νίτρωσης και αραιώσης. Τα πορώδη πετρώματα που κατέχουν τους διάφορους ορίζοντες έχουν και διαφορετική χημική σύσταση.

Μια ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στην συγκέντρωση του νερού, που βρίσκεται στην ανώτερη ζώνη διήθησης και σε αυτήν του υπόγειου νερού είναι οι πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις ιόντων HCO_3^- που παρατηρούνται στα νερά της ζώνης διήθησης.

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης, όπως διαπιστώνεται εμφανώς παρακάτω, τα συγκεκριμένα συστήματα αντιστοιχούν σε υδροφόρους ορίζοντες που εν γένει εμπεριέχονται στην ανώτερη ζώνη διήθησης δεδομένου ότι το ιόν HCO_3 είναι το επικρατέστερο ιόν (σε mg/l) στις χημικές αναλύσεις που έλαβαν χώρα.

B. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Έχει πια αναγνωριστεί, ότι η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι εξίσου σημαντικός παράγοντας με την ποσότητά του. Όλα τα υπόγεια νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα, που τα έχει πάρει το νερό κατά την διαδρομή του μέσα από τα πετρώματα. Οι

ποιοτικές απαιτήσεις των διαφόρων καταναλωτών νερού ποικίλλουν σημαντικά. Για την δημιουργία κριτηρίων ποιότητας του νερού, πρέπει να καθορίζονται με σαφήνεια οι περιεκτικότητες του σε χημικά, φυσικά, βιολογικά και ραδιενεργά συστατικά και να καθιερώνονται **σταθερότυπα** για την παρουσίαση και σύγκριση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων.

Η παρουσία αερίων, διαλυμένων στο νερό, είναι επικίνδυνη εάν δεν αναγνωρισθεί έγκαιρα. Για την περιοχή μελέτης ειδικότερα, δεν έχει εξεταστεί η παρουσία αερίων, στα πλαίσια τουλάχιστον της εργασίας αυτής και για το λόγο αυτό δεν γίνεται εκτενής αναφορά παρακάτω.

Γενικά ιδιότητες που μπορεί να κάνουν το νερό τελείως ακατάλληλο για κάποια συγκεκριμένη χρήση, π.χ. ύδρευση, μπορεί να μην επηρεάζουν την καταλληλότητά του για άλλες χρήσεις, π.χ. αρδευτική ή βιομηχανική.

Γ. ΠΗΓΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

Το νερό των κατακρημνισμάτων περιλαμβάνει σχεδόν πάντα O_2 & CO_2 (κατά μέσο όρο 0,03%) που μαζί με το νερό σχηματίζει ανθρακικό οξύ, ενώ τα διάφορα άλατα του είναι συνήθως χλωριούχα. Η περιεκτικότητα αυτών σε Cl ελαττώνεται κατά κανόνα όσο απομακρυνόμαστε από την θάλασσα. Ο μεγαλύτερος εμπλουτισμός των κατακρημνισμάτων με διάφορες ουσίες λαμβάνει χώρα κατά κανόνα στο ανώτερο στρώμα του εδάφους. Το νερό από εκεί παραλαμβάνει π.χ. CO_2 , H_2S , O_2 , διαλυτά άλατα και χουμικά οξέα.

Στα υπόγεια νερά κανονικού τύπου περιέχονται συνήθως τα παρακάτω ιόντα σε μικρές ή μεγάλες συγκεντρώσεις:

ΚΑΤΙΟΝΤΑ: Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2}

ΑΝΙΟΝΤΑ: Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^{-2} , SO_4^{-2}

Το είδος και η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων εξαρτάται από την φύση των πετρωμάτων- μέσω των οποίων κινείται το υπόγειο νερό- την ταχύτητα ροής κ.λπ. Κατά κανόνα τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά νερά, γιατί τα πρώτα βρίσκονται για μεγαλύτερο χρόνο σε επαφή με ευδιάλυτα υλικά στα γεωλογικά στρώματα. Τα ευδιάλυτα αυτά άλατα προέρχονται κυρίως από τη διάλυση υλικών των πετρωμάτων.

► Η οξυανθρακική ρίζα, που είναι συνήθως το επικρατέστερο ανιόν στα υπόγεια νερά, προέρχεται από το διοξείδιο του άνθρακα που ελευθερώνεται κατά την οργανική αποσύνθεση στο έδαφος. Οι τιμές της αλατότητας είναι μεγαλύτερες εκεί που η κίνηση του νερού είναι μικρότερη. Έτσι, η αλατότητα γενικά αυξάνει με το βάθος. Το παραπάνω γεγονός επιβεβαιώνεται ισχυρά και από τις αναλύσεις που αφορούν το Q1, το οποίο βρίσκεται και βαθύτερα από το δεύτερο σύστημα και κυρίως ανανεώνεται πολύ αργά. Μια συνηθισμένη γεωχημική ακολουθία στα υπόγεια νερά, είναι εκείνη κατά την οποία κοντά στην επιφάνεια απαντούν δισανθρακικά νερά για να μεταπέσουν σε χλωριούχα νερά στους βαθύτερους σχηματισμούς.

► Το νερό της βροχής, που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, περιέχει πολύ μικρές ποσότητες διαλυμένων αλάτων. Όταν φθάσει στην επιφάνεια, το νερό αντιδρά με τα ορυκτά του εδάφους και των πετρωμάτων, με τα οποία έρχεται σε επαφή. Η ποσότητα και ο τύπος των ορυκτών υλικών που διαλύονται εξαρτώνται από την χημική

σύσταση και την δομή των πετρωμάτων, από το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh του νερού (Back- Hansaw 1965). Το διαλυμένο CO₂ που προέρχεται τόσο από την ατμόσφαιρα όσο και από οργανικές διασπάσεις στο έδαφος, αυξάνει την διαλυτική ικανότητα του νερού καθώς το τελευταίο κινείται στο έδαφος (Hem 1970).

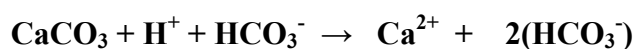
Το υπόγειο νερό εμπλουτίζεται σε άλατα, τα οποία προέρχονται από τα διαλυτά συστατικά των πετρωμάτων μέσα από τα οποία κινείται.

Το πλεόνασμα του αρδευτικού νερού που εισέρχεται στον υδροφόρο συχνά προσθέτει συμπληρωματικές ποσότητες από άλατα. Το νερό που περνά από την ζώνη των ριζών σε καλλιεργημένες περιοχές, περιέχει συνήθως πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αλάτων από το αρχικό νερό. Η αύξηση αυτή των αλάτων προέρχεται κατά κύριο λόγο από την διαδικασία της εξατμισιδιαπνοής, η οποία προκαλεί συμπύκνωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων. Επιπρόσθετα διαλυτά υλικά του εδάφους, λιπάσματα και εκλεκτική απορρόφηση ορισμένων αλάτων από τα φυτά, μεταβάλλουν την συγκέντρωση αλάτων των διηθούμενων νερών.

► Οι παράγοντες που ελέγχουν την αύξηση αυτή των αλάτων στο υπόγειο νερό είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, η δυνατότητα αποστράγγισης του αρδευτικού νερού, η ποσότητα του χρησιμοποιημένου νερού, το κλίμα και το είδος της καλλιέργειας. Ψηλές αλατότητες συναντώνται σε εδάφη και υδροφόρους των ξηρών γενικά κλιμάτων, όπου η έκπλυση από την βροχή είναι ασήμαντη ώστε να προκαλέσει διάλυση των άλλων αλάτων. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε το γεγονός ότι η περιοχή μελέτης ανήκει στην παραπάνω κλιματική ζώνη με τις χιονοπτώσεις να συμμετέχουν και να επηρεάζουν σε αρκετά μεγάλο βαθμό το όλο φαινόμενο της έκπλυσης των συγκεκριμένων πετρωμάτων, άρα εν τέλει και την χημική σύσταση των υδάτων. Περιοχές με κακή στράγγιση, ιδιαίτερα λεκάνες που έχουν εσωτερική στράγγιση, συχνά παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις. Επίσης μερικές περιοχές περιέχουν υπολείμματα ιζηματογενών αποθέσεων σε αλμυρά νερά και είναι γνωστές σαν ‘badlands’ δηλαδή πρόκειται για υποβαθμισμένα (άγονα) εδάφη. Σε αυτά η έλλειψη παραγωγικότητας οφείλεται και στην περίσσεια αλάτων στο έδαφος και στο νερό.

Το διηθούμενο νερό της βροχής, περιέχει CO₂ που προέρχεται από την ατμόσφαιρα, το οποίο αυξάνει την διαλυτική ενέργεια του νερού. Τα πυριτικά άλατα των εκρηξιγενών πετρωμάτων προσθέτουν στο νερό SiO₂.

Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι πιο διαλυτά από τα μαγματικά πετρώματα. Σημαντικές πηγές ορυκτών ουσιών, στα ιζηματογενή πετρώματα, είναι οι άστριοι, οι διάφορες μορφές του ανθρακικού ασβεστίου και οι εβαπορίτες. Λόγω της υψηλής διαλυτότητάς τους, σε συνδυασμό με την αφθονία τους στο στερεό φλοιό της γης, τα ιζηματογενή πετρώματα συνεισφέρουν, αυτά κατά κύριο λόγο, στον εμπλουτισμό των υπογείων νερών σε διαλυμένα άλατα. Κατά κανόνα τα κατιόντα που προέρχονται από ιζηματογενή πετρώματα είναι το Ca²⁺ και το Na⁺, ενώ τα συνηθέστερα ανιόντα είναι η δισανθρακική και θειική ρίζα. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις, τα χλωριόντα απαντούν σε πολύ μικρές ποσότητες. Εάν το νερό που είναι εμπλουτισμένο με CO₂ έρθει σε επαφή με ασβεστολιθικά πετρώματα, τότε διαλύεται το CaCO₃ από το HCO₃⁻ κατά το σχήμα :



Έτσι το CaCO₃, που βρίσκεται πολύ διαδεδομένο ως αδιάλυτο άλας στη φύση, μετατρέπεται σε όξινο Ca(HCO₃)₂ το οποίο είναι πολύ περισσότερο διαλυτό στο νερό.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις, τα χλωριόντα απαντούν σε μικρές ποσότητες. Οι πιο σημαντικές πηγές χλωριούχων είναι τα **λύματα**, το απολιθωμένο νερό και το θαλασσινό νερό που συχνά μολύνει τους παράκτιους υδροφόρους. Καμιά φορά η νιτρική ρίζα είναι ένα σημαντικό φυσικό συστατικό, όμως οι υψηλές συγκεντρώσεις της συχνά αποτελούν δείκτη κάποιας ρύπανσης.

Επειδή ακριβώς η περιοχή μελέτης μας, αναφέρεται πάντα σε γενικές γραμμές σε ιζηματογενή πετρώματα, ισχύουν προφανώς όλα τα παραπάνω με ιδιαίτερη έμφαση στο γεγονός της ανθρακικής διάλυσης που λαμβάνει χώρα με την συμμετοχή τόσο των βροχοπτώσεων αλλά κυρίως με το λιώσιμο των χιονιών, που τοποθετούνται ασφαλώς υψομετρικά λίγο υψηλότερα.

Οι Davis – DeWiest (1966) ανάλογα με την ποσότητα με την οποία βρίσκονται τα διαλυμένα στερεά στο πόσιμο νερό (τυπική συγκέντρωση), τα διέκριναν σε:

- 1) **Κύρια συστατικά (1 – 1000 mg/l):** Na, Ca, Mg, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl, K
- 2) **Δευτερεύοντα συστατικά (0,01 – 10 mg/l):** Fe, Sr, K, CO_3^{2-} , NO_3^- , F, B
- 3) **Ολιγοσυστατικά (0,001 – 0,1 mg/l):** Sb, As, Al, Ba, Br, Cd, Cr, Co, Cu, Ge, κ.α.
- 4) **Ιγνοσυστατικά (< 0,001 mg/l):** Be, Bi, Cs, Ga, Au, Pt, Ra, Ag, Sn, Zr κ.α.

► Στις ασβεστολιθικές περιοχές τα επικρατούντα ιόντα είναι η δισανθρακική ρίζα και το ασβέστιο. Κάτι που αναμένεται να βρούμε ασφαλώς μέσα από τις χημικές αναλύσεις και για την περιοχή μελέτης.

Α. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Για τον καθορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού απαιτείται η εκτέλεση χημικών, φυσικών και βιολογικών αναλύσεων. Μια πλήρης χημική ανάλυση ενός δείγματος υπόγειου νερού, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των ανόργανων συστατικών του, όπου υπάρχουν ενδείξεις ή υπόνοιες ρύπανσης του νερού, τότε πρέπει να προσδιορίζονται και ορισμένες οργανικές και ραδιολογικές παράμετροι. Τα διαλυμένα άλατα, στο υπόγειο νερό κανονικής αλατότητας, απαντούν με μορφή ιόντων, επιπρόσθετα άλλα **ολιγοσυστατικά** αναφέρονται με στοιχειακή μορφή. Απαραίτητη είναι επίσης η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH.

Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε **μόνο** μερικά από τα πιο βασικά συστατικά χημικά στοιχεία των υποεπιφανειακών υδάτων των συγκεκριμένων Qanat της περιοχής μελέτης, τα οποία είναι: το **Ca, Mg, Cl** και HCO_3^- . Επίσης έχουν γίνει μετρήσεις της θερμοκρασίας του νερού κατά την διάρκεια λήψης των δειγμάτων καθώς επίσης του pH και της αγωγιμότητας με τα ανάλογα ηλεκτρονικά όργανα.

Οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων έγιναν στο Εργαστήριο Χημείας του Τομέα Υδρογεωλογίας, κάτω από την επίβλεψη του χημικού και υποψήφιου διδάκτορα Υδρογεωλογίας κ. Σωτηριάδη Μιχάλη, τον οποίο ευχαριστώ θερμά.

Όσον αφορά τον αριθμό των δειγμάτων, αυτά αντιστοιχούν σε **11 δείγματα ανά σύστημα**, δηλαδή συνολικά αριθμούνται 22 δείγματα προς ανάλυση του 1,5l το καθένα. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Ca, Mg και HCO_3^- υπολογίστηκαν με τη συνήθη μέθοδο της τιτλοδότησης με ικανοποιητική ακρίβεια, ενώ η συγκέντρωση του Cl υπολογίστηκε με την βοήθεια φασματοφωτομέτρου της HACH, επίσης με πολύ καλή ακρίβεια.

Δ.1. ΟΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Η συγκέντρωση των ιόντων που βρίσκεται στο υπόγειο νερό, όπως αυτή δίνεται από τις χημικές αναλύσεις, μπορεί να εκφραστεί κυρίως με δύο τρόπους:

- Με την μοριακότητα κατά βάρος (σε ppm δηλαδή)
- Με την μοριακότητα κατά όγκο (σε mg/l δηλαδή)

Σε θερμοκρασία όμως ανάμεσα στους 4 και τους 100 °C και με TDS < 7000 mg/l ισχύει η ισότητα 1 ppm = 1 mg/l.

Τα διάφορα ιόντα που περιέχονται μέσα στο νερό, προκαθορίζουν και την ηλεκτρική αγωγιμότητα αυτού, που αποτελεί έτσι ένα μέτρο για το περιεχόμενο του νερού σε διαλυμένες ουσίες. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (**R**) μετριέται σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ (μικρο-Ζίμενς), όπου $1\text{S} = 1/\Omega$. κατά κανόνα λαμβάνει κανείς την ολική ποσότητα των αλάτων (**T.D.S**) που περιέχονται στο νερό σε mg/l, όταν πολλαπλασιάσει την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας R με τον αριθμό 0,65.

Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (**E.C.**) ορίζεται ως η αγωγιμότητα ενός cm^3 νερού στην θερμοκρασία των 25 °C. Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C, προκαλεί αύξηση της αγωγιμότητας κατά 2% περίπου. Για τα περισσότερα νερά το TDS συνδέεται προσεγγιστικά με την E.C. με την σχέση (Logan 1961, Richards 1954):

$$1000\mu\text{S}/\text{cm} = 640 \text{ mg/l}$$

Η σχέση αυτή ισχύει για την περιοχή 100 – 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Γνωρίζοντας την E.C. (μέτρηση με φορητό αγωγιμόμετρο) μπορεί κανείς να εκτιμήσει το TDS από τις σχέσεις (Mandel – Shiftan 1981):

$$\text{TDS (ppm)} = 0,65 * \text{E.C.}$$

$$\text{TDS (meq/l)} = 0,01 * \text{E.C.}$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ειδική αντίσταση του νερού είναι συνάρτηση της μεταλλικότητάς του. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σε δύο πίνακες που αντιστοιχούν στα δύο εξεταζόμενα συστήματα.

QANAT 2	HCO ₃ (mg/l)	Cl(mg/l)	Ca(mg/l)	Mg(mg/l)
Δ	160	9,7	90	33,94
Ι	78	13,6	34,4	19,53
Φ	233	11,9	87,6	5,86
Μ	97	11,7	39,6	29,06
Α	219	10,7	75,2	12,70
Μ	255	15,2	85,6	10,01
Ι	230	13,2	99,2	6,84
Ι	223	9,7	95,2	8,30
Α	258	12,9	104	6,10
Σ	243	10,6	84,4	11,96
Ο	204	9,9	99,6	4,40

Πίν. 18Α. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του νερού του Q2 για την περίοδο 2003 – 2004.

QANAT 1	HCO ₃ (mg/l)	Cl(mg/l)	Ca(mg/l)	Mg(mg/l)
Δ	276	17,9	127,2	10,26
I	307	21,3	103,6	12,94
Φ	269	20,3	102,8	14,65
M	266	17,6	106,4	13,43
A	259	20,9	119,6	9,03
M	238	16	120,4	11,48
I	319	18,4	124	4,15
I	280	18,9	125,2	9,52
A	265	21,5	124,4	9,03
Σ	292	19,2	123,6	6,59
O	278	19,8	122,4	4,64

Πίν. 18B. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του νερού του Q1 για την περίοδο 2003 – 2004.

Δ.2. Η ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Πρώτος χρησιμοποίησε τους όρους σκληρό και μαλακό νερό ο Ιπποκράτης (460-354 π.Χ.). Η σκληρότητα προέρχεται από την παρουσία στο υπόγειο νερό διαλυμένων μεταλλικών κατιόντων, από τα οποία τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca και το Mg. Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό, δημιουργούν κρούστα. Τα νερά αυτά για τους πιο πάνω λόγους είναι ακατάλληλα για οικιακή χρήση, για πλύσιμο και κατά κανόνα πρέπει να υπόκεινται στην διαδικασία της αποσκλήρυνσης.

Η σκληρότητα του νερού οφείλεται στην διάλυση από αυτό αλάτων του Ca και Mg. Η διάλυση διευκολύνεται από το CO₂ που ελευθερώνεται από την βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους, εμπλουτίζοντας έτσι το διηθούμενο νερό σε CO₃⁻² (Sawyer-McCarthy, 1967).

► Χαμηλό pH προκαλεί την διάλυση των αδιάλυτων ανθρακικών του εδάφους και των ασβεστόλιθων και την μετατροπή τους σε διαλυτά όξινα ανθρακικά άλατα. Διάφορες προσμείξεις που περιέχονται στους ασβεστόλιθους, όπως π.χ., θειικά, χλωριούχα και πυριτικά άλατα διαλύονται επίσης. Έτσι σε περιοχές όπου παχύ έδαφος υπέρκειται ασβεστολιθικών σχηματισμών, το νερό αποκτά μεγάλη σκληρότητα (κάτι ανάλογο συμβαίνει και στην περιοχή μελέτης και ιδιαίτερα μάλιστα στο εσωτερικό των συγκλινικών κοιλάδων). Η τελευταία είναι γνωστή και ως ολική σκληρότητα HT, η οποία συνήθως εκφράζεται σε ισοδύναμο CaCO₃ σε mg/l.

Ισχύει:

$$HT = 2,5Ca^{2+} + 4,1Mg^{2+}$$

Όπου οι συγκεντρώσεις Ca²⁺ και Mg²⁺ εκφράζονται επίσης σε mg/l και οι λόγοι σε ισοδύναμα βάρη.

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης συναντάμε συγκεκριμένο στρώμα εδάφους που καλύπτει σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις το κροκαλοπαγές του Μενοικίου, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των συγκλινικών δομών, οι οποίες μάλιστα περιλαμβάνουν τα μελετούμενα συστήματα QANAT και το πάχος του εδάφους είναι σημαντικό. Αναμένουμε λοιπόν σημαντικές τιμές αλατότητας στα νερά αυτά.

Η σκληρότητα του ύδατος οφείλεται στην παρουσία ανθρακικών, διττανθρακικών και θειικών αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου. Η σκληρότητα διακρίνεται σε ανθρακική και σε μη ανθρακική.

1. Η **ανθρακική σκληρότητα** αποβάλλεται κατά το βρασμό και για αυτό την ονομάζουμε και παροδική σκληρότητα:



2. Η **μη ανθρακική σκληρότητα** δεν αποβάλλεται κατά το βρασμό και γι αυτό την ονομάζουμε και μόνιμη σκληρότητα.

Η **ολική σκληρότητα (TH)** υπολογίζεται από την συνολική συγκέντρωση των αλκαλίων μέσα στο νερό (Ca, Mg, Sr, Ba) ανεξάρτητα με ποια ανιόντα είναι συνδεδεμένα. Κατά κανόνα χρησιμοποιείται ο παρακάτω πίνακας για να χαρακτηρίσουμε ένα νερό με την σκληρότητά του (**βλ. Πίν. 19**):

- Από 0-4° dH πολύ μαλακό
- Από 4-8° dH μαλακό
- Από 8-12° dH μέσο σκληρό
- Από 12-16° dH σκληρό

Σύμφωνα με τα στοιχεία των πινάκων 2 & 5 για την περιοχή μελέτης, η σκληρότητα εκφρασμένη σε γερμανικούς βαθμούς κατά μέσο όρο δίνει τιμές **11,37°** και **16,54° dH** για τα Q2 & Q1 αντίστοιχα. Επομένως λοιπόν κάνουμε λόγο ασφαλώς για σκληρά νερά.

Ολική σκληρότητα είναι αυτή που προσδιορίζεται σε ένα δείγμα ύδατος όπως έχει στη φύση.

QANAT 2	TH(mg/l)	QANAT 1	TH(mg/l)
Δ	264	Δ	360
Ι	134	Ι	312
Φ	243	Φ	317
Μ	218	Μ	321
Α	240	Α	336
Μ	255	Μ	348
Ι	276	Ι	327
Ι	272	Ι	352
Α	285	Α	348
Σ	260	Σ	336
Ο	267	Ο	325

Πίν. 19. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων της ολικής σκληρότητας (TH) του νερού των Q2 & Q1 για την περίοδο 2003 – 2004.

Ανάλογα με την ολική σκληρότητα του νερού εκφρασμένη σε ισοδύναμο CaCO_3 σε mg/l, έχουν προταθεί οι δύο πιο κάτω ταξινομήσεις (**Πίνακας 20**):

Χαρακτηρισμός του νερού	Κατά Sawyer-McCarty (1967)		Hem (1970)	
	Ισοδύναμο CaCO_3 σε mg/l	Γαλλικοί βαθμοί	Ισοδύναμο CaCO_3 σε mg/l	Γαλλικοί βαθμοί
Μαλακό	0 - 75	0 - 7,5	0 - 60	0 - 6
Μέτρια σκληρό	76 - 150	7,6-15	61 - 120	6,1-12
Σκληρό	150 - 300	15 - 30	121 - 180	12,1-18
Πολύ σκληρό	> 300	> 30	> 180	> 18

Πιν. 20. Οι συνήθεις ταξινομήσεις του πόσιμου νερού με βάση την **ολική σκληρότητα** (Καλλέργης Γ., 1986).

Σύμφωνα με τα στοιχεία των **Πινάκων 19 & 22** για την περιοχή μελέτης, η σκληρότητα εκφρασμένη σε γαλλικούς βαθμούς κατά μέσο όρο δίνει τιμές **20,31°** και **29,54° fH** για τα Q2 & Q1 αντίστοιχα. Επομένως λοιπόν (σύμφωνα και με τον **Πίνακα 20**) κάνουμε λόγο ασφαλώς για σκληρά νερά, γεγονός το οποίο δεν είναι απαραίτητα επιβλαβές, όπως διευκρινίζεται λίγο παρακάτω.

Η μόνιμη σκληρότητα είναι πάντα μικρότερη από την ολική σκληρότητα και η διαφορά τους δίνει την παροδική σκληρότητα που οφείλεται στα ευδιάλυτα άλατα.

Η σχέση μεταξύ των είναι η εξής:

$$\text{Ολική} = \text{Παροδική} + \text{Μόνιμη}$$

Η παρουσία των παρακάτω αλάτων με την σειρά συχνότητας έχουν σχέση με την σκληρότητα:

- | | |
|--|--|
| 1. $\text{CaCO}_3 - \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ | 5. CaCl_2 |
| 2. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | 6. $\text{MgCO}_3 - \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ |
| 3. CaSO_4 | 7. $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ |
| 4. MgCl_2 | 8. MgSO_4 |

Παλαιότερα στη βιβλιογραφία χρησιμοποιούνταν κάποια ιδιαίτερη μονάδα μέτρησης της σκληρότητας, ο **βαθμός σκληρότητας**. Οι διάφορες όμως χώρες, αναπτύξανε η καθεμιά δική τους κλίμακα και δικούς τους βαθμούς μέτρησης της σκληρότητας του νερού, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει δυνατότητα συνεννόησης ανάμεσα στους επιστήμονες των διαφόρων σχολών. Έτσι τελικά εγκαταλείφθηκε αυτός ο τρόπος παρουσίασης και μέτρησης της σκληρότητας και καθιερώθηκε διεθνώς ως μέτρο της σκληρότητας το mg/l σε ισοδύναμο CaCO_3 .

Για λόγους ιστορικής και μόνο ενημέρωσης αναφέρουμε τους διάφορους βαθμούς σκληρότητας που είναι:

- | | | |
|-------------------------------------|----|---------------------------------------|
| Ο Γαλλικός βαθμός που ισοδυναμεί με | 10 | mg/l CaCO_3 |
| Ο Γερμανικός βαθμός | » | 17,9 mg/l $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ |
| Ο Αγγλικός βαθμός | » | 14,3 mg/l CaCO_3 |

Ο Αμερικανικός βαθμός » 1 mg/l CaCO₃
Ο Ρωσικός βαθμός » 0,001 g/l Ca²⁺

Ο παρακάτω πίνακας δίνει στοιχεία για τους συντελεστές μετασχηματισμού των διαφόρων βαθμών σκληρότητας κατά G. Castany (από Καλλέργη Γ., 1986).

	°dH	°eH	°fH	°uH	°rH
1°dH (γερμανικός)	1	1,25	1,79	1,04	7,14
1°eH (αγγλικός)	0,80	1	1,43	0,83	5,72
1°fH (γαλλικός)	0,56	0,70	1	0,58	4,00
1°uH (αμερικάνικος)	0,96	1,20	1,72	1	6,86
1°rH (ρωσικός)	0,14	0,18	0,25	0,15	1
1 mval	2,8	3,5	5	2,9	20,04

Πίν. 21. Βοηθητικός πίνακας με τους απαραίτητους συντελεστές μετασχηματισμού των διαφόρων βαθμών σκληρότητας (Δημόπουλος Γ., 1996).

Το νερό για οικιακή χρήση δεν πρέπει να έχει HT μεγαλύτερη από 80mg/l. Τελευταία έχει αναφερθεί (Crowford 1972) ότι παρουσιάζεται μεγαλύτερη συχνότητα στεφανιαίων καρδιακών νοσημάτων σε περιοχές με μαλακό πόσιμο νερό, από ότι σε περιοχές με σκληρό πόσιμο νερό. Οι Neri et al. (1975) αναφέρουν ότι η συχνότητα καρδιακών νοσημάτων είναι επίσης χαμηλή σε περιοχές με πολύ μαλακό πόσιμο νερό. Η ερμηνεία των πιο πάνω φαινομενικά αντικρουόμενων στατιστικών είναι (Bouwer, 1978), ότι τα πολύ μαλακά νερά δεν περιέχουν συνήθως τοξικές ουσίες, ενώ τα σκληρά νερά περιέχουν περισσότερες τοξικές ουσίες αλλά επίσης και αρκετά ανταγωνιστικά των τοξικών ουσιών ορυκτά συστατικά, με αποτέλεσμα τα τελευταία να αδρανοποιούν τις πρώτες.

Τα παραπάνω ασφαλώς ισχύουν και για την περιοχή μελέτης, αυτό όμως δεν σημαίνει ότι τα νερά των συστημάτων δεν πρέπει να υποστούν συγκεκριμένη επεξεργασία ενός ήπιου βαθμού αποσκλήρυνσης (και όχι μόνο), όταν και εφόσον αξιοποιηθούν, ιδίως όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για πόση.

Επίσης ασφαλώς αναμέναμε να βρούμε μεγαλύτερες τιμές σκληρότητας για την περίπτωση του Q1, δεδομένου ότι βρίσκεται και σε μεγαλύτερο βάθος άρα σημειώνεται σε αυτό μεγαλύτερη κατείσδυση, οπότε και μεγαλύτερη επιφόρτιση με άλατα. Επιπλέον τα νερά του συγκεκριμένου συστήματος ανανεώνονται με αρκετά πιο αργούς ρυθμούς από ότι τα νερά του Q2.

QANAT 2	fH	dH	QANAT 1	fH	dH
Δ	22,5	12,6	Δ	31,8	17,81
I	8,6	4,82	I	25,9	14,50
Φ	21,6	12,10	Φ	25,7	14,39
M	9,9	5,54	M	26,6	14,90
A	18,8	10,53	A	29,9	16,74
M	21,4	11,98	M	30,1	16,86
I	24,8	13,89	I	31	17,36
I	23,8	13,33	I	31,3	17,53
A	26	14,56	A	31,1	17,42
Σ	21,1	11,82	Σ	30,9	17,30
O	24,9	13,94	O	30,6	17,14

Πίν. 22. Εκφρασμένη η ΤΗ των νερών των Q1 & Q2 σε γαλλικούς (fH) και σε γερμανικούς βαθμούς (dH).

Δ.3. ΣΥΝΟΛΟ ΔΙΑΛΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ (TDS)

Το σύνολο των διαλυμένων στερεών (TDS), δεν είναι τίποτε άλλο, παρά η συνολική συγκέντρωση διαλυμένων στο νερό αλάτων, η οποία συνήθως είναι μικρότερη από 500mg/l και κυμαίνεται δε μεταξύ 100-100.000mg/l. Στο TDS δεν περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Το TDS αποτελεί ασφαλή δείκτη της μεταλλικότητας των υπογείων νερών.

Διάφορες ταξινομήσεις έχουν προταθεί ανάλογα με την περιεκτικότητα των υπογείων νερών σε TDS.

Ταξινόμηση κατά Hem (1970)

Γλυκό νερό:	TDS < 1000 mg/l
Μέτρια αλατούχο νερό:	TDS 3000-10.000 mg/l
Πολύ αλατούχο νερό:	TDS 10.000-35.000 mg/l
Υπεράλμυρο ('σαλαμούρα'):	TDS > 35.000 mg/l.

QANAT 2	TDS(mg/l)	TDS(meq/l)	QANAT 1	TDS(mg/l)	TDS(meq/l)
Δ	323,7	4,98	Δ	511,6	7,87
I	313,3	4,82	I	505,1	7,77
Φ	335,4	5,16	Φ	482,3	7,42
M	203,5	3,13	M	496	7,63
A	343,2	5,28	A	497,9	7,66
M	331,5	5,1	M	497,3	7,65
I	336,7	5,18	I	484,9	7,46
I	338,7	5,21	I	477,1	7,34
A	342,5	5,27	A	488,8	7,52
Σ	340	5,23	Σ	471,9	7,26
O	342,4	5,27	O	474,5	7,3

Πίν. 23. Εκφρασμένο το TDS των νερών των Q1 & Q2 σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για την περίοδο 2003 – 2004.

Δ.4. ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων σε πίνακες δεν είναι εποπτική και κατά κανόνα δεν προσφέρεται σε συγκρίσεις, συσχετισμούς, ερμηνεία.

Η γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης απλουστεύει τη σύγκριση διαφόρων αναλύσεων και την αξιοποίησή τους. Ανάλογα με το σκοπό και τα υπάρχοντα στοιχεία χρησιμοποιούμε και διαφορετικές μεθόδους. Οι μέθοδοι αυτοί κατανέμονται βασικά σε τρεις τύπους:

1. Στα διαγράμματα εκείνα στα οποία παριστάνουμε τις τιμές της ανάλυσης ενός μόνο δείγματος.
2. Στα διαγράμματα εκείνα στα οποία πολλές αναλύσεις διαφόρων δειγμάτων είναι δυνατόν να συγκριθούν απευθείας και γρήγορα μεταξύ τους και
3. Επιφανειακές παραστάσεις πάνω σε χάρτες ή τομές.

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης παραθέτουμε στην συνέχεια πλήθος διαγραμμάτων και γραφικών παραστάσεων σύμφωνα πάντα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Επίσης με τις γραφικές παραστάσεις και τα διαγράμματα μπορεί να αναγνωριστεί η ανάμειξη νερών διαφορετικής προέλευσης και σύνθεσης, καθώς και η διεργασία που λαμβάνει χώρα κατά τη κίνηση του νερού. Τα πιο συνηθισμένα από τα διαγράμματα είναι:

1) Τα **ραβδοδιαγράμματα**, στα οποία κάθε ανάλυση παρουσιάζεται σαν μια κατακόρυφη διπλή στήλη. Το ύψος της, με βάση κάποια κατακόρυφη κλίμακα, είναι ανάλογο προς την ολική συγκέντρωση ανιόντων ή κατιόντων, εκφρασμένων συνήθως σε meq/l.

Με πολύ απλή μορφή μπορούν να παρασταθούν οι διάφορες τιμές μιας ανάλυσης για ιόντα σε στήλες που το μήκος τους εκλέγεται με μια ορισμένη κλίμακα σύμφωνα με την συγκέντρωση των ιόντων (**βλ. Σχ. 31**).

Ο συνηθέστερος τρόπος των σπηλοειδών διαγραμμάτων αποδίδει τις τιμές των ανιόντων και κατιόντων σε απόλυτες τιμές (mval/l ή mval/kg). Το συνολικό μήκος της στήλης αποτελεί ένα μέτρο της συνολικής ποσότητας σε ανιόντα και κατιόντα ως mg% ή mval% (σε σχέση με το σύνολο των κατιόντων και των ανιόντων). Στην αριστερή στήλη συνήθως παριστάνονται τα κατιόντα και στη δεξιά στήλη τα ανιόντα (**βλ. Σχ. 31**). Η σειρά είναι από κάτω προς τα πάνω Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , HCO_3^{-} , CO_3^{-2} , SO_4^{-2} , Cl^{-} .

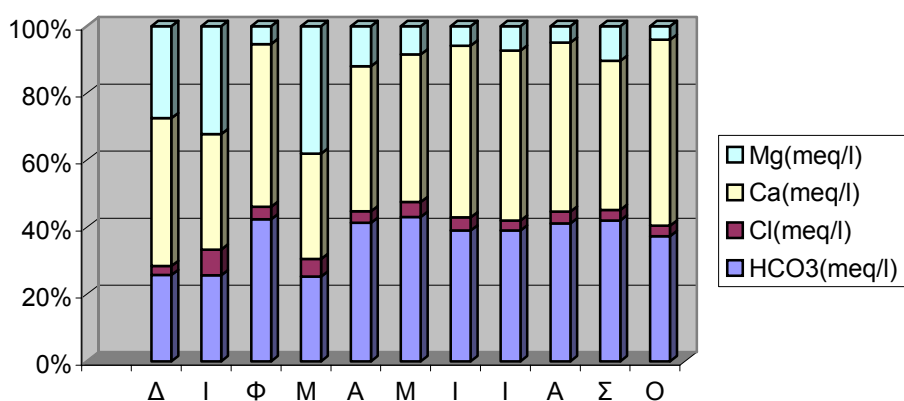
QANAT 2	HCO3(meq/l)	Cl(meq/l)	Ca(meq/l)	Mg(meq/l)
Δ	2,62	0,27	4,49	2,79
Ι	1,28	0,38	1,72	1,61
Φ	3,82	0,34	4,37	0,48
Μ	1,59	0,33	1,98	2,39
Α	3,59	0,30	3,75	1,04
Μ	4,18	0,43	4,27	0,82
Ι	3,77	0,37	4,95	0,56
Ι	3,66	0,27	4,75	0,68
Α	4,23	0,36	5,19	0,50
Σ	3,98	0,30	4,21	0,98
Ο	3,34	0,28	4,97	0,36

Πίν. 24Α. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων περιόδου 2003 – 2004 σε (meq/l)

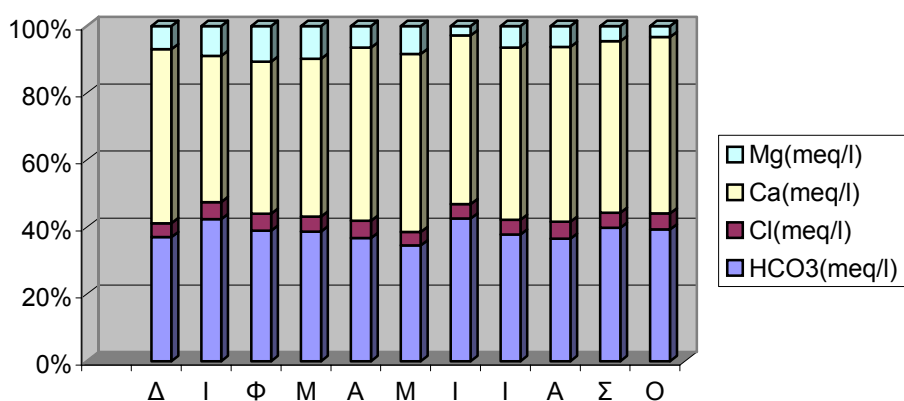
QANAT 1	HCO ₃ (meq/l)	Cl(meq/l)	Ca(meq/l)	Mg(meq/l)
Δ	4,53	0,51	6,35	0,84
Ι	5,03	0,60	5,17	1,06
Φ	4,41	0,57	5,13	1,21
Μ	4,36	0,50	5,31	1,10
Α	4,25	0,59	5,97	0,74
Μ	3,90	0,45	6,01	0,94
Ι	5,23	0,52	6,19	0,34
Ι	4,59	0,53	6,25	0,78
Α	4,34	0,61	6,21	0,74
Σ	4,79	0,54	6,17	0,54
Ο	4,56	0,56	6,11	0,38

Πίν. 24B. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων περιόδου 2003 – 2004 σε (meq/l)

QANAT 2



QANAT 1

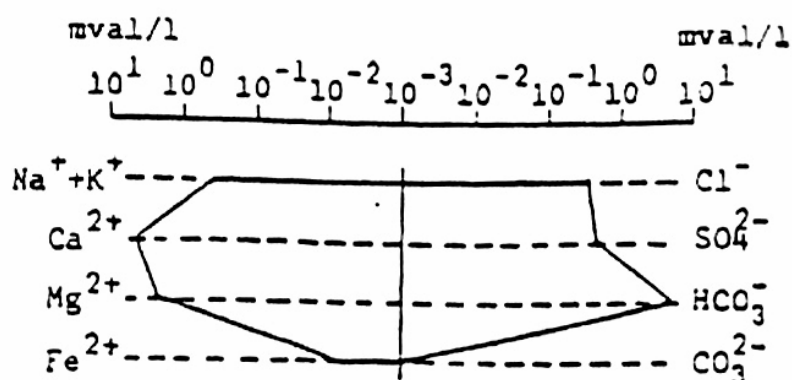


Σχ. 31. Χαρακτηριστικά **ραβδοδιαγράμματα** των δύο συστημάτων, όπως προκύπτουν από τις χημικές αναλύσεις περιόδου 2003 - 2004

Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες εύκολα διαπιστώνουμε την επικράτηση δύο κυρίως ιόντων στις χημικές αναλύσεις που διεξήχθησαν (του Ca και του HCO₃).

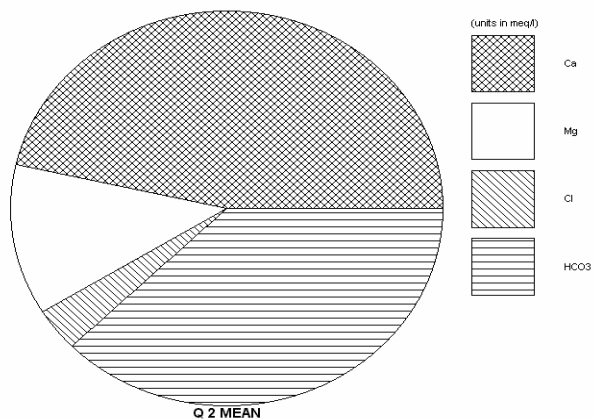
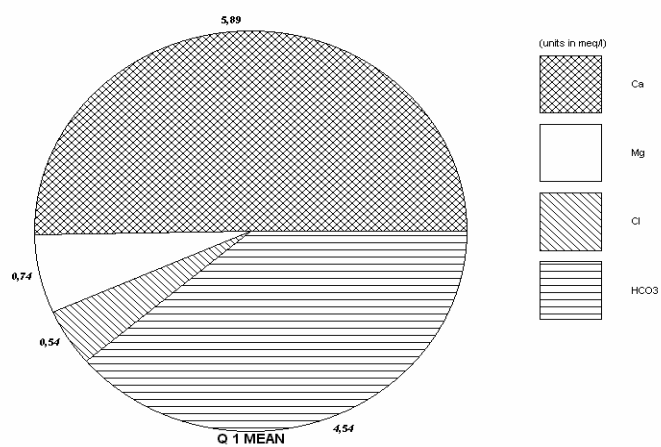
δεδομένου ότι ο κύριος γεωλογικός σχηματισμός που διαρρέουν είναι το περίφημο λατυποκροκαλοπαγές του Μενοικίου, το οποίο συνίσταται με την σειρά του από ασβεστολιθική συγκολλητική ύλη.

2) Τα **πολυγωνικά διαγράμματα**, στα οποία τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σε meq/l, παρουσιάζονται σε τέσσερις παράλληλους άξονες. Οι συγκεντρώσεις των κατιόντων σημειώνονται στα αριστερά ενός κατακόρυφου άξονα αφετηρίας και εκείνες των ανιόντων στα δεξιά του άξονα (βλ. Σχ. 32). Όταν ενωθούν τα διάφορα σημεία, σχηματίζουν ένα ανώμαλο πολυγωνικό σχήμα. Νερά της ίδιας ποιότητας παρουσιάζουν το ίδιο πολυγωνικό σχήμα.



Σχ. 32. Τυπικό **πολυγωνικό** διάγραμμα κατά STIFF για την απεικόνιση των αναλύσεων υπόγειου νερού (Καλλέργης Γ., 1986).

3) Τα **κυκλικά διαγράμματα**, στα οποία τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, σε meq/l, παρουσιάζονται σαν τομείς κύκλων. Η ακτίνα του κάθε κύκλου, πάντοτε σε σχέση με κάποια κλίμακα, είναι ανάλογη της ολικής συγκέντρωσης ιόντων της συγκεκριμένης ανάλυσης. Οι τομείς κάθε κύκλου δείχνουν το κλάσμα των διαφόρων ιόντων, εκφρασμένων σε meq/l. Συνήθως χρησιμοποιείται η ποσοστιαία αναλογία των διαφόρων ιόντων, έτσι τα τόξα του κύκλου είναι ανάλογα προς το % καθενός ιόντος και η ακτίνα προς την συνολική συγκέντρωση ιόντων (βλ. Σχ. 33). Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές κυκλικών διαγραμμάτων. Τα πιο απλά είναι τα κυκλικά διαγράμματα του HEM. Πιο παραστατικά είναι τα διαγράμματα UDLUFT, τα οποία είναι πολύ χρήσιμα ιδιαίτερα για την απεικόνιση θερμομεταλλικών νερών. Τέλος για την κατασκευή υδροχημικών χαρτών, κατάλληλα είναι τα έκκεντρα κυκλικά διαγράμματα του Carle (1954), στα οποία όμως παριστάνονται μόνο το σύνολο της συγκέντρωσης ιόντων και τα επικρατέστερα μόνο ιόντα π.χ. χλωριούχα και θειικά.

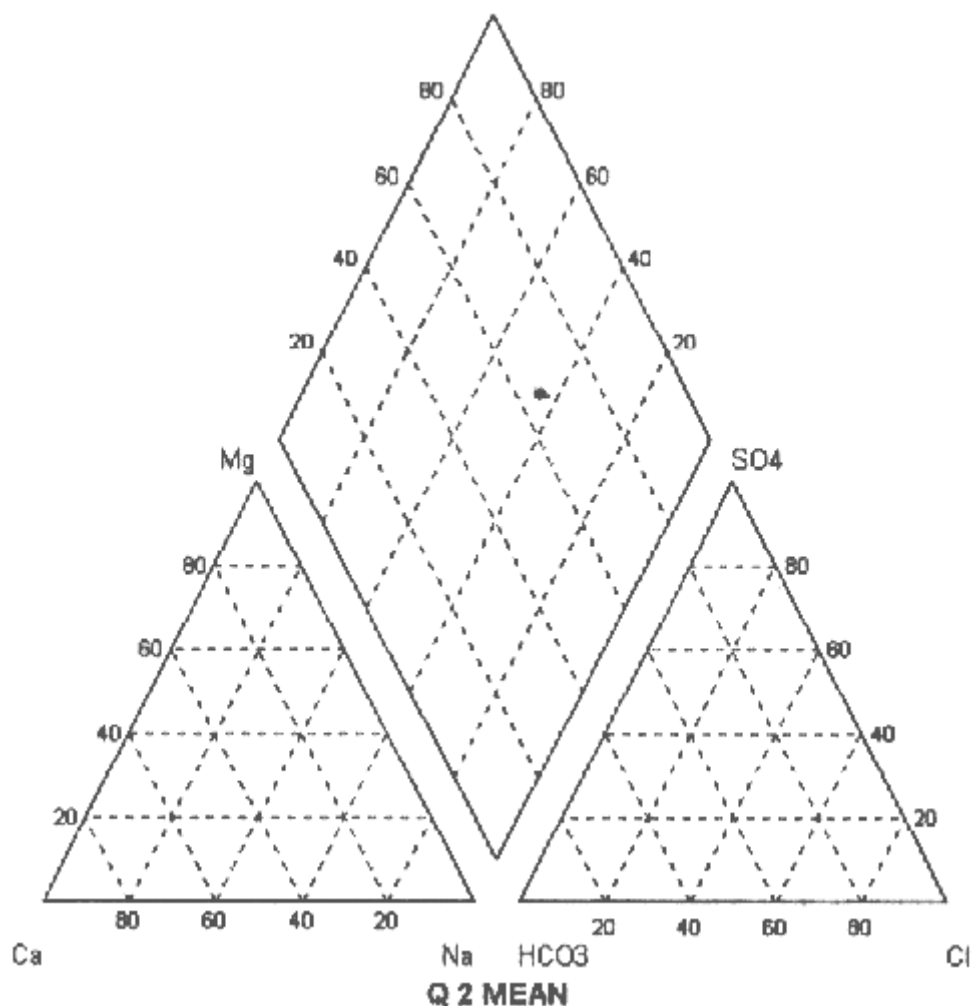


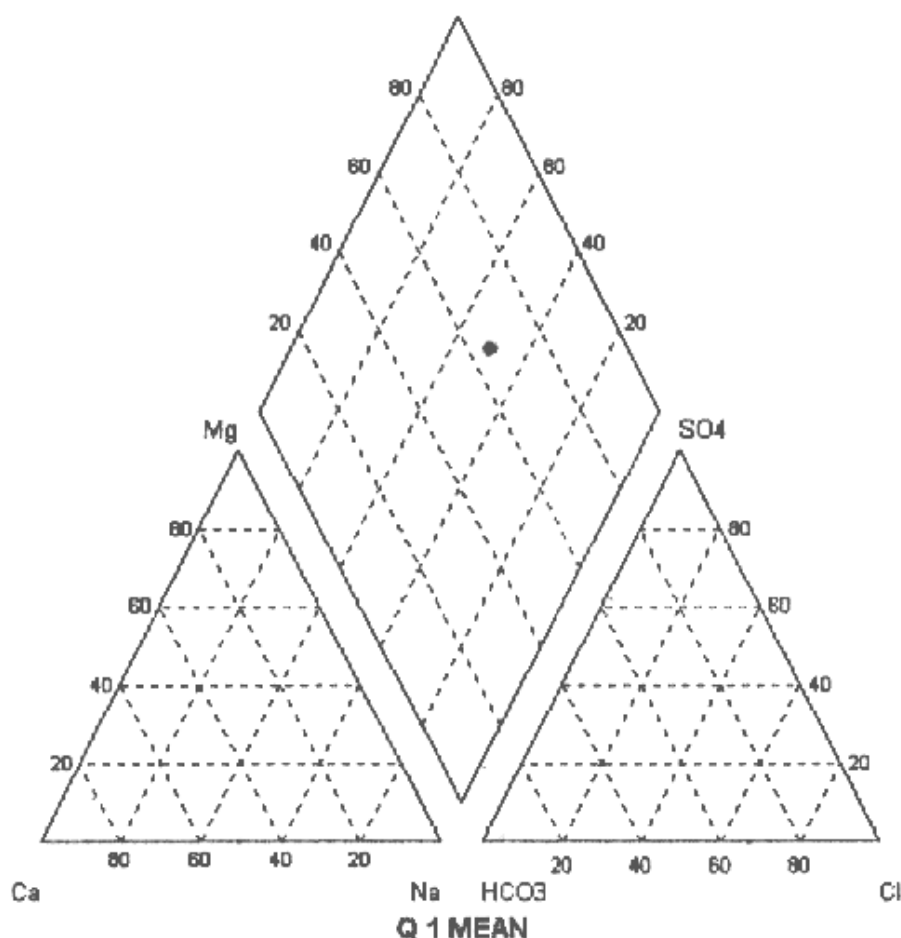
Σχ.33. Χαρακτηριστικά **κυκλικά** διαγράμματα για την απεικόνιση των χημικών αναλύσεων των δυο συστημάτων για την περίοδο 2003 – 2004.

Σύμφωνα και με το **σχήμα 33**, διαπιστώνεται ξεκάθαρα για μια ακόμη φορά η επικράτηση των ιόντων Ca και HCO_3 στη χημική σύσταση των υδάτων των δύο συστημάτων, σε meq/l αυτή τη φορά όμως.

4) Τα **τριγραμμικά διαγράμματα**, τα οποία είναι τα πιο εύχρηστα, διότι η σύγκριση διαφόρων ποσοτήτων νερού είναι άμεση με αυτά. Στα διαγράμματα αυτά που προτάθηκαν από τον Piper (1944), τα κατιόντα εκφρασμένα επί τοις % του συνόλου των κατιόντων σε meq/l , προβάλλονται σαν ένα σημείο στο αριστερό τρίγωνο, ενώ τα ανιόντα, εκφρασμένα επί τοις % του συνόλου των ανιόντων, εμφανίζονται σαν ένα σημείο στο δεξιό τρίγωνο. Τα δύο αυτά σημεία προβάλλονται στη συνέχεια στο κεντρικό ρόμβο, παράλληλα προς τις δύο πάνω πλευρές του. Το σημείο αυτό παρουσιάζει την ολική ιοντική κατανομή και παριστάνεται με ένα κύκλο, του οποίου η ακτίνα, σε σχέση με κάποια κλίμακα, είναι ανάλογη προς το TDS (**βλ. Σχ. 34**).

Τα διαγράμματα αυτά, επίσης παρουσιάζουν το πλεονέκτημα, ότι είναι άμεση η αναγνώριση των ομοιοτήτων και των διαφορών που παρουσιάζουν διάφορα δείγματα νερού, καθώς και της ανάμειξης δύο διαφορετικών νερών.





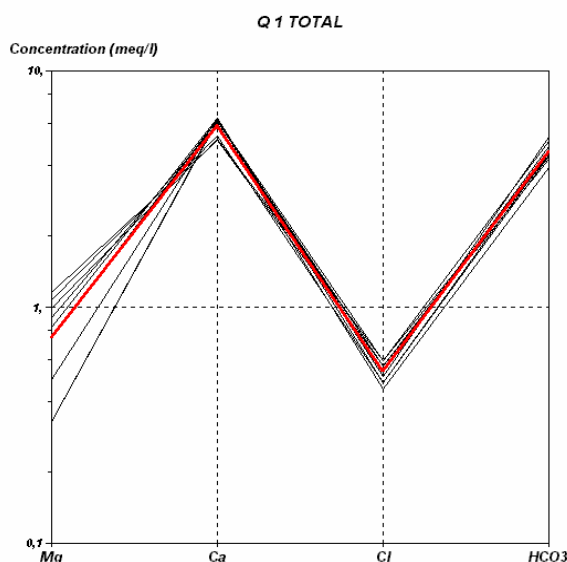
Σχ. 34. Χαρακτηριστικά **τριγραμμικά** διαγράμματα για την απεικόνιση των χημικών αναλύσεων των δύο συστημάτων.

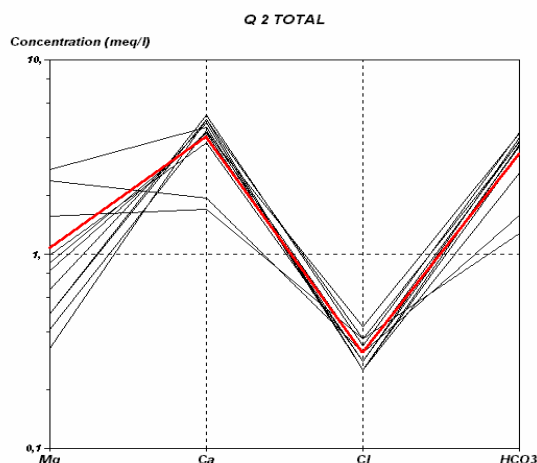
Προφανώς τα νερά και των δύο συστημάτων ανήκουν ποιοτικά στην ίδια κατηγορία νερού, αφού οι θέσεις τους σχεδόν συμπίπτουν στα παραπάνω διαγράμματα, γεγονός που φανερώνει ότι έχουν και τα δύο συστήματα κοινή πηγή τροφοδοσίας καθώς επίσης ότι διαρρέουν τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς. Η όποια απόκλιση σημειώνεται (μικρή σε βαθμό) θα πρέπει να αποδοθεί κύριως στο γεγονός ότι το σύστημα Q2 επηρεάζεται πιο γρήγορα και ίσως πιο έντονα από τις όποιες συνθήκες επιφανείας διαμορφώνονται κατά τακτά χρονικά διαστήματα.

5) Τα **ημιλογαριθμικά διαγράμματα**, τα οποία αναπτύχθηκαν από τους Schoeller και τη γαλλική γενικά σχολή (Waterlot), για σκοπούς σύγκρισης νερών διάφορης προέλευσης. Στα διαγράμματα αυτά, οι συγκεντρώσεις των κυριότερων ιόντων σε meq/l, σημειώνονται σε έξι (6) ισαπέχοντες λογαριθμικούς άξονες – κλίμακες με την εξής σειρά: Ca, Mg, Na, Cl, SO₄, HCO₃⁻. Τα σημεία αυτά στην συνέχεια ενώνονται με τα ευθύγραμμα τμήματα. Τα διαγράμματα δείχνουν, εκτός από την απόλυτη τιμή καθενός ιόντος και τις διαφορές στη συγκέντρωση περισσότερων αναλύσεων νερών.

Χρησιμοποιούνται πολλοί τύποι κατακόρυφων διαγραμμάτων, από τα οποία αυτό το ημιλογαριθμικό διάγραμμα κατά SCHOELLER είναι το πιο διαδεδομένο. Η συγκέντρωση του ιόντος σε mval/l τοποθετείται πάνω σε κατακόρυφους άξονες με λογαριθμική διαίρεση και κατά σειρά Mg, Ca, Σ(Ca + Mg), Na, K, Σ(Na + K), Cl, HCO₃, SO₄. Οι αποστάσεις των αξόνων είναι ίσες. Τα ιόντα μιας ανάλυσης μεταφέρονται πάνω στο διάγραμμα και τα σημεία που παίρνουμε τα ενώνουμε μεταξύ τους με γραμμές (βλ. Σχ. 35). Η παράλληλη πορεία των γραμμών αυτών σημαίνει ίδιες σχέσεις ιόντων με διαφορετικές όμως συγκεντρώσεις.

Άλλοι συγγραφείς (HEM 1970) μετατοπίζουν τη λογαριθμική κλίμακα των μεμονωμένων ιόντων από τη βάση, ώστε οι διάφορες συγκεντρώσεις των ιόντων που δίνονται στους κατακόρυφους εσωτερικούς άξονες σε mg/l, να αντιστοιχούν στα εκάστοτε mval/l για κάθε ιόν στην κλίμακα που βρίσκεται στα άκρα του διαγράμματος (βλ. Σχ. 36).



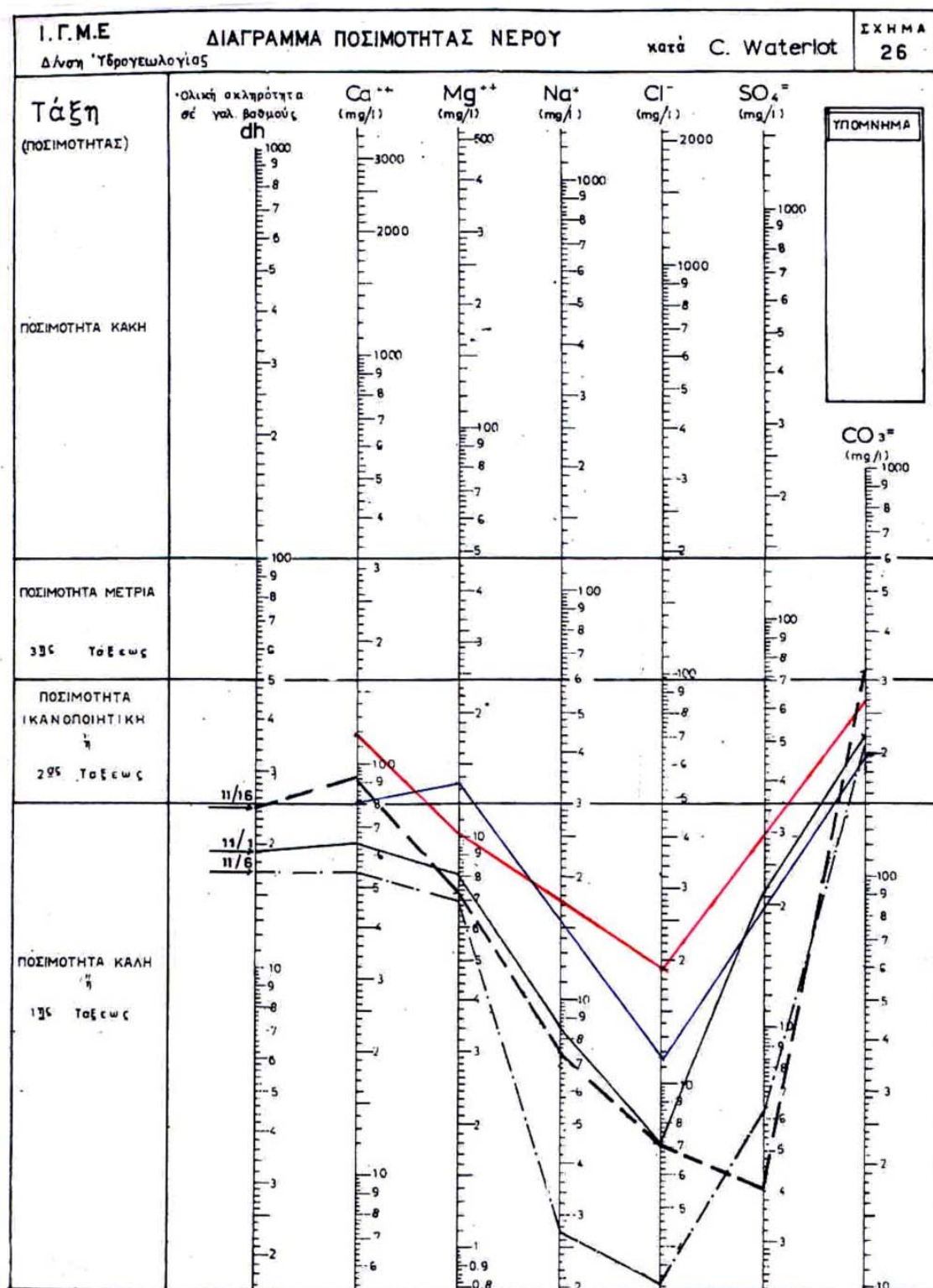


Σχ. 35. Χαρακτηριστικά διαγράμματα SCHOELLER για την απεικόνιση των χημικών αναλύσεων των δύο συστημάτων για την περίοδο 2003 – 2004.

Τόσο από τα **ραβδοδιαγράμματα** όσο και από τα αντίστοιχα τύπου **SCHOELLER** είναι εμφανής η διαπίστωση ότι το σύστημα **Q2** είναι πιο επιρρεπές στις συνθήκες επιφανείας και ανταποκρίνεται πιο άμεσα στις διακυμάνσεις αυτών, δεδομένου βέβαια ότι είναι και το πιο επιφανειακό από τα δύο συστήματα. Παρατηρούμε ιδιαίτερα στην περίπτωση του **Q1** ότι ο μέσος όρος των χημικών αναλύσεων του (κόκκινη γραμμή) σχεδόν ταυτίζεται πλήρως με τις υπόλοιπες γραμμές αναλύσεων με ελάχιστη απόκλιση!

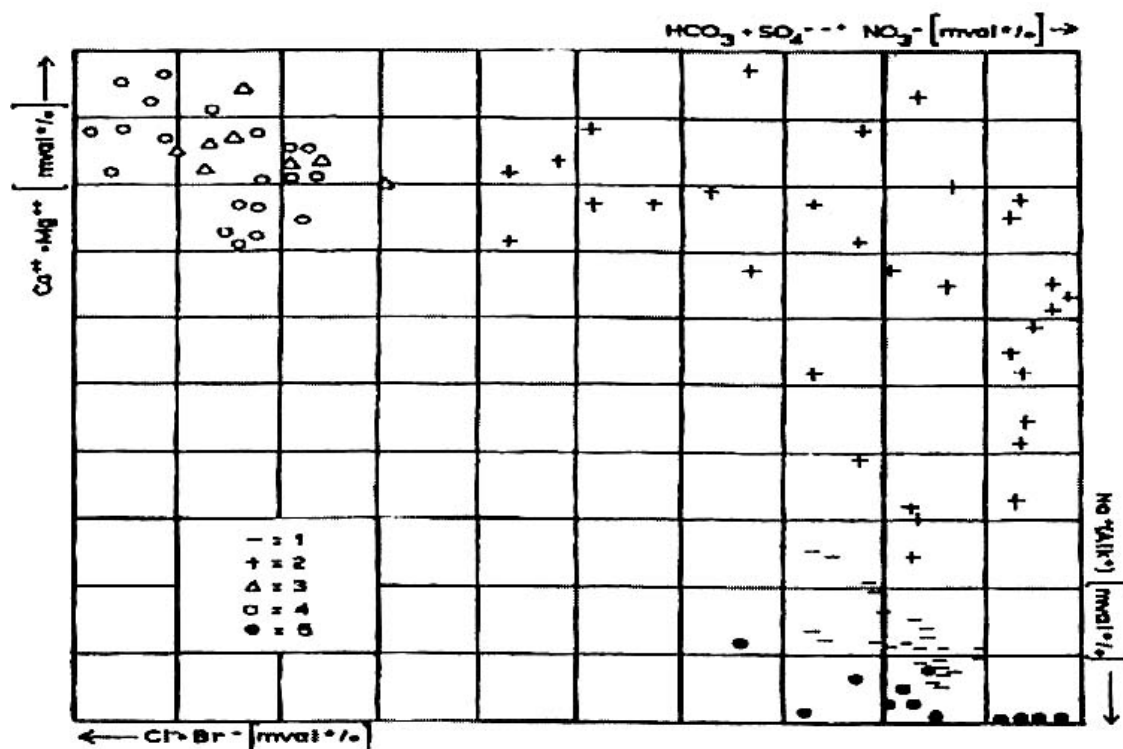
Στην συνέχεια παραθέτουμε διάγραμμα ποσιμότητας νερού κατά Waterlot και για τα δύο συστήματα, στο οποίο ξεκάθαρα διαπιστώνεται ότι και τα δύο ανήκουν στις κατηγορίες καλή (Q2) και ικανοποιητική (Q1), με το πρώτο σύστημα να εμφανίζει καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η αιτία προφανώς για το γεγονός αυτό έγκειται ασφαλώς σε όσα ήδη έχουμε αναφέρει έως τώρα για τον τρόπο και τις συνθήκες (φυσικογεωγραφικές και μη) λειτουργίας των δύο συστημάτων καθώς και σε όσα επρόκειτο να λεχθούν σε παρακάτω σημεία.

Η παραπάνω διαπίστωση βέβαια δεν σημαίνει ότι τα νερά δεν είναι ανάγκη να τυχουν της όποιας προεπεξεργασίας βελτίωσης των ποιοτικών τους παραμέτρων πριν καταναλωθούν για πόση, το αντίθετο μάλιστα. Το γεγονός όμως αυτό συνεπάγεται συνεχή παρακολούθηση και δειγματοληψία των δύο συστημάτων που θα συνοδεύονται επίσης και από αποτελέσματα πληρέστερων χημικών αναλύσεων.



Σχ. 36. Τυπικό ημιλογαριθμικό διάγραμμα ποσιμότητας νερού κατά Waterlot (Καλλέργης Γ., 1986) για την περιοχή μελέτης.

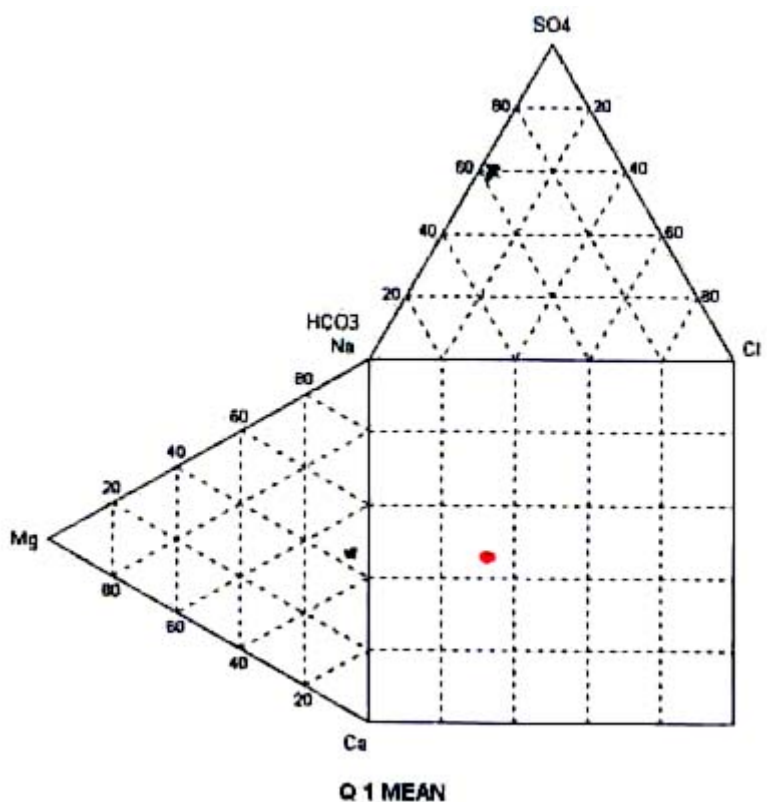
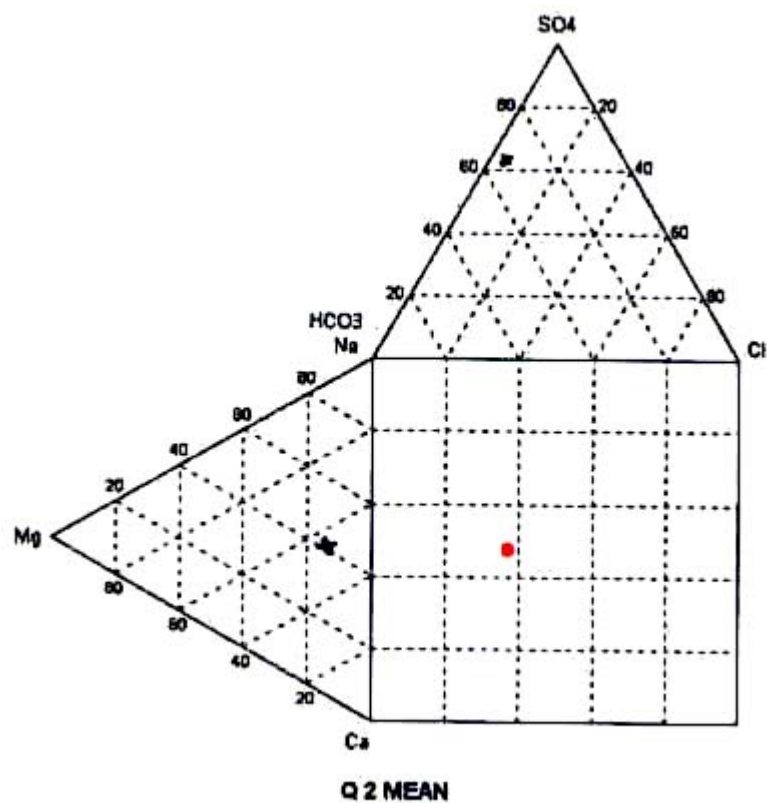
6) Τα **τετραγωνικά διαγράμματα**, τα οποία χρησιμοποιούνται σπανιότερα από τα άλλα διαγράμματα για την σύγκριση νερών διαφορετικής προέλευσης. Οι χημικές αναλύσεις εκφράζονται σε % meq (βλ. Σχ. 37).



Σχ. 37. Τυπικό τετραγωνικό διάγραμμα για την σύγκριση του χημισμού νερών διαφορετικής προέλευσης (Καλλέργης Γ., 1986).

7) Το **διάγραμμα Durov**, το οποίο αναπτύχθηκε από τη Σοβιετική Σχολή όπου εδώ προβάλλονται σε χωριστά τρίγωνα τα ανιόντα και κατιόντα σε meq %, όπως και στο διάγραμμα Piper. Στη συνέχεια η προέκταση των καθέτων στις βάσεις των ισοπλεύρων τριγώνων, που ξεκινούν από τα σημεία, που παριστάνουν την % περιεκτικότητα σε meq του νερού σε ανιόντα και κατιόντα, τέμνονται σε ένα σημείο, που παριστάνει την κύρια ιοντική συγκέντρωση % στο νερό. Από το σημείο αυτό της τομής, τα προηγούμενα ευθύγραμμα τμήματα προεκτείνονται στα δύο ορθογώνια, παριστάνοντας έτσι άλλες δύο χημικές παραμέτρους (π.χ. TDS σε meq/l και pH ή ειδική αγωγιμότητα και σκληρότητα ή διαλυμένος οργανικός άνθρακας και TDS).

Στο διάγραμμα κατά DUROV και κατά PIPER (βλ. Σχ. 38 & 37) επιταχύνεται η παράσταση των δεδομένων μιας ανάλυσης, τόσο των κατιόντων, όσο και των ανιόντων, με την τοποθέτηση ενός μόνο σημείου που προκύπτει από τις καρτεσιανές συντεταγμένες του σημείου των κατιόντων που λαμβάνονται από δύο τριγωνικά διαγράμματα. Συνήθως χρησιμοποιούνται ισόπλευρα τρίγωνα, σε κάθε πλευρά των οποίων τοποθετείται ένα ιόν ή μια ομάδα ιόντων.



Σχ. 38. Διαγράμματα **DUROV** για την απεικόνιση των χημικών αναλύσεων νερών, των δύο συστημάτων για την περίοδο 2003 –2004.

Προφανώς τα νερά και των δύο συστημάτων απεικονίζονται στην ίδια περίπου θέση μέσα στα διαγράμματα DUROV, δεδομένου ότι έχουν κοινή προέλευση και διαρρέουν τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς. Επομένως η σύστασή τους είναι σχεδόν ταυτόσημη.

8) Το **διάγραμμα BRODSKY** (1953), προτείνει την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων σε **ΠΙΝΑΚΑ** της μορφής του **Σχ. 39**, όπου η συγκέντρωση των διαφόρων ιόντων σημειώνεται, ανάλογα με το μέγεθος της, με κατάλληλο σύμβολο (τρίγωνο, κύκλος, τετράγωνο, ρόμβος κ.λπ.). Ο Πίνακας Brodsky, προσφέρεται για την απεικόνιση του χημισμού διαφορετικών υδροφόρων.

		HCO ₃		SO ₄		Cl	
		Cl	SO ₄	HCO ₃	Cl	SO ₄	HCO ₃
Ca	Mg	O					O
	Na						
Na	Ca						
	Mg						
Mg	Ca	O					O
	Na						

Σχ. 39. Διάγραμμα ταξινόμησης του χημισμού των υπόγειων νερών κατά **Brodsky** (Καλλέργης Γ., 1986).

O Ξηρό υπόλειμμα <1 gr/l

* Ξηρό υπόλειμμα 1 - 5 gr/l

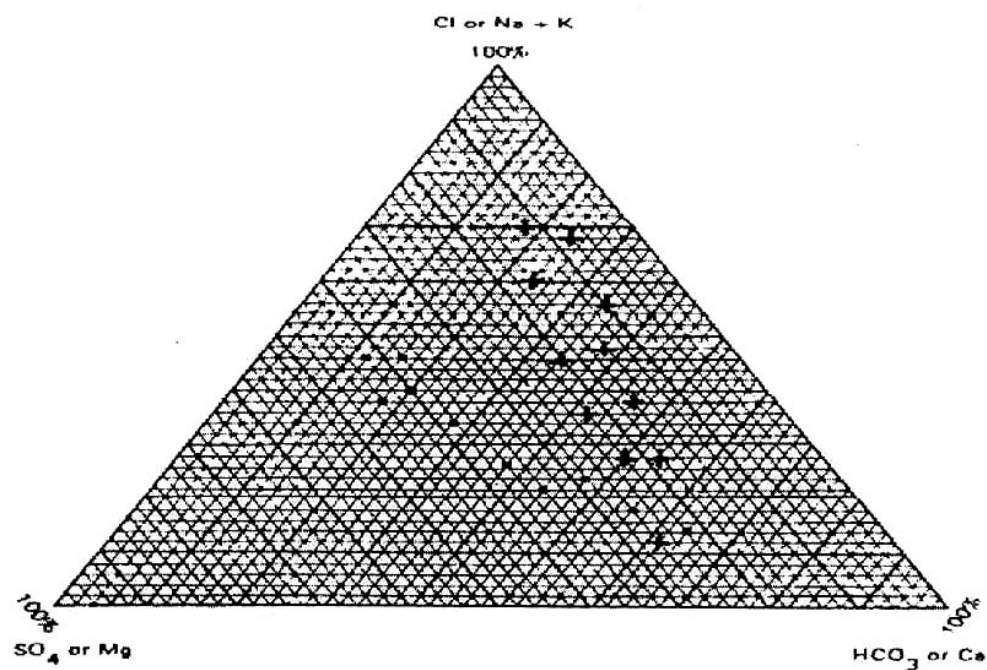
□ Ξηρό υπόλειμμα 5 - 30 gr/l

◇ Ξηρό υπόλειμμα > 30 gr/l

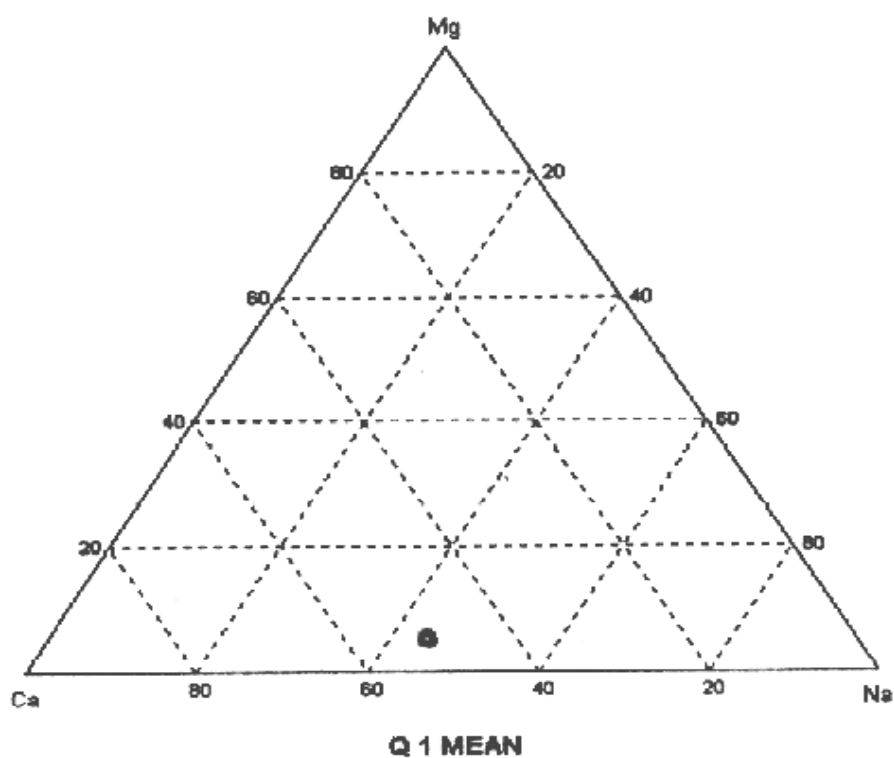
Όσον αφορά την υπό μελέτη περιοχή, προκύπτει το παραπάνω διάγραμμα BRODSKY όπου η εικόνα που προκύπτει είναι όμοια και για τα δύο συστήματα, αφού πρόκειται για νερά που σε γενικές γραμμές είναι του ίδιου χημισμού.

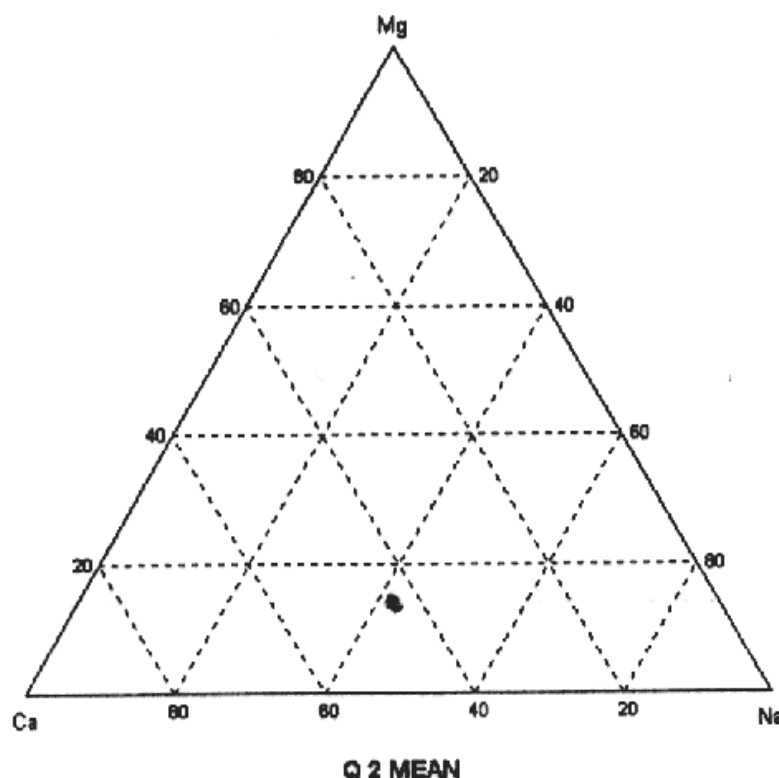
9) Το **τριγωνικό διάγραμμα** είναι μια απλουστευμένη μορφή του τριγραμμικού διαγράμματος του Piper και αποτελείται από ένα τρίγωνο, στο οποίο προβάλλονται τόσο τα ανιόντα όσο και τα κατιόντα, αλλά με διαφορετικό σύμβολο το καθένα (**Σχ. 40**). Το τριγωνικό διάγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση μεμονομένων δειγμάτων νερού.

Στα τριγωνικά διαγράμματα παριστάνονται οι συγκεντρώσεις των ιόντων σε mval% και σπάνια σε mg% του αθροίσματος των κατιόντων ή των ανιόντων, όπου υπάρχει η δυνατότητα αυτά, με διάφορους συμβολισμούς, να τα ενώσουμε σε ένα τρίγωνο ή σε δύο διαφορετικά τρίγωνα (**βλ. Σχ. 41**). Με ένα συνδυασμό ενός παραλληλογράμμου ή ενός τριγώνου τα δεδομένα της ανάλυσης ενός δείγματος παριστάνονται με ένα μόνο σημείο.



Σχ. 40. Τυπικό **τριγωνικό** διάγραμμα για απεικόνιση χημικών αναλύσεων υπόγειου νερού (Καλλέργης Γ., 1986).



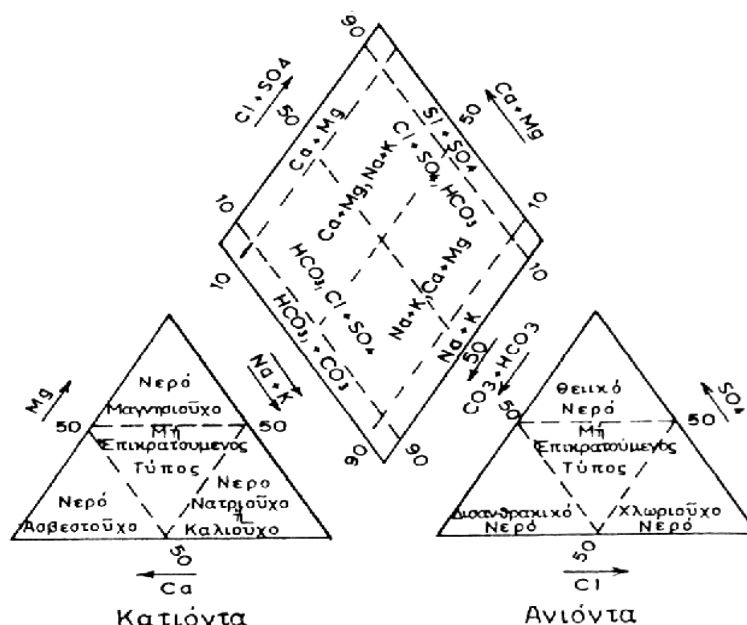


Σχ. 41. Τριγωνικά διαγράμματα σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δύο συστημάτων για την περίοδο 2003 - 2004

Προφανώς τα νερά και των δύο συστημάτων απεικονίζονται στην ίδια περίπου θέση μέσα στα τριγωνικά διαγράμματα, δεδομένου ότι έχουν κοινή προέλευση και διαρρέουν τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς. Επομένως η σύστασή τους είναι σχεδόν ταυτόσημη.

10) Στην περίπτωση των **διαγραμμάτων υδροχημικών φάσεων** γίνεται λόγος για συγκεκριμένες διακριτές ζώνες, όπου οι συγκεντρώσεις τους σε ανιόντα και κατιόντα, μπορούν να περιγραφούν μέσα στα πλαίσια καλά καθορισμένων κατηγοριών νερού (Composition category). Η έννοια της κατηγορίας νερού βασίζεται στις υποδιαιρέσεις του τριγραμμικού διαγράμματος (**Σχ. 42**) που πρότειναν οι Back – Hanshaw (1965). Οι υποδιαιρέσεις αυτές φαίνονται στο διάγραμμα του παραπάνω σχήματος.

Ο Back (1966), με βάση τα πιο πάνω, πρότεινε την ταξινόμηση των υδροχημικών φάσεων, όπως δείχνει ο **Πίνακας 25**.



Σχ. 42. Διάγραμμα ταξινόμησης νερών με βάση τα επικρατούντα ανιόντα και κατιόντα % (Καλλέργης Γ., 1986).

ΠΙΝΑΚΑΣ 25

Ταξινόμηση υδροχημικών φάσεων (Back, 1967)

	Ca + Mg	Na + K	HCO ₃ +
% meq/l			

Πίν. 26Α. Αποτελέσματα τιμών % του συνόλου ανιόντων και κατιόντων των επιμέρους αθροισμάτων σε meq/l.

Φάσεις κατιόντων:

Ασβεστομαγνησιούχα	90-100	0-10
Ασβεστονατριούχα	50-90	10-50
Νατριοασβεστούχα	10-50	50-90
Νατριοκαλιούχα	0-10	90-100

Φάσεις ανιόντων:

Δισανθρακική	90-100	0-10
Οξυανθρακική-χλωριοθειική	50-90	10-50
Χλωριοθειική-οξυανθρακική	10-50	50-90
Χλωριοθειική	0-10	90-100

QANAT 1	HCO ₃ + Cl	Ca + Mg	HCO ₃ + Cl %	Ca + Mg %
Δ	5,03	7,19	41,17	58,83
Ι	5,63	6,23	47,47	52,53
Φ	4,98	6,33	44,02	55,98
Μ	4,86	6,41	43,09	56,91
Α	4,83	6,71	41,87	58,13
Μ	4,35	6,95	38,50	61,50
Ι	5,75	6,53	46,82	53,18
Ι	5,12	7,03	42,15	57,85
Α	4,95	6,95	41,59	58,41
Σ	5,33	6,71	44,26	55,74
Ο	5,12	6,49	44,08	55,92

QANAT 2	HCO ₃ +Cl	Ca + Mg	HCO ₃ +Cl%	Ca + Mg %
Δ	2,90	7,28	28,45	71,55
I	1,66	3,32	33,34	66,66
Φ	4,15	4,85	46,12	53,88
M	1,92	4,37	30,54	69,46
A	3,89	4,80	44,79	55,21
M	4,61	5,09	47,49	52,51
I	4,14	5,51	42,90	57,10
I	3,93	5,43	41,96	58,04
A	4,59	5,69	44,66	55,34
Σ	4,28	5,20	45,18	54,82
O	3,62	5,33	40,46	59,54

Πίν. 26B. Αποτελέσματα τιμών % του συνόλου ανιόντων και κατιόντων των επιμέρους αθροισμάτων σε meq/l.

Σύμφωνα με τους Πίνακες 25 & 26 μπορούμε να πούμε όσον αφορά τις φάσεις κατιόντων ότι τα νερά και των δύο συστημάτων θεωρούνται **ασβεστονατριούχα**, ενώ σε σχέση με τις φάσεις των ανιόντων μπορούν να θεωρηθούν **οξυανθρακικά**.

Με βάση τις υδροχημικές φάσεις, ο Chebotarev (1955) διέκρινε τρεις κατακόρυφες υδροχημικές ζώνες:

- Την ανώτατη υδροχημική ζώνη (έντονη κυκλοφορία νερού σε πετρώματα, που η απόπλυσή τους είναι εύκολη), όπου το νερό είναι οξυανθρακικό και χαμηλής μεταλλικότητας (χαμηλό TDS).
- Την ενδιάμεση υδροχημική ζώνη (λιγότερο έντονη κυκλοφορία νερού), όπου το νερό είναι θειϊκό και η μεταλλικότητά του υψηλότερη.
- Την κατώτερη υδροχημική ζώνη, όπου το νερό είναι σχεδόν στάσιμο, τα πετρώματα πρακτικά δεν αποπλένονται, η μεταλλικότητα του νερού είναι μεγάλη και η υδροχημική του φάση χλωριούχα.

Σύμφωνα με τα όσα έχουμε αναφέρει έως τώρα με την βοήθεια όλων των παραπάνω διαγραμμάτων, μπορούμε με κάποια μικρή επιφύλαξη να πούμε ότι κατά βάση και τα δύο συστήματα της περιοχής μελέτης ανήκουν στην ανώτερη υδροχημική ζώνη με το σύστημα Q1 να εμφανίζει ενίοτε (την ξηρή περίοδο κυρίως) χαρακτηριστικά που συγκαταλέγονται στην ενδιάμεση υδροχημική ζώνη, υποβαθμίζοντας αρκετά την ποιότητά του ιδιαίτερα όταν πρόκειται να καταναλωθεί για πόση.

Σύμφωνα με τους Chebotarev (1955), Schoeller (1959), Back – Hanshaw (1965), Domenico (1972) και Freeze – Cherry (1972):

- Η συνολική μεταλλικότητα του υπόγειου νερού αυξάνει με το μήκος της διαδρομής και το χρόνο παραμονής του νερού στο υδροφόρο σύστημα. Ισχύει ιδιαίτερα για το Q1, δεδομένου ότι είναι και το βαθύτερο σύστημα από τα δύο που μελετώνται.
- Σε δοσμένο σύστημα, το νερό της περιοχής με το σημαντικότερο εμπλουτισμό, είναι φτωχότερο, σε TDS από το νερό της περιοχής με χαμηλότερο εμπλουτισμό. Το pH του νερού των πρώτων περιοχών είναι συγκρίσιμο με το pH του νερού της βροχής. Ισχύει ασφαλώς το συγκεκριμένο γεγονός για το σύστημα Q1, το οποίο χαρακτηρίζεται από άμεσο εμπλουτισμό άρα η όποια σύστασή του θα βρίσκεται πιο κοντά σε αυτή του μετεωρικού νερού.

- Συχνά ο λόγος $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ ελαττώνεται κατά τη διεύθυνση της ροής του υπόγειου νερού. Δεν διαθέτουμε επαρκή δεδομένα για το στοιχείο αυτό, όσον αφορά την περιοχή μελέτης. Επειδή όμως τα δύο συστήματα είναι γενικά κοντά ή μέσα σε ζώνες εμπλουτισμού των υδροφόρων καθώς επίσης τοποθετούνται υψομετρικά κυρίως πάνω από καλλιεργούμενες εκτάσεις, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι δεν επιβαρύνονται σημαντικά από την χρήση λιπασμάτων και γενικότερα ρυπαντών που προέρχονται από καλλιέργεια εδαφών. Αναμένουμε λοιπόν, οι τιμές του παραπάνω λόγου να μην είναι μεγάλες και να κινούνται σε επιτρεπτά πλαίσια.
- Στις περιοχές εμπλουτισμού, που αποτελούνται από σύναγμα ή καρστικούς ασβεστόλιθους, το νερό περιέχει διαλυμένο οξυγόνο πάνω από 0,1mg/l. Το αντίθετο συμβαίνει, όταν οι περιοχές εμπλουτισμού αποτελούνται από αργιλικά ή πηλούχα υλικά, οπότε το νερό είναι φτωχό σε διαλυμένο οξυγόνο.
- Στις περιοχές που δεν υπάρχει κάλυμμα πάνω στα ρωγματοωμένα πετρώματα, το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται σε επίπεδα ανίχνευσης, σε όλο σχεδόν το σύστημα ροής. Σύμφωνα με τις δύο τελευταίες παρατηρήσεις, μπορούμε να πούμε ότι και στα δύο συστήματα (και ιδιαίτερα στο Q2) αναμένουμε σημαντικές τιμές διαλυμένου οξυγόνου, γεγονός που δικαιολογεί την παρουσία της διαλυτικής (διαβρωτικής) δράσης του νερού καθώς αυτό διαρρέει τους γεωλογικούς σχηματισμούς έτσι ώστε να εμπλουτίζεται στα συστατικά που έχουμε μετρήσει. Φυσικά οι δύο αυτές συνθήκες διαφοροποιούνται ισχυρά (συμβαίνει μέχρι και αναστροφή τους πέρα από ένα σημείο) μέσα στους σωλήνες των δύο συστημάτων, με τελική συνέπεια, μετά την πάροδο όχι απαραίτητα μεγάλου χρονικού διαστήματος, να σημειώνονται φαινόμενα απόθεσης συγκεκριμένων ιζημάτων. Το τελευταίο φαινόμενο θα λέγαμε ότι χρήζει ιδιαίτερης προσοχής και άμεσης πρόληψης για κάθε τέτοιο σύστημα.

Μετά από την ταξινόμηση του νερού σε υδροχημικές φάσεις, συνίσταται η απεικόνισή τους στο χώρο με χάρτες, τομές ή ισομετρικά διαγράμματα, με τον ίδιο τρόπο που παριστάνονται οι λιθολογικές ή στρωματογραφικές φάσεις.

Ε. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ.

Ε.1. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Προκειμένου να παρθούν υδρογεωλογικές πληροφορίες από τις χημικές αναλύσεις των υπόγειων νερών, είναι απαραίτητο να σχηματοποιηθεί η πορεία που ακολούθησε η γεωχημική εξέλιξή τους, δηλαδή η διαδοχή των διαδικασιών, με τις οποίες το νερό απέκτησε τη χημική του σύσταση. Επειδή όμως κάθε χημική ανάλυση μπορεί να ερμηνευτεί με διαφορετικές γεωχημικές διαδικασίες, θα πρέπει κατά περίπτωση να επιλέγεται εκείνη, που ανταποκρίνεται περισσότερο στην υδρογεωλογική αλήθεια.

Δεν πρέπει δηλαδή να επιχειρείται υδροχημική ερμηνεία, χωρίς την αναφορά σε γεωυδρολογικές συλλογιστικές. Θα πρέπει να μην λησμονείται επίσης, ότι η επικρατούσα γεωχημική διεργασία, που καθορίζει το χημισμό του υπόγειου νερού, είναι η διάλυση από το τελευταίο, ορυκτολογικών συστατικών πετρωμάτων, μέσα από τα οποία κινείται.

Για την ερμηνεία των χημικών αναλύσεων οι Mandel – Shiftan (1981) προτείνουν την εξής διαδικασία:

1. Παραγνωρίζοντας τη χαμηλή μεταλλικότητα του βρόχινου νερού, θεωρούμε ότι τα κύρια συστατικά του υπόγειου νερού προέρχονται από τη διάλυση ορυκτών και εκτιμούμε, με βάση την πιο πάνω παραδοχή, την αναμενόμενη χημική του σύσταση.
 - Έχουμε τονίσει ήδη ότι για την περιοχή μελέτης η συμμετοχή του βρόχινου νερού αλλά και του νερού που προέρχεται από το λιώσιμο του χιονιού είναι σημαντική στη διαμόρφωση της χημικής σύστασης των υδάτων των συγκεκριμένων συστημάτων.
2. Αναγνωρίζουμε τις πιο σημαντικές αποκλίσεις, ανάμεσα στη πρόβλεψη (1) και στις χημικές αναλύσεις του νερού.
 - Ειδικότερα δεν αναμένουμε πολύ σημαντικές αποκλίσεις από τη χημική σύσταση γενικότερα των κατακρημνισμάτων και μάλιστα στα κύρια συστατικά των υδάτων στα μελετούμενα συστήματα, δεδομένου ότι βρίσκονται σε μικρά βάθη (ζώνη διηθήσεως των υδάτων).
3. Αναγνωρίζουμε τις πιο σημαντικές αλλαγές της χημικής σύστασης του νερού, σε σχέση με το μήκος διαδρομής, το βάθος και το χρόνο.
 - Ειδικότερα οι όποιες αποκλίσεις - διαφοροποιήσεις που σημειώνονται οφείλονται στην επαφή των νερών πρώτα με τα κροκαλοπαγή και κατά δεύτερον με την μάργα (όπου στην επαφή με την τελευταία λαμβάνουν χώρα σε μικρή έκταση φαινόμενα ιοντοανταλλαγής).
4. Διατυπώνουμε υποθετικές ερμηνείες για τις παρατηρούμενες αποκλίσεις και αλλαγές (2 και 3).
5. Αναζητούμε υδρογεωλογικές μαρτυρίες (γεωυδρολογικές συλλογιστικές), που να εξηγούν τις πιο πάνω υποθέσεις (4). Εάν πιθανολογείται ανάμειξη των νερών, τότε, κάπου στη περιοχή έρευνας, δύο διακρινόμενα 'ακραία' μέλη (νερά) πρέπει να έρχονται μεταξύ τους σε υδρογεωλογική επαφή. Εάν πιθανολογείται ιοντική ανταλλαγή, θα πρέπει να αποδειχτεί η επαφή με τα ορυκτά της ανταλλαγής.
 - Ειδικότερα στην περιοχή μελέτης δεν σημειώνεται καθόλου ανάμειξη νερών σε κανένα από τα δύο συστήματα. Παρατηρούνται όμως φαινόμενα ιοντοανταλλαγής, σε μικρή σχετικά όμως έκταση που ασφαλώς δεν αλλοιώνουν σημαντικά τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων.
6. Εισάγουμε στη συνέχεια τις διορθώσεις από την καθίζηση (ίζημα) του ασβεστίτη ή/και της γύψου, όταν οι συγκεντρώσεις αυτών είναι αρκετά υψηλές.
 - Συγκεκριμένα για την περιοχή μελέτης, οι συγκεντρώσεις των ιόντων και μάλιστα των HCO_3 είναι τέτοιες ($> \text{από } 60\text{mg/l}$) που δεν επιτρέπουν την καθίζηση ασβεστίτη ή άλλων υλικών, αναφερόμενοι πάντα κατά μήκος της επιφάνειας επαφής των δυο συγκεκριμένων γεωλογικών σχηματισμών. Επομένως κατά μήκος της παραπάνω επιφάνειας πραγματοποιείται ουσιαστικά διάλυση (ή ακόμα και ανταλλαγή ιόντων) υλικού. Επιπλέον κατά μήκος της επιφάνειας δεν σημειώνεται και σημαντική διαφυγή αερίων (άρα και CO_2) για να έχουμε εκ νέου απόθεση ασβεστίτη κατά κύριο λόγο.

7. Ερμηνεύουμε την παρουσία και τις συγκεντρώσεις των δευτερευόντων συστατικών όπως των NO_3 , H_2S , F , Si και βασίζουμε τις ερμηνείες σε υδρογεωλογικές συλλογιστικές.
- Ειδικότερα για την περιοχή μελέτης θυμίζουμε πως δεν έχουν πραγματοποιηθεί **πλήρεις** χημικές αναλύσεις παρά μόνο μερικές, οπότε λοιπόν δεν έχουμε στην διάθεσή μας ούτε όλα τα κύρια συστατικά αλλά ούτε και τα δευτερεύοντα για να προχωρήσουμε σε πλήρεις ερμηνείες ή σε πιο σύνθετες υδρογεωλογικές συλλογιστικές.

E.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΙΟΝΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

Μια ταξινόμηση του νερού με βάση **υδροχημικά** χαρακτηριστικά γίνεται κατά διάφορους τρόπους, αλλά πάντα όχι πλήρως παραστατικά. Η πιο απλή και συνηθισμένη περίπτωση είναι η διάκριση του νερού σε 'γλυκό' και 'αλμυρό' νερό. Η διάκριση αυτή προκύπτει με βάση την περιεκτικότητα του νερού σε Cl . Σαν όριο για τον διαχωρισμό αυτό τοποθετείται συνήθως η τιμή των 250mg Cl/l . Αυτό το όριο συνήθως είναι αυθαίρετο, εκλέγεται όμως γιατί τα νερά που παρουσιάζουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα από την παραπάνω, αρχίζουν να αποκτούν μια αλμυρή γεύση. Βασικά στα υπόγεια νερά υπάρχουν όλες οι μεταβάσεις της συγκέντρωσης του Cl από $5\text{-}10\text{mg Cl/l}$ μέχρι ακόμα και πολλαπλάσια συγκέντρωση Cl από εκείνη που υπάρχει στο νερό της θάλασσας (περίπου 2.000mg Cl/l).

Όπως φαίνεται και στους Πίνακες 18Α & 18Β, για την περιοχή μελέτης, οι τιμές του Cl κατά μέσο όρο για τα Q1 & Q2 είναι 19,25 και 11,74 mg/l αντίστοιχα

Ως 'αλμυρό' χαρακτηρίζεται το νερό εκείνο στο οποίο η συνολική περιεκτικότητα σε μαγειρικό άλας είναι ίση ή μεγαλύτερη από 14.000 mg Cl/Kg . Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί σε μια τιμή από $240\text{mval Cl ή Na/Kg}$.

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών σε διάφορους τύπους γίνεται είτε ανάλογα με την προέλευσή τους, είτε ανάλογα με το περιεχόμενό τους σε διαλυτά άλατα, είτε τέλος ανάλογα με τις δυνατότητες χρησιμοποίησής του.

Όσον αφορά την ταξινόμηση των νερών με βάση την συγκέντρωση των διαλυμένων συστατικών, οι **DAVIS & DE Wiest (1967)** δίνουν το παρακάτω διαχωρισμό:

Γλυκό νερό	0-1.000	mg/Kg
Υφάλμυρο νερό	1.000-10.000	mg/Kg
Αλμυρό νερό	10.000-100.000	mg/Kg
Υπεραλμυρό νερό	> 100.000	mg/Kg

Η διάκριση κατά ALEKIN (1962) με βάση τα υπερισχύοντα ανιόντα γίνεται σε τρεις τάξεις (βλ. Πίν. 27):

1. **Όξινα ανθρακικά – και ανθρακικά νερά ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3$)**
2. **Θειικά νερά (SO_4^{2-})**
3. **Χλωριούχα νερά (Cl^-).**

Χλωριούχα νερά	Na-Cl- νερά, Ca-Cl-νερά
Οξίνα ανθρακικά νερά	(παλιά ονομασία αλκαλικά νερά) Na-HCO ₃ ⁻ -νερά, Ca-HCO ₃ ⁻ -νερά, Mg-HCO ₃ ⁻ -νερά
Θειϊκά νερά	Na-SO ₄ -νερά, Mg-SO ₄ -νερά, Ca-SO ₄ -νερά (νερό γύψου)

Πίν. 27. Συνηθέστεροι τύποι μεταλλικών και θερμών νερών (Δημόπουλος Γ., 1996).

Κάθε τάξη ανάλογα με το κατιόν που υπερिशύει διακρίνεται παραπέρα σε τρεις ομάδες. Την ομάδα Ca, Mg και Na. Κάθε ομάδα ακολούθως διαχωρίζεται παραπέρα ανάλογα με τις σχέσεις των ιόντων (σε meq/l) σε τρεις ή τέσσερις τύπους νερών:

ΤΥΠΟΣ Ι	$\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$
ΤΥΠΟΣ ΙΙ	$\text{HCO}_3^- < (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) < (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{-2})$
ΤΥΠΟΣ ΙΙΙ	$(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{-2}) < (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$ ή $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$
ΤΥΠΟΣ ΙV	$\text{HCO}_3^- = 0$

Ο μηχανισμός ανάμειξης ως γνωστόν γίνεται με την διάχυση (λόγω θερμικής κίνησης των μορίων και ιόντων) και την υδροδυναμική διασπορά (ροή μέσα από ένα δίκτυο συγκοινωνούντων αγωγών).

Q 2	HCO3(meq/l)	Cl(meq/l)	Ca(meq/l)	Mg(meq/l)
Δ	2,62	0,27	4,49	2,79
Ι	1,28	0,38	1,72	1,61
Φ	3,82	0,34	4,37	0,48
Μ	1,59	0,33	1,98	2,39
Α	3,59	0,30	3,75	1,04
Μ	4,18	0,43	4,27	0,82
Ι	3,77	0,37	4,95	0,56
Ι	3,66	0,27	4,75	0,68
Α	4,23	0,36	5,19	0,50
Σ	3,98	0,30	4,21	0,98
Ο	3,34	0,28	4,97	0,36

Πίν. 28Α. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων σε meq/l για την περίοδο 2003 – 2004.

Q 1	HCO ₃ (meq/l)	Cl(meq/l)	Ca(meq/l)	Mg(meq/l)
Δ	4,53	0,51	6,35	0,84
I	5,03	0,60	5,17	1,06
Φ	4,41	0,57	5,13	1,21
M	4,36	0,50	5,31	1,10
A	4,25	0,59	5,97	0,74
M	3,90	0,45	6,01	0,94
I	5,23	0,52	6,19	0,34
I	4,59	0,53	6,25	0,78
A	4,34	0,61	6,21	0,74
Σ	4,79	0,54	6,17	0,54
O	4,56	0,56	6,11	0,38

Πίν. 28B. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων σε meq/l για την περίοδο 2003 – 2004.

Σύμφωνα με του Πίνακες 28A & 28B, διαπιστώνεται καθαρά ότι τα νερά και των δύο συστημάτων ανήκουν στον τύπο II κατά κύριο λόγο με το Q1 κατά ορισμένες περιόδους να μεταπίπτει και στον τύπο III.

Οι κύριοι τύποι των νερών, με βάση την φθίνουσα περιεκτικότητα σε ανιόντα και κατιόντα, είναι :

ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$

$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$

ΧΛΩΡΙΟΥΧΑ: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$

$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$

Το ανιόν που επικρατεί καθορίζει την μεγάλη γεωχημική ομάδα στην οποία ανήκει το νερό. Ο βαθμός επικράτησης των άλλων ιόντων δείχνει πιο λεπτομερή χαρακτηριστικά, τα οποία θα πρέπει να ερμηνευτούν σε σχέση με τις πραγματικές συγκεντρώσεις και τα υδρογεωλογικά δεδομένα.

Σύμφωνα με του Πίνακες 8 & 9, διαπιστώνεται καθαρά ότι τα νερά και των δύο συστημάτων αναφέρονται στην πρώτη κατηγορία (ανθρακικά νερά) από τις παραπάνω δύο πολύ γενικές κατηγορίες.

Από όλα τα παραπάνω αδιαμφισβήτητα μπορούμε να κατατάξουμε τα νερά των δύο συστημάτων στην πρώτη κατηγορία της ταξινόμησης κατά ALEKIN (1962) και μάλιστα στην υποδιαίρεση των **ανθρακικών υδάτων** (Ca – HCO₃ νερά).

Μεγάλη βοήθεια στην αναγνώριση της προέλευσης των νερών δίνουν οι **ιοντικές σχέσεις** (Mandel- Shiftan, 1981) σε meq/l:

1). Σχέση $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$

Ασβεστολιθικά νερά: $Mg^{2+}/Ca^{2+} = 0,5-0,7$ (ασβεστολιθικοί υδροφόροι)

Δολομιτικά νερά: $Mg^{2+}/Ca^{2+} = 0,7-0,9$ (δολομιτικοί υδροφόροι)

Πυριτικά νερά: $Mg^{2+}/Ca^{2+} > 0,9$ (υδροφόροι σε πυριτικά πετρώματα)

Σύμφωνα με τον Πίνακα 29Α που ακολουθεί, διαπιστώνουμε ότι οι μέσες τιμές του συγκεκριμένου ιοντικού λόγου είναι 0,36 & 0,14 για τα συστήματα Q2 & Q1 αντίστοιχα, προσεγγίζοντας προφανώς περισσότερο τις τιμές που αναφέρονται στην περίπτωση των ασβεστολιθικών υδροφόρων.

2). Σχέση HCO_3^-/Cl^- και SO_4^{2-}/Cl^-

Κοντά στις περιοχές τροφοδοσίας των υδροφόρων επικρατούν, ανάμεσα στα ανιόντα, τα οξυανθρακικά, η συγκέντρωση των οποίων αυξάνει συνήθως μέχρι ενός ορίου που καθορίζεται από το γινόμενο διαλυτότητας του $CaCO_3$. Οι συγκεντρώσεις SO_4^{2-} και Cl^- αυξάνουν επίσης προς τα κατάντη. Οι συγκεντρώσεις όμως Cl^- αυξάνουν πιο γρήγορα, μέχρις ότου τα χλωριόντα γίνουν το ιόν που επικρατεί παρά το γεγονός ότι η συγκέντρωση SO_4^{2-} αυξάνει συνεχώς μια και δεν φθάνει στο γινόμενο διαλυτότητας του $CaSO_4$.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 29Β που ακολουθεί, διαπιστώνουμε ότι οι μέσες τιμές του συγκεκριμένου ιοντικού λόγου είναι 10,1 & 8,41 για τα συστήματα Q2 & Q1 αντίστοιχα, όπου αναμένουμε να βρούμε ότι ο συγκεκριμένος ιοντικός λόγος του Q2> από τον αντίστοιχο λόγο του Q1, δεδομένου ότι το Q1 βρίσκεται βαθύτερα όπου η σύσταση του νερού του ανανεώνεται πιο αργά συγκριτικά με αυτή του Q2.

QANAT 2	Mg/Ca (meq/l)	QANAT 1	Mg/Ca (meq/l)
Δ	0,62	Δ	0,13
Ι	0,94	Ι	0,21
Φ	0,11	Φ	0,24
Μ	1,21	Μ	0,21
Α	0,28	Α	0,12
Μ	0,2	Μ	0,16
Ι	0,11	Ι	0,1
Ι	0,14	Ι	0,13
Α	0,1	Α	0,12
Σ	0,23	Σ	0,1
Ο	0,07	Ο	0,06

Πίν. 29Α. Αποτελέσματα τιμών του ιοντικού λόγου Mg/Ca για την περιοχή μελέτης.

QANAT 2	HCO ₃ /Cl(meq/l)	QANAT 1	HCO ₃ /Cl(meq/l)
Δ	9,58	Δ	8,96
Ι	3,33	Ι	8,37
Φ	11,38	Φ	7,70
Μ	4,82	Μ	8,78
Α	11,89	Α	7,20
Μ	9,75	Μ	8,64
Ι	10,12	Ι	10,07
Ι	13,36	Ι	8,61
Α	11,62	Α	7,16
Σ	13,32	Σ	8,84
Ο	11,97	Ο	8,16

Πίν. 29B. Αποτελέσματα τιμών του ιοντικού λόγου HCO₃/Cl για την περιοχή μελέτης.

3). Σχέση (Ca + Mg)/ (K + Na)

Στις περιοχές εμπλουτισμού των υδροφόρων > 1

Στις κατάντη περιοχές < 1

• Αφού το Cl, σαν συγκέντρωση, είναι πολύ μικρό και δεδομένου ότι τα φαινόμενα ιοντοανταλλαγής είναι μικρής έκτασης συνάγεται το συμπέρασμα ότι και το Na ως συγκέντρωση είναι μικρό άρα και η σχέση (Ca + Mg)/ (K + Na) > 1 ή περίπου 1, όποτε πράγματι βρισκόμαστε σε θέσεις που είναι πολύ κοντά στις περιοχές εμπλουτισμού των υδροφόρων, αναφορικά πάντα με την περιοχή μελέτης των συστημάτων.

ΣΤ. ΟΙ ΓΕΩΧΗΜΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

ΣΤ.1. Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα, χαλαρά ή συνδεδεμένα, αποτελούνται από συνδυασμούς διαφορετικών ορυκτών τα οποία μπορεί να προέρχονται από διαφορετικές, ιζηματογενείς, μαγματικές ή μεταμορφωμένες 'πηγές'. Ακόμα και μεμονωμένα στρώματα, συνήθως περιέχουν αναμειγνύσις ορυκτολογικές που διαφέρουν κατά θέσεις από στρώμα σε στρώμα. Αυτές οι διαφορές μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες διαφορές στη γεωχημεία των υπόγειων νερών, από στρώμα σε στρώμα και από περιοχή σε περιοχή (βλ. Πίν. 30).

Ο βασικός παράγοντας που ελέγχει το χημισμό του νερού στα ιζηματογενή πετρώματα είναι η σειρά με την οποία το νερό διασχίζει τους διάφορους ορυκτολογικούς συνδυασμούς, κατά την κίνηση του στους ιζηματογενείς υδροφόρους. Τούτο σημαίνει ότι το νερό κατά την κίνησή του μέσα από τα στρώματα υπόκειται σε διαδοχικές μεταβολές του γεωχημικού χαρακτήρα, που επιβάλλονται από νέους θερμοδυναμικούς περιορισμούς, ορυκτολογικά ελεγχόμενους. Έτσι, το νερό μπορεί να φτάσει σε ορισμένα στρώματα σε τοπική ισορροπία, σε σχέση με μερικές φάσεις, η συνεχής όμως κίνησή του προκαλεί διαταραχές της ισορροπίας, καθώς περνά από στρώματα διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης.

Γίνεται μετά από αυτά φανερή η δυσκολία της ερμηνείας της γεωχημικής εξέλιξης των νερών σε τέτοια πετρώματα. Σημαντικό ρόλο πάντως στη διαμόρφωση του γεωχημικού χαρακτήρα του υπόγειου νερού παίζουν οι εξής παράγοντες:

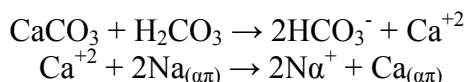
- Η διάλυση των ανθρακικών ορυκτών και μικρών ποσοτήτων γύψου, η οποία επηρεάζει την ιοντική συγκέντρωση στο νερό.
- Η διάλυση αστρίων, μαρμαρυγιών και αργιλικών ορυκτών.

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης σημειώνεται κατά κύριο λόγο και πρωταρχικά η διάλυση της ανθρακικής συγκολλητικής ύλης που επηρεάζει και καθορίζει ουσιαστικά την συμμετοχή συγκεκριμένων ιόντων στη σύσταση των νερών, προσδίδοντάς τους τον χαρακτηρισμό σαν ανθρακικά (αλκαλικά) νερά. Δευτερευόντως έρχεται να επηρεάσει την σύσταση των νερών η διάλυση που σημειώνεται στους μαργαϊκούς σχηματισμούς. Τέλος μικρότερη ποσοτικά συμμετοχή ή επίδραση έχει η διάλυση που σημειώνεται πάνω στα υλικά του υποβάθρου που αποτελούν τον κύριο όγκο των κροκαλοπαγών του Μενοικίου.

Οι γεωχημικές διεργασίες, ανήκουν συνήθως σε μια ή περισσότερες από τις εξής τέσσερις κατηγορίες:

1. **Ιοντική ανταλλαγή**
2. **Δημιουργία CO₂ κάτω από την εδαφική ζώνη.**
3. **Βιοχημική αναγωγή των θεικών ορυκτών.**
4. **Οξειδωση των θειούχων ενώσεων.**

Το εντυπωσιακό χαρακτηριστικό πολλών υπόγειων νερών είναι ' 'ότι επικρατούν τα ιόντα Na⁺ και HCO₃⁻. Σε μερικές περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις του δεύτερου φθάνουν τα 2500 mg/l, δηλαδή είναι διπλάσιες από εκείνες στα ανθρακικά ή δολομιτικά υπόγεια νερά. Τα νατριούχα – οξυανθρακικά αυτά νερά δημιουργούνται από τη συνδυασμένη δράση της ιοντικής ανταλλαγής και της διάλυσης ασβεστίτη και δολομίτη, σε στρώματα πλούσια σε ασβεστίτη, δολομίτη και αργιλικά ορυκτά, με Na που μπορεί να ανταλλάχτει, κατά τις αντιδράσεις (Freeze – Cherry, 1979):



Όπου (απ) σημαίνει κατιόντα απορροφημένα από αργίλους.

Οι υδροχημικές μεταβολές του νερού γίνονται με πολύ αργό ρυθμό, κατά την διάρκεια μακρών γεωλογικών περιόδων και συνήθως είναι μη αντιστρεπτές. Οι μικρές ποσότητες γύψου ή άλλων ευδιάλυτων ορυκτών που επηρέασαν σοβαρά το γεωχημικό χαρακτήρα των νερών σε πολλά υδρογεωλογικά συστήματα, απομακρύνονται βαθμιαία από τα συστήματα αυτά.

Το Na που ανταλλάχτηκε με το Ca για την δημιουργία νατριούχων νερών, απομακρύνεται από τις θέσεις ανταλλαγής (αργιλικά ορυκτά). Πυριτικά ορυκτά, όπως οι άστριοι και οι μαρμαρυγίες, μετατρέπονται συνεχώς σε αργιλικά ορυκτά. Μερικές από τις πιο συνηθισμένες εξαλλοιώσεις είναι η **σερικιτίωση** (δημιουργία σερικίτη), **προπυλιτίωση** (δημιουργία χλωρίτη, αργιλικών και ανθρακικών), η **δολομιτοποίηση**, η **αργιλοποίηση** (δημιουργία καολινίτη, μπετονίτη) κλπ.

ΣΤ.2. Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα κρυσταλλικά πετρώματα

Γενικά, τα υπόγεια νερά από τα πετρώματα αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν πολύ χαμηλή συγκέντρωση των κύριων ιόντων. Το ανιόν που επικρατεί χωρίς εξαιρέσεις, είναι το HCO_3^- , ενώ σε αρκετή συγκέντρωση, σε σχέση με τα κατιόντα, απαντά και το SiO_2 . Τα ανιόντα Cl^- και SO_4^{2-} δεν έχουν σημαντική συμμετοχή στα πυριτικά πετρώματα, δεν υπάρχει τάση του υπόγειου νερού κατά τη μετακίνησή του μέσα σε αυτά τα πετρώματα, να μεταπίπτει στη θεική ή χλωριούχα φάση. Έτσι, οι υδροχημικές φάσεις του Chebotarev δεν έχουν ισχύ στα κρυσταλλικά πετρώματα.

Ο χημισμός του υπόγειου νερού, που κινείται σε μεγάλα βάθη στα κρυσταλλικά πετρώματα επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις κάτι που δημιουργεί μεγάλες αποκλίσεις από τις γεωχημικές διαδικασίες που περιγράφηκαν ως τώρα (βλ. Πίν. 30).

ΣΤ.3. Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ανθρακικά πετρώματα

Ο γεωχημικός χαρακτήρας των καρστικών νερών καθορίζεται κυρίως από το μηχανισμό διάλυσης, όπου γενικά διακρίνουμε (βλ. Πίν.30):

- Διάλυση σε ανοιχτό σύστημα

Πρόκειται για την διάλυση, από το νερό που κατεισδύει, του ασβεστίτη και δολομίτη, με την παρουσία άφθονου CO_2 , βιολογικής ή βιομηχανικής προέλευσης, πάνω από την κορεσμένη ζώνη.

Αναφορικά με τα δύο συστήματα μελέτης, τόσο η θέση τους (κυρίως το βάθος από την επιφάνεια) όσο και οι γενικότερες συνθήκες φυσικής λειτουργίας τους υποδηλώνουν ότι η διάλυση που σημειώνεται στο ευρύτερο χώρο διαμόρφωσής τους, ανήκει στο συγκεκριμένο τύπο διάλυσης. Ας μην ξεχνάμε άλλωστε ότι αναφερόμαστε σε υδροφόρους ορίζοντες που χαρακτηρίζονται και ως ελεύθεροι ορίζοντες, άρα και η όποια μεταβολή σημειώνεται σε αυτούς εξαρτάται άμεσα και κατά πολύ από τις συνθήκες επιφάνειας.

- Διάλυση σε κλειστό σύστημα

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν ανθρακικά ορυκτά στην εδαφική ή στην ακόρεστη ζώνη, η κατείσδυση του νερού, φορτισμένου με CO_2 , προς την κορεσμένη ζώνη γίνεται χωρίς σημαντική κατανάλωση CO_2 , το οποίο έτσι δεν μετατρέπεται σε HCO_3^- . Το νερό, με τον τρόπο αυτό, συναντά για πρώτη φορά, ανθρακικά ορυκτά στην κορεσμένη ζώνη, όπου γίνεται η διάλυση τους, κάτω από συνθήκες κλειστού συστήματος φυσικά.

- Ασύμφωνη διάλυση

Κάτω από συνθήκες ανοιχτού και κλειστού συστήματος η διάλυση του ασβεστίτη και δολομίτη γίνεται χωριστά για καθένα από τα δύο ορυκτά. Στην περίπτωση που συμβαδίζει η διάλυση δολομίτη και η απόθεση ασβεστίτη τότε πρόκειται για ασύμφωνη διάλυση δολομίτη. Τούτο συμβαίνει όταν το νερό διαλύει δολομίτη μέχρι κορεσμού του και μετά ρέει σε μια ζώνη ασβεστίτη, αλλά λόγω υπερκορεμού του νερού σε ασβεστίτη τον αποθέτει.

Το ίδιο αποτέλεσμα συμβαίνει και όταν το νερό διαλύει αρχικά ασβεστίτη, μέχρι να κορεστεί και μετά να φτάσει σε δολομιτική ζώνη. **Η μοριακή σχέση Ca^{2+}/Mg^{2+} στο νερό εξαρτάται από την διαδοχική κατανομή δολομίτη και ασβεστίτη, την σύγχρονη διάλυσή τους, την θερμοκρασία, το ποσόν του CO_2 κ.α.**

Γενικότερα μπορεί να τονιστεί ότι τόσο ο ασβεστίτης όσο και ο δολομίτης ελάχιστα διαλύονται στο καθαρό νερό. Όμως η παρουσία του CO_2 στο νερό τα μετατρέπει σε οξυανθρακικές ενώσεις οι οποίες είναι ευδιάλυτες. Οι συγκεντρώσεις CO_2 , HCO_3^- και CO_3^{2-} εκφράζουν την ιοντική ισορροπία των αλάτων στο νερό, αλλά στις χημικές αναλύσεις συνήθως αυτά τα ανθρακικά είδη εκφράζονται σαν HCO_3^- .

Το νερό όταν βρίσκεται σε ισορροπία με τον ασβεστίτη και το ατμοσφαιρικό CO_2 πρέπει να περιέχει γύρω στα 60mg/l HCO_3^- . Οι συνηθισμένες όμως συγκεντρώσεις του στο καρστικό νερό συνήθως είναι της τάξης των 300-450mg/l.

Η πρόσθετη, απαραίτητη για την διάλυση των ανθρακικών ορυκτών, ποσότητα CO_2 είναι βιολογικής ή βιοχημικής προέλευσης. Η για οποιοδήποτε λόγο μείωση της πίεσης του συστήματος, οδηγεί άμεσα στην μείωση του διαλυμένου CO_2 , με αποτέλεσμα το νερό να γίνεται πιο κορεσμένο σε ασβεστίτη, από ότι ήταν αρχικά. Εξάλλου το Mg^{2+} μπορεί να παραμείνει διαλυμένο σε υψηλότερο Ph από ότι το ασβέστιο. Για το λόγο αυτό άλλωστε, οι ανθρακικές φλέβες ακόμα και στους δολομίτες αποτελούνται από ασβεστίτη.

Όταν το νερό είναι ακόρεστο σε ασβεστίτη, και περιέχει περίσσεια CO_2 , τότε το τελευταίο έχει διαβρωτική δράση. Αντίθετα το υπερκορεσμένο νερό αποθέτει ασβεστίτη.

Εδώ πρέπει να παρατηρήσουμε ότι όλα ακριβώς τα παραπάνω στοιχεία έρχονται να επιβεβαιώσουν όλα όσα έχουμε αναφέρει ως τώρα γύρω από τα αποτελέσματα και τι όποιες παρατηρήσεις πάνω σε αυτά των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού για την περιοχή μελέτης!!!

Τέλος, εάν συγκρίνουμε τα δεδομένα του Πίνακα 30 με αυτά των Πινάκων 18Α & 18Β, θα διαπιστώσουμε ότι το συγκεκριμένο κροκαλοπαγές παρουσιάζει ένα χαρακτήρα υδροφόρου πετρώματος που εντοπίζεται ανάμεσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς του ασβεστόλιθου και του καλκαρενίτη, με τα χαρακτηριστικά του πρώτου να επικρατούν ελαφρώς ιδίως στην περίπτωση του Q2 που λειτουργεί κατάλληλα και σωστά.

Πέτρωμα ή σχηματισμός	TDS	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	Fe
Γρανύτης	122	14	4,7	22	-	5,9	52	46	-
	83	7	2	18	-	17	4	24	0,1
	470	62	28	15	-	66	14	224	
Βασάλτης	169	27	10	13	-	6,2	11	128	0,08
	165	15	8,9	11	3,0	5,0	2,6	109	0,01
	367	48	31	15	3,8	4,0	110	192	1,97
Καλκαρενίτες	437	107	12	44		61	36	355	-
	540	132	25	34		72	101	355	-
	884	157	38	99		171	245	342	-
Συμπαγή κρυσταλλικά	520	95	61	6		10	61	402	-
	330	86	13	16		3,5	45	440	-
Ασβεστόλιθος	210	44	4,3	8		11	27	100	-
Δολομίτης	890	103	82	83		141	303	336	-
	440	68	46	29		90	58	147	-
	662	87	56	68		142	207	192	-
Σχιστόλιθου	3255	512	22	47		73	1485	-	81
	2236	235	138	394		936	282	504	-
	1667	145	106	304		583	353	342	-
Ψαμμίτες και καθαρές άμ- μου	143	35	11	14		14	6,4	50	0,5
	189	41	3,4	5		23	26	63	0,2
	140	10	8	25		36	45	18	7,0
Άμμοι και συνηθισμένοι ψαμμίτες	482	59	37	67		74	84	336	-
	439	65	38	44		63	79	326	-
	504	69	27	69		77	162	200	0,4
Εβακορίτες	5609	536	601	315		650	3368	204	-
	2881	613	126	72		98	1887	150	-
	245300	1071	1974	88897		137788	11981	324	-
Λιγνίτες	1208	16	6,6	585		36	11	1506	0,1
	472	7	8	13		20	16	200	7

Πίν. 30. Τυπική χημική σύσταση υπόγειων νερών από διάφορα υδροφόρα πετρώματα σε mg/l (Καλλέργης Γ., 1986).

Z. ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Σε μια φυσική ανάλυση του νερού περιλαμβάνεται η μέτρηση της θερμοκρασίας, σε βαθμούς Κελσίου, κατά την ώρα της δειγματοληψίας, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να σημειώνεται και η θερμοκρασία του αέρα. Το χρώμα του νερού, που μπορεί να οφείλεται στην παρουσία ορυκτών ή οργανικών ουσιών διαλυμένων στο νερό, σημειώνεται σε mg/l συγκριτικά με υποδειγματικά διαλύματα (Todd, 1980). Η θολερότητα, είναι ένα μέτρο των κolloειδών και αιωρούμενων υλικών π.χ. άργιλος, ιλύς, μικροσκοπικοί οργανισμοί, οργανικές ύλες και μετρίεται σε μονάδες θολερότητας. Η γεύση και η οσμή, μπορεί να οφείλονται σε βακτήρια, διαλυμένα αέρια, ορυκτά ή φαινόλες. Έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ποσοτικού προσδιορισμού της γεύσης και της οσμής, βασισμένες στη μέτρηση της διαλυτικής ικανότητας του νερού.

Τα νερά τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως πόσιμα θα πρέπει να πληρούν αυξημένες απαιτήσεις από φυσικής, χημικής και βιολογικής άποψης. Το νερό θα πρέπει να είναι χωνευτικό, διαυγές, άχρωμο, άγευστο και να έχει σταθερή θερμοκρασία. Η θερμοκρασία ενδεικτικά για την Κεντρική Ευρώπη πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ανάμεσα στους **8-12°C**. Σε περιοχές με μεγαλύτερη ή μικρότερη μέση ετήσια θερμοκρασία θα πρέπει να είναι ανάλογα μεγαλύτερη ή μικρότερη. Επομένως στην περιοχή μελέτης το παραπάνω διάστημα μεταπίπτει ενδεικτικά στο διάστημα 12 – 16°C ή ίσως και λίγο παραπάνω.

Για την χρησιμότητα του νερού από υγιεινής και βακτηριολογικής έρευνας θα πρέπει να εξακριβωθεί ότι σε 100 cm³ πόσιμου νερού δεν παρουσιάζεται ούτε ένα *Eschericia coli* (κολοβακτηρίδιο) ή άλλα βακτήρια (δείκτες μόλυνσης από απορρήματα) και ότι ο συνολικός αριθμός σπορίων είναι μικρότερος από 100/cm³ νερού.

Η απομάκρυνση των σπορίων από το νερό προκύπτει κυρίως με την παροχή χλωρίου ή χλωριούχων ενώσεων, όζοντος, υπεριώδους ακτινοβολίας ή με ηλεκτροχημική προσθήκη ιόντων Ag.

Σε πολλές περιπτώσεις μια προεπεξεργασία του υπόγειου νερού είναι απαραίτητη και μάλιστα τόσο για την χρησιμοποίησή του ως πόσιμο, όπως επίσης και για την κατανάλωσή του. Κυρίως γίνονται οι παρακάτω προεργασίες: αποσιδήρωση, αποσκλήρυνση, μερική ή πλήρη αφαλάτωση.

Z.1. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ & ΤΗΝ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

A. Χρώμα

Το χρώμα στο νερό οφείλεται σε κolloειδείς ή διαλυμένες ουσίες φυσικής προελεύσεως ή σε τεχνικές χρωστικές ουσίες.

Στα υπόγεια ύδατα το χρώμα οφείλεται σε διαλυμένες ορυκτές ουσίες, ιδίως σιδηρούχες ενώσεις, που δίνουν χροιά κοκκινόφαιη καθώς επίσης και σε άλατα μαγγανίου που δίνουν χροιά ρόδινη.

Το πόσιμο ύδωρ για να είναι ελκυστικό και υγιεινό επιβάλλεται να είναι άχρωμο.

Στην περιοχή μελέτης το νερό του συστήματος Q2, καθαρά οπτικά παρατηρώντας το είναι εντελώς άχρωμο. Το άλλο σύστημα ενίοτε χρωματίζεται ελαφρώς κιτρινωπά.

B. Θολερότητα

Η θολερότητα οφείλεται σε αιωρούμενες ουσίες. Τα υπόγεια ύδατα είναι καταρχήν διαυγή. Αιφνίδια αύξηση της θολερότητας υποδηλώνει άμεση επικοινωνία με επιφανειακά ύδατα και το καθιστά ύποπτο ρύπανσης ή και μόλυνσης.

Η διαπίστωση θολερότητας στο πόσιμο νερό πάνω από ορισμένα όρια το καθιστά ακατάλληλο. Το νερό για να είναι πόσιμο και υγιεινό, πρέπει να είναι διαυγές.

Στην περιοχή μελέτης το νερό του συστήματος Q2, καθαρά οπτικά παρατηρώντας το, διαπιστώνουμε ελάχιστα αιωρούμενα σωματίδια σε αντίθεση με το νερό του Q1, στο οποίο τα τελευταία είναι πολλά.

Γ. Οσμή

Το πόσιμο νερό πρέπει επίσης να είναι άοσμο και μάλιστα κάθε οσμή του υποδηλώνει πιθανή ρύπανσή του. Η παρουσία δυσάρεστων οσμών στο πόσιμο νερό προκαλεί τη δυσφορία και τα παράπονα των καταναλωτών.

Στην περιοχή μελέτης το νερό του συστήματος Q1 μόνο μυρίζει ελαφρώς, όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω.

Δ. Γεύση

Η ευχάριστη γεύση του ύδατος οφείλεται κυρίως στην παρουσία οξυγόνου και ορισμένων αλάτων που βρίσκονται σε διάλυση σε μικρές ποσότητες, ιδίως σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Η δυσάρεστη γεύση του νερού είναι δυνατό να οφείλεται στην παρουσία οργανικών ουσιών και διαφόρων ενώσεων μετάλλων.

Το υγιεινό νερό δεν πρέπει να έχει γεύση αλμυρή, πικρή και στυπτική.

Στην περιοχή μελέτης μόνο το νερό του συστήματος Q2 παρουσιάζεται με ευχάριστη γεύση.

Ε. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία επιβάλλεται να είναι τέτοια ώστε να παρέχει ευχάριστη γεύση. Όσο ανέρχεται η θερμοκρασία του ύδατος, αυτό γίνεται λιγότερο εύγευστο, λόγω αποβολής των εν διαλύσει αερίων.

Η θερμοκρασία των υπόγειων και πηγαίων υδάτων συνήθως είναι σταθερή, ενώ των επιφανειακών ακολουθεί τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Όρια θερμοκρασίας ύδατος σε °C:

- | | |
|-----------------------|---------------|
| 1. Ανεκτή | 4 – 7 °C |
| 2. Ευχάριστη | 7 – 12 °C |
| 3. Επιθυμητή | 12 – 17 °C |
| 4. Λιγότερο επιθυμητή | 17 – 25 °C |
| 5. Ανεπιθύμητη | 25 °C και άνω |

	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	0
QANAT 2	14	14	9	13	14	14,7	14,5	15	9,5	-	14,5
QANAT 1	15	14	13	14	14	14,3	14	14,5	9	-	15

Πίν. 31. Πίνακας τιμών θερμοκρασιών νερού για την περίοδο 2003 – 2004.

Σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 31 διαπιστώνουμε ότι οι θερμοκρασίες νερού και των δύο συστημάτων εμπίπτουν σε εκείνο το θερμοκρασιακό εύρος το οποίο χαρακτηρίζεται ως επιθυμητό.

ΣΤ. Συγκέντρωση υδρογόνου (pH)

Ένα άλλο βασικό φυσικοχημικό μέγεθος για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας του νερού αποτελεί η τιμή του pH, που μας δίνει το μέτρο της οξύτητας ή βασικότητας ενός νερού. Εάν είναι το $pH > 7$, τότε το νερό δείχνει μια αλκαλική αντίδραση, ενώ εάν είναι το $pH < 7$ δείχνει μια όξινη αντίδραση. Στα φυσικά νερά η τιμή του pH βρίσκεται χονδρικά ανάμεσα στις τιμές 4 και 8.

Η μέτρηση της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου στο πόσιμο νερό προσδιορίζει την ενεργό οξύτητα του ύδατος.

Το pH του πόσιμου ύδατος πρέπει να έχει αντίδραση ασθενώς αλκαλική, ποτέ όξινη, διότι εκτός των άλλων καθίσταται διαβρωτικό και δαπανηρό για την συντήρηση του δικτύου διανομής. Αποκλίσεις του pH προς τα πάνω ή κάτω από τα όρια 7,0 – 7,5 δημιουργούν σοβαρές ενδείξεις ρύπανσης με διάφορες χημικές ουσίες.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 32, διαπιστώνουμε ένα σαφώς αλκαλικό χαρακτήρα των νερών των συστημάτων Q2 & Q1 δεδομένου ότι κατά μέσο όρο σημειώνονται τιμές Ph 7,44 και 7,30 αντίστοιχα. Δεν θα πρέπει να μας προξενεί έκπληξη το γεγονός ότι το Ph του Q2 είναι μεγαλύτερο από αυτό του Q1, διότι το πρώτο είναι πιο κοντά στην επιφάνεια και δέχεται άμεσα την επιδρασή της, επομένως είναι πιο ευάλωτο και στην ρύπανση. Αυτό διαπιστώνεται εξάλλου και από το γεγονός ότι οι μισές σχεδόν τιμές του Q2 ξεπερνούν το όριο του 7,5. Το γεγονός αυτό συνιστά σοβαρή ένδειξη ρύπανσης του νερού του συστήματος από την επιφάνεια.

QANAT 2	Ph	QANAT 1	Ph
Δ	7,53	Δ	7,45
Ι	7,33	Ι	7,37
Φ	7,45	Φ	7,32
Μ	7,68	Μ	7,29
Α	7,55	Α	7,4
Μ	7,53	Μ	7,23
Ι	7,32	Ι	7,11
Ι	7,3	Ι	7,15
Α	7,29	Α	7,15
Σ	7,2	Σ	7,16
Ο	7,68	Ο	7,62

Πίν. 32. Πίνακας τιμών Ph νερού για την περίοδο 2003 – 2004.

Ζ. Αγωγιμότητα

Είναι μια παράμετρος που εκφράζει την συνολική περιεκτικότητα αλάτων στο πόσιμο νερό. Δεν υπάρχει ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση, αλλά μόνο ενδεικτικό επίπεδο.

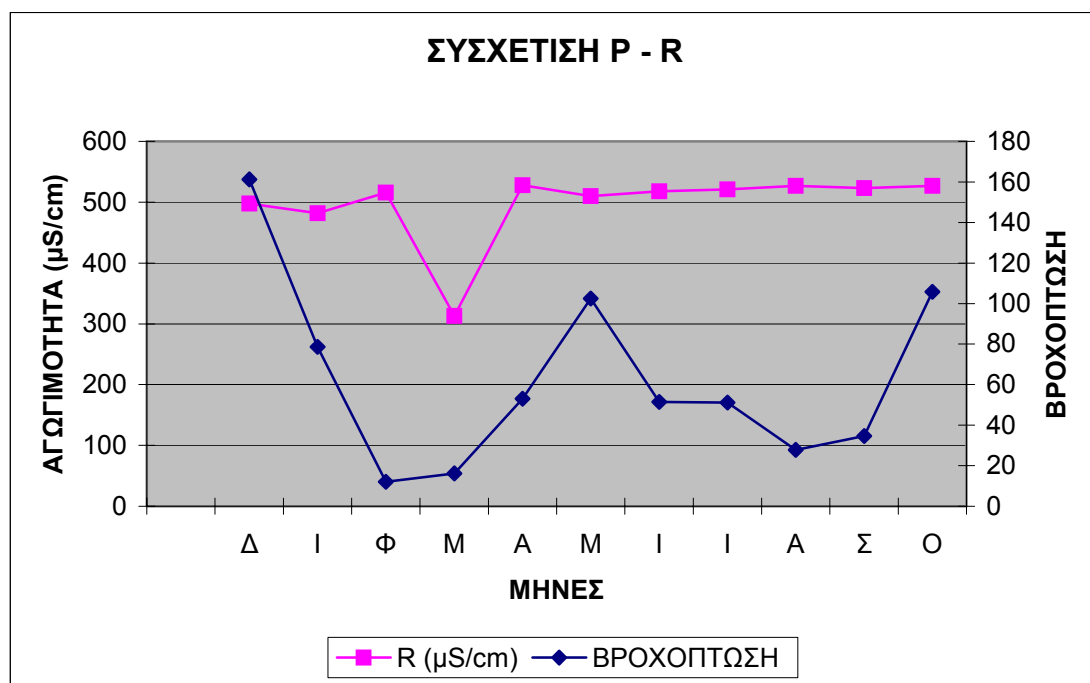
Σύμφωνα με τον Πίνακα 33, διαπιστώνουμε ότι το Q1 είναι σαφώς πιο επιφορτισμένο σε άλατα από ότι το Q2 κυρίως για δύο λόγους. Πρώτος και κύριος λόγος είναι αυτός που αφορά το γεγονός της πολύ αργής ανανέωσης των νερών του συστήματος, άρα τα νερά παραμένουν πολύ χρόνο σε επαφή με τα πετρώματα που

διαρρέουν με συνέπεια να επιφορτίζονται με άλατα, δεδομένου ότι και η ανανέωση είναι σχεδόν απύσχα.

Όπως και να έχει και τα δύο συστήματα είναι αρκετά έως πολύ επιφορτισμένα με άλατα, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη, αναφορικά με το θέμα της περαιτέρω αξιοποίησης των συστημάτων. Ακόμα και εάν οι αντίστοιχες τιμές του Q2 είναι μέσα στα γενικά αποδεκτά όρια ποσιμότητας, εντούτοις οι τιμές του θεωρούνται σχετικά υψηλές. Εάν το συγκεκριμένο γεγονός συνδυαστεί με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και για το Ph του ίδιου συστήματος, καταλαβαίνουμε ότι το νερό του έχει υποστεί όντως μια ποιοτική υποβάθμιση.

QANAT 2	R (μS/cm)	QANAT 1	R (μS/cm)
Δ	498	Δ	787
Ι	482	Ι	777
Φ	516	Φ	742
Μ	313	Μ	763
Α	528	Α	766
Μ	510	Μ	765
Ι	518	Ι	746
Ι	521	Ι	734
Α	527	Α	752
Σ	523	Σ	726
Ο	527	Ο	730

Πίν. 33. Πίνακας τιμών R νερού για την περίοδο 2003 – 2004.

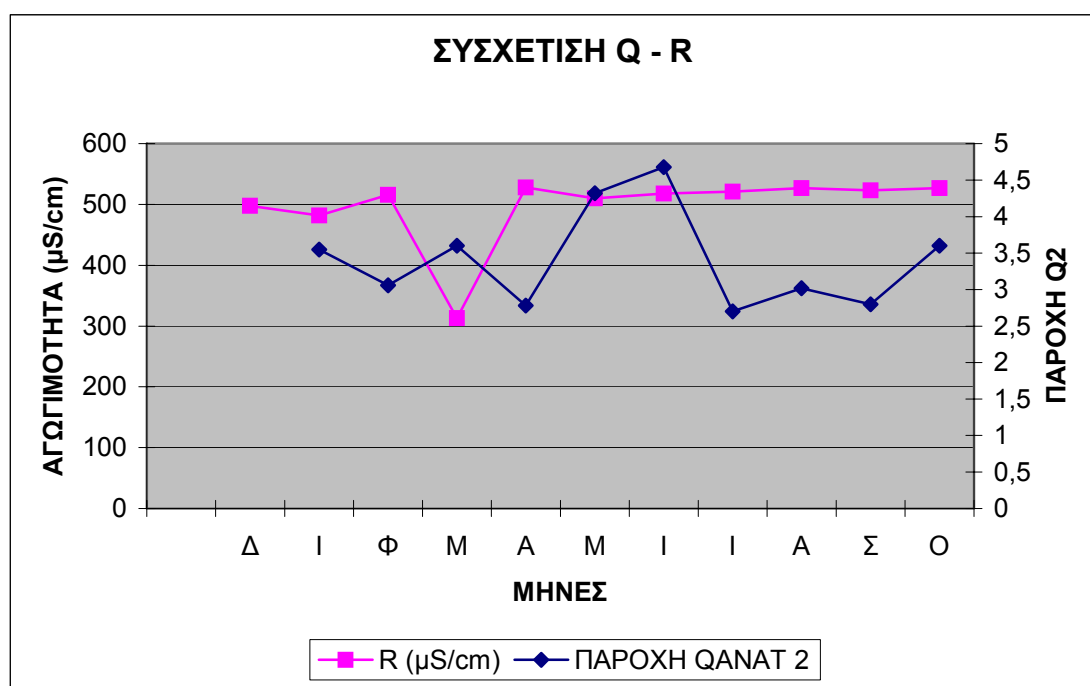


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, γίνεται εμφανής η εξάρτηση της αγωγιμότητας (αλατότητας) των υδάτων από τις τιμές της βροχόπτωσης και ιδιαίτερα

από την κατανομή αυτής. Ειδικότερα ενώ η αλατότητα ξεκινά με σταθερή τιμή, αργεί να ακολουθήσει την πτώση της βροχόπτωσης κατά 1 μήνα (ίσως και λίγο παραπάνω). Η καθυστέρηση αυτή αντιστοιχεί ασφαλώς στο διάστημα που απαιτείται για να λιώσουν τα χιόνια, να εισέλθουν στην γενική κυκλοφορία και να διαλύσουν όσο υλικό επιτέπουν οι ιδιαίτερες κάθε φορά φυσικοχημικές συνθήκες τους πριν εξέλθουν από το σύστημα. Ας μην λησμονούμε στο σημείο αυτό το γεγονός ότι η ικανότητα διάλυσης του νερού που προέρχεται από το λιώσιμο του χιονιού είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της βροχοσταγόνας, ιδίως όταν μεσολαβεί και στρώμα εδάφους, το οποίο ενισχύει την διαλυτική ικανότητα των διηθούμενων πλέον υδάτων.

Το παραπάνω γεγονός επιβεβαιώνεται και από την παρατήρηση ότι κατά τους θερινούς μήνες, ενώ έχουμε μείωση ασφαλώς των βροχοπτώσεων, αυτή δεν ακολουθείται από αντίστοιχη μείωση της αλατότητας αλλά εμφανίζεται με σταθερές τιμές καθόλη την διάρκεια της ξηρής περιόδου. Η διαπίστωση αυτή είναι εξαιρετικής σημασίας από κάθε άποψη (τρόπου λειτουργίας, υγειονομικής κ.α).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα γίνεται εμφανής η σχέση της αγωγιμότητας (αλατότητας) των υδάτων από τις τιμές της παροχής και ιδιαίτερα κατά την χειμερινή περίοδο παρατηρούμε ότι μείωση των τιμών της αλατότητας συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της παροχής. Η αμφίδρομη όμως σχέση αυτή στην πραγματικότητα δεν υφίσταται, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την παρατήρηση ότι κατά την θερινή περίοδο η αντίστοιχη μείωση της παροχής συνοδεύεται από σταθερές τιμές αλατότητας που δεν δείχνουν να επηρεάζονται διόλου από την πτώση των τιμών παροχής. Επομένως η παραπάνω σχέση ερμηνεύεται ως εξής: Η συγκεκριμένη αντίθεση που σημειώνεται την χειμερινή περίοδο είναι ουσιαστικά άμεση συνέπεια του γεγονότος της χρονικής υστέρησης των 30 ημερών περίπου που απαιτούνται για να ανταποκριθεί το όλο σύστημα QANAT στις συνθήκες επιφανείας καθώς και στις διακυμάνσεις αυτών.

Το γεγονός αυτό άλλωστε επαληθεύεται και από την μελέτη των **διαγραμμάτων 1 & 2**, όπως έχουμε επισημάνει σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Η. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Η βακτηριολογική ανάλυση είναι μεγάλης σημασίας για τον εντοπισμό της βιολογικής ρύπανσης του υπόγειου νερού. Τα περισσότερα παθογόνα βακτήρια που απαντούν στο νερό, βρίσκονται στη κοιλιακή χώρα των ζώων και του ανθρώπου, αλλά είναι δύσκολη η απομόνωσή τους, από το νερό, στο εργαστήριο. Επειδή όμως είναι εύκολη η απομόνωση και η αναγνώριση των κολοβακτηρίων γίνεται προσδιορισμός της παρουσίας ή απουσίας των τελευταίων στο νερό, σαν μια άμεση ένδειξη της καταλληλότητας του νερού για πόση.

Συνήθως προσδιορίζεται ο πιο πιθανός αριθμός κολοβακτηρίων (MPN) σε έναν ορισμένο όγκο νερού. Με ανάλυση ενός αριθμού δειγμάτων νερού, είναι δυνατός ο προσδιορισμός του πιο πιθανού αριθμού κολοβακτηρίων, από πίνακες ή νομογράμματα πιθανοτήτων. Για την περιοχή μελέτης δεν κατέστη δυνατός ο συγκεκριμένος υπολογισμός, ο οποίος είναι απαραίτητο να γίνει σε περίπτωση αξιοποίησης των συστημάτων και πριν από οποιαδήποτε χρήση διότι εκτός των άλλων συνιστά και δείκτης ρύπανσης ο συγκεκριμένος αριθμός.

Θ. Η ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Θ.1. ΣΤΑΘΕΡΟΤΥΠΙΑ ΧΡΗΣΕΩΝ

Κατά πόσον ένα υπόγειο νερό δοσμένης ποιότητας είναι κατάλληλο για ένα ειδικό σκοπό, εξαρτιέται από τα κριτήρια και τα 'σταθερότυπα' (standards) της αποδεκτής ποιότητας για τη συγκεκριμένη χρήση.

Διεθνώς έχουν καθιερωθεί οριακές τιμές της ποιότητας του νερού που χρησιμοποιείται για πόση, βιομηχανική χρήση και άρδευση.

Α. Σταθερότυπα πόσιμου νερού

Τα σταθερότυπα πόσιμου νερού διαφέρουν στις διάφορες χώρες ακόμη δε και στην ίδια χώρα μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με την επάρκεια ή μη νερού ορισμένης ποσότητας.

Στα **Σχ. 35 & 36** δίνονται ημιλογαριθμικά διαγράμματα ταξινόμησης του πόσιμου νερού, αναφορικά με την περιοχή μελέτης.

Σύμφωνα με τα όρια των συγκεντρώσεων των στοιχείων που αναφέρονται στη στήλη του **Πίνακα 34**, που παρατίθεται αμέσως παρακάτω, προβλέπονται ανώτατες επιτρεπτές τιμές συγκεντρώσεων οι οποίες δεν πρέπει να ξεπερνώνται επουδενί στην περίπτωση του πόσιμου ύδατος. Συγκέντρωση πέρα από αυτή κάνει το νερό ακατάλληλο για πόση.

Όσον αφορά στη συχνότητα των αναλύσεων αυτή έχει καθορισθεί από την ΕΟΚ (1980), όπως στο **Πίνακα 35**. Ειδικότερα η δειγματοληψία πρέπει να γίνεται με την εξής συχνότητα (Bouwer, 1978):

Υδρευόμενοι κάτοικοι	$< 10^3$,	συχνότητα δειγματοληψίας	1 δείγμα/μήνα
«	$< 10^4$,	«	11 δείγματα/μήνα
«	$< 10^5$,	«	100 «
«	$< 10^6$,	«	300 «
«	$< 4,5 \cdot 10^6$,	«	500 «

Για την περιοχή μελέτης συνίσταται ως συχνότητα δειγματοληψίας ενός δείγματος ανά εξάμηνο για πλήρη χημική ανάλυση καθώς και για μικροβιολογικές αναλύσεις, που εκλείπουν παντελώς από την περιοχή και κρίνονται και άμεσες και απαραίτητες να πραγματοποιηθούν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 34

Περιεχόμενες ουσίες (mg/l)	ΕΥΡΩΠΗ (MULLER 1971)
Sb ³⁺	-
As ³⁺⁽⁵⁺⁾	0,05
Ba ²⁺	-
Cd ²⁺	0,01
Cr ⁶⁺	0,05
CN ⁻	0,05
F ⁻	1,5
H ₂ S	0,05
Pb ²⁺	0,1
Se	0,01
Ag ⁺	-
Zn ²⁺	5,0
Cu ²⁺	0,05
Fe ²⁺⁽³⁺⁾	0,1
Mn ²⁺	0,05
NH ₄ ⁺	0,05
Na ⁺	-
Ca ²⁺	-
Mg ²⁺	125 σε περεκτικότητα SO ₄ ²⁻ - > 250 mg SO ₄ ²⁻ /l μόνο 30 gr Mg ²⁺ + /l
GH	2 - 10 mval
HCO ₃ ⁻	-
Cl ⁻	200
SO ₄ ²⁻	250
NO ₂ ⁻	ίχνη
NO ₃ ⁻	100 συνίσταται κάτω από 50 mg NO ₃ ⁻ /l
CO ₂	0
O ₂	5

ΠΙΝΑΚΑΣ 35

Όγκος νερού που παράγεται ή διανέμεται την ημέρα 3 m	Πληθυσμός που υδρεύεται (βάσει υπολογισμού 200 l/ημέρα ανά κάτοικο)	Ανάλυση E ₁ Αριθμός δειγμα- τοληψιών/έτος	Ανάλυση E ₂ Αριθμός δειγμα- τοληψιών/έτος	Ανάλυση E ₃ Αριθμός δειγμα- τοληψιών/έτος	Ανάλυση E ₄
100	500	κατά περίπτωση	κατά περίπτωση	κατά περίπτωση	Ορίζεται κατά περίπτωση
1.000	5.000	" "	" "	" "	
2.000	10.000	12	3	" "	
10.000	50.000	60	6	1	
20.000	100.000	120	12	2	
30.000	150.000	180	18	3	
60.000	300.000	> 360	36	6	
100.000	500.000	> 360	60	10	
200.000	1.000.000	> 360	> 120	> 20	
1.000.000	5.000.000	> 360	> 120	> 20	

Ανάλυση E₁ (ελάχιστος έλεγχος)

- Οργανοληπτικές παράμετροι (οσμή-γεύση)
- Φυσικοχημικές " (αγωγιμότητα, υπολειμματικό Cl)
- Μικροβιολογικές " (ολικά κολοβακτηριοειδή σε 22 & 37°C
κολοβακτηριοειδή κοπράνων σε 22 & 37°C)

Ανάλυση E₂ (έλεγχος ρουτίνας)

- Οργανοληπτικές παράμετροι (οσμή, γεύση, θολερότητα)
- Φυσικοχημικές " (θερμοκρασία, αγωγιμότητα, pH, υπολ. Cl)
- Ανεπιθύμητες " (νιτρικά-νιτρώδη, αμμωνία)
- Μικροβιολογικές " (όπως στην E₁)

Ανάλυση E₃ (περιοδικός έλεγχος)

- Ανάλυση ελέγχου ρουτίνας (E₁+E₂) + άλλες παράμετροι.

Ανάλυση E₄ (έκτακτος έλεγχος σε ειδικές περιπτώσεις ή σε ατυχήματα)

- Καθορίζεται κατά περίπτωση ανάλογα με τις συνθήκες

Το pH πρέπει να βρίσκεται γύρω στο 7, αλλά με επεξεργασία μπορεί να αντιμετωπισθεί η χρήση νερού με pH 5-9. Πέρα από αυτά τα όρια, η επεξεργασία του νερού για να φθάσει τη τιμή 7, γίνεται αντιοικονομική. Το χρώμα του υπόγειου νερού είναι δυνατόν να επηρεασθεί από οργανικά συστατικά, προερχόμενα από τύρφη ή λάσπη. Ο χρωματισμός αυτός μπορεί να αντιμετωπιστεί με φιλτράρισμα μέσα από ρητίνες. Γεύση και οσμή μπορεί να οφείλονται στον Fe, το H₂S και σε διαλυμένες οργανικές ουσίες.

Συχνά οι φυσικοί και οι μικροβιολογικοί χαρακτήρες του νερού ή ακόμα και οι χημικοί του, κάνουν αναγκαία την επεξεργασία του, προκειμένου να ικανοποιηθούν τα σταθερότυπα ποσιμότητας. Άλλοτε η επεξεργασία είναι προληπτική, πάντα όμως το νερό, ανεξαρτήτως προέλευσης και αν ακόμα είναι άριστης ποιότητας, χρειάζεται κάποια ελάχιστη επεξεργασία, πριν διατεθεί στη κατανάλωση (χλωρίωση ή οζόνωση) – πόσο μάλλον για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, σύμφωνα με όσα έχουμε πει έως τώρα.

Η μέθοδος επεξεργασίας του πόσιμου νερού και ιδιαίτερα ο βαθμός επεξεργασίας, εξαρτιούνται από τη προέλευσή του και τα φυσικοχημικά και μικροβιολογικά του χαρακτηριστικά, γεγονός που έρχεται να κάνει πιο επιτακτική την ανάγκη για πιο συχνές και πλήρεις χημικές αναλύσεις αναφορικά με την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων των συστημάτων αυτών.

Θ.2. Η ΔΙΑΒΡΩΣΗ & Η ΑΠΟΘΕΣΗ ΑΛΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΡΟ

Συχνά για διάφορες βιομηχανικές ή άλλες χρήσεις, παίζει μεγάλο ρόλο η διαβρωτική ή η ικανότητα του νερού να αποθέτει άλατα, κατά κανόνα CaCO₃. για την εκτίμηση της ικανότητας του νερού να αποθέτει άλατα ή να διαβρώνει είναι απαραίτητη η γνώση των **δεικτών κορεσμού ή Langelier και σταθερότητας ή Ryznar**.

Ιδιαίτερα χρήσιμος είναι ο δεύτερος συντελεστής – δείκτης για την επιλογή της ποιότητας της σωλήνωσης των υδρογεωτρήσεων και μάλιστα των φιλτροσωλήνων.

A) Δείκτης κορεσμού ή Langelier

Ο Langelier (1936), εξετάζοντας τους παράγοντες που συμβάλουν στη διαβρωτική διεργασία του νερού, πρότεινε τη χρησιμοποίηση σαν κριτηρίου του Δείκτη Κορεσμού (**Saturation Index**). Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που συμβάλλουν στη διάβρωση ή την απόθεση CaCO₃ ή άλλων ορυκτών (γύψου – δολομίτη) από το νερό στις σωληνώσεις κλπ. Για τον καθορισμό του δείκτη αυτού απαιτείται η γνώση:

- Της αλκαλικότητας, που είναι συνάρτηση τα συγκέντρωσης σε ppm ανθρακικών, οξυανθρακικών και υδροξυλικών ιόντων.
- Της συγκέντρωσης σε ppm των ιόντων που περιέχει το νερό
- Του pH.
- Της θερμοκρασίας.
- Του συνόλου των διαλυμένων στο νερό στερεών (TDS).

Η γενική μορφή του Si είναι:

Si = πραγματικό pH – pH_s, όπου το πραγματικό pH είναι αυτό που μετρείται στα δείγματα του νερού και pH_s το υπολογιζόμενο pH (με βάση συγκεκριμένη μαθηματική σχέση).

Θετικές τιμές του SI, μαρτυρούν τη τάση του νερού να αποθέτει CaCO_3 ή άλλα ορυκτά, ενώ αρνητικές τιμές, μαρτυρούν τη τάση να διαλύει CaCO_3 ή άλλα ορυκτά. Στην περίπτωση που παρατηρείται $\text{SI} = 1$ τότε το νερό ούτε διαλύει ούτε αποθέτει άλατα, δηλαδή είναι κορεσμένο σε CaCO_3 ή άλλα ορυκτά.

Αναφορικά με την περιοχή μελέτης έχουμε αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας, στο οποίο κάνουμε λόγο για την απόθεση αλάτων ασβεστιτικών σε πήλινους σωλήνες με μεγάλους ρυθμούς απόθεσης. Στις περιπτώσεις αυτές μπορούμε ανεπιφύλακτα να αποδεχτούμε τιμές του $\text{SI} > 1$.

B) Δείκτης σταθερότητας ή Ryznar

Πρόκειται για ένα δείκτη που πρότεινε ο Ryznar (1944), για τον προσδιορισμό του ποσού του CaCO_3 , που αποτίθεται από το νερό σε οποιαδήποτε θερμοκρασία μέχρι τους 93°C και την γνώση της διαβρωτικής ικανότητας των νερών που δεν αποθέτουν άλατα. Ο Ryznar θεώρησε ότι ο δείκτης κορεσμού δίνει μόνο ποιοτικές πληροφορίες για την ικανότητα του νερού να αποθέτει άλατα και για αυτό πρότεινε την αντικατάστασή του με ένα δείκτη που δίνει ποσοτικές πληροφορίες για το ίδιο φαινόμενο, που ονόμασε **Δείκτη Σταθερότητας (St_i)**. Ο δείκτης αυτός είναι αποτέλεσμα της ανάγκης να ελαχιστοποιηθεί, αν όχι να εξαλειφθεί, η πιθανότητα λαθεμένης ερμηνείας των θετικών τιμών του δείκτη κορεσμού, σαν ένδειξη νερών μη διαβρωτικών ή που δεν αποθέτουν άλατα.

Όταν ο (St_i) παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 7, τότε το νερό είναι διαβρωτικό, ενώ όταν παίρνει τιμές μικρότερες από 7, τότε το νερό έχει την τάση να αποθέτει άλατα.

Ο Ryznar περιγράφει τις πιο κάτω σχέσεις ανάμεσα στο (St_i), την διαβρωτική ικανότητα και την τάση απόθεσης αλάτων του νερού:

ΤΙΜΗ (St_i)

Χαρακτηρισμός νερού

3-4	Πολύ μεγάλη τάση απόθεσης αλάτων
4-5	Μεγάλη τάση απόθεσης αλάτων, σε $T = 65\text{-}15^\circ\text{C}$
5-6	Μεγάλη τάση απόθεσης αλάτων στα συστήματα θέρμανσης, εδώ τάση απόθεσης παρατηρείται μόνο από τους 15°C και πάνω.
6-7	Μικρά έως ελάχιστα προβλήματα απόθεσης αλάτων ιδιαίτερα όταν ο St_i πλησιάζει το 7.
7-8	Στους 65°C εμφανίζεται ελαφρή διάβρωση η οποία μεγαλώνει καθώς αυξάνουν οι τιμές του St_i πέρα από το 7, για ζεστά νερά.
8-9	Το νερό είναι διαβρωτικό ακόμα και όταν είναι κρύο.
> 9	Το νερό γίνεται τόσο πιο πολύ διαβρωτικό, όσο η τιμή του St_i μεγαλώνει με αποτέλεσμα για τιμές > 11 να παρατηρείται διάβρωση των εγκαταστάσεων ακόμα και από ψυχρό νερό.

Γύρω από την περιοχή μελέτης, μπορούμε να πούμε με αρκετή επιφύλαξη όμως, ότι πραγματοποιείται απόθεση αλάτων με μεγαλύτερη ίσως αυτή του συστήματος Q2, δεδομένου ότι είναι πιο κοντά σε κατάσταση κορεσμού αφού παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε άλατα. Ο ρυθμός απόθεσης κατά μήκος της διαδρομής των νερών μέσα στα δύο συστήματα (και όχι στους σωλήνες) είναι μικρός εάν λάβουμε υπόψη το Ph των νερών αλλά και το θερμοκρασιακό τους εύρος. Επομένως οι τιμές του (St_i) θα κυμαίνεται στο διάστημα 6 – 8.

Γ. Σταθερότυπα αρδευτικού νερού

Τα σταθερότυπα του αρδευτικού νερού βασίζονται στα παρακάτω στοιχεία:

1. Στην ολική συγκέντρωση αλάτων του νερού, διότι αυτή επιδρά στη καρποφορία, επηρεάζοντας την ωσμωτική πίεση.
2. Στη συγκέντρωση ορισμένων ιόντων, τα οποία μπορεί να είναι τοξικά στα φυτά ή να επιδρούν δυσμενώς στη ποιότητα της καρποφορίας.
3. Στη συγκέντρωση των κατιόντων εκείνων, που μπορεί να προκαλέσουν αποκροκκίδωση της αργίλου στο έδαφος και να προξενήσουν έτσι βλάβη στη δομή του εδάφους και εξαιτίας αυτής μείωση της περατότητας και δυνατότητας αερισμού του.

Οι ποιοτικές απαιτήσεις αρδευτικού νερού ποικίλουν ανάμεσα στα είδη των καλλιεργειών, τους τύπους των εδαφών, τη στράγγισή τους και το κλίμα. Έτσι δεν υπάρχουν αυστηρά σταθερότυπα και ένα νερό χαμηλής ποιότητας για την άρδευση μιας περιοχής μπορεί να είναι καλής ποιότητας για μια άλλη περιοχή. Από την άλλη μεριά, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές αντιμετώπισης των προβλημάτων από τη χρήση αλατούχου νερού π.χ. καλλιέργεια σε αυλάκια και μάλιστα πλευρικά και όχι στη κορυφή τους, ώστε τα φυτά να βρίσκονται μακριά από τη ζώνη συγκέντρωσης των αλάτων, ανάπτυξη καλλιεργειών ανθεκτικών σε υψηλές περιεκτικότητες αλάτων στο νερό, εφαρμογή της στάγδην άρδευσης κλπ. **Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας όμως είναι η στράγγιση των εδαφών.**

Εάν ένα έδαφος στραγγίζεται και αερίζεται καλά, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδυσή του νερό υψηλής αλατότητας. Κακή στράγγιση επιτρέπει τη συγκέντρωση αλάτων στη ριζική ζώνη όπου σχηματίζεται μια τοξική ζώνη. Επιτακτική είναι η ανάγκη διατήρησης ενός ισοζυγίου αλάτων, όπου το TDS που εισάγεται ετήσια στην περιοχή με το νερό της άρδευσης, πρέπει να υπολείπεται του συνόλου των αλάτων, που απομακρύνονται με το στραγγιζόμενο νερό. Ο Ayer (1975), ανέπτυξε μια σειρά βασικών κριτηρίων για την ερμηνεία της επίδρασης της ποιότητας του νερού πάνω στην άρδευση (Πίνακας 36). Πέρα από το TDS, το SAR ή **Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου**, είναι ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια για την ποιότητα του αρδευτικού εδάφους διότι αποτελεί ένας πολύ καλός δείκτης αναφορικά με την υδροπερατότητα του εδάφους (σημαντική ή όχι) καθώς επίσης και για την δυνατότητα επαρκούς αερισμού και καλής στράγγισης των εδαφών που αρδεύονται. Το SAR υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SAR = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2}$$

Οι απαιτήσεις στο χημισμό του νερού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, κυμαίνονται ανάλογα με τις απαιτήσεις των φυτών, καθώς επίσης και με την ποιότητα του εδάφους. Από τα ιόντα που υπάρχουν συνήθως στο νερό το Cl^- , SO_4^{2-} και το Na^+ είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα. Η συνολική περιεκτικότητα σε αλακάλεα (Na^+ , K^+) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 30 mval% του αθροίσματος των κατιόντων ($Na^+ + K^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}$). Επίσης σε πολλά φυτά το βόριο δρα ως τοξικό και σε ευπαθή φυτά η περιεκτικότητα σε HBO_3 δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,5mg/l.

Γενικά αντί της οριοθέτησης της αλατότητας στο αρδευτικό νερό, η ποιότητα του τελευταίου περιγράφεται με τα όρια της ειδικής αγωγιμότητας (που εκφράζει το TDS), της περιεκτικότητας Na και B και τέλος με το SAR (βλ.Σχ. 43).

Νερό αρδεύσεων που περιέχει μεγάλη ποσότητα Na, ως μέρος της συγκέντρωσης των κατιόντων μπορεί να εκτοπίσει τα κατιόντα Ca και Mg από τα αργιλικά ορυκτά του εδάφους, τα οποία αντικαθίστανται από Na (φαινόμενο ιοντοανταλλαγής). Εδάφη κορεσμένα σε Na χάνουν την διαπερατότητά τους, έτσι ώστε να ελαττώνεται η

γονιμότητά τους και η δυνατότητα καλλιέργειας τους. Το φαινόμενο αυτό είναι όμως αντιστρεπτό, έτσι ώστε με την προσθήκη μιας κατάλληλης ουσίας, συνήθως γύψου, μπορούν τα εδάφη να επαναποκτήσουν τις φυσικές ιδιότητες και την γονιμότητά τους.

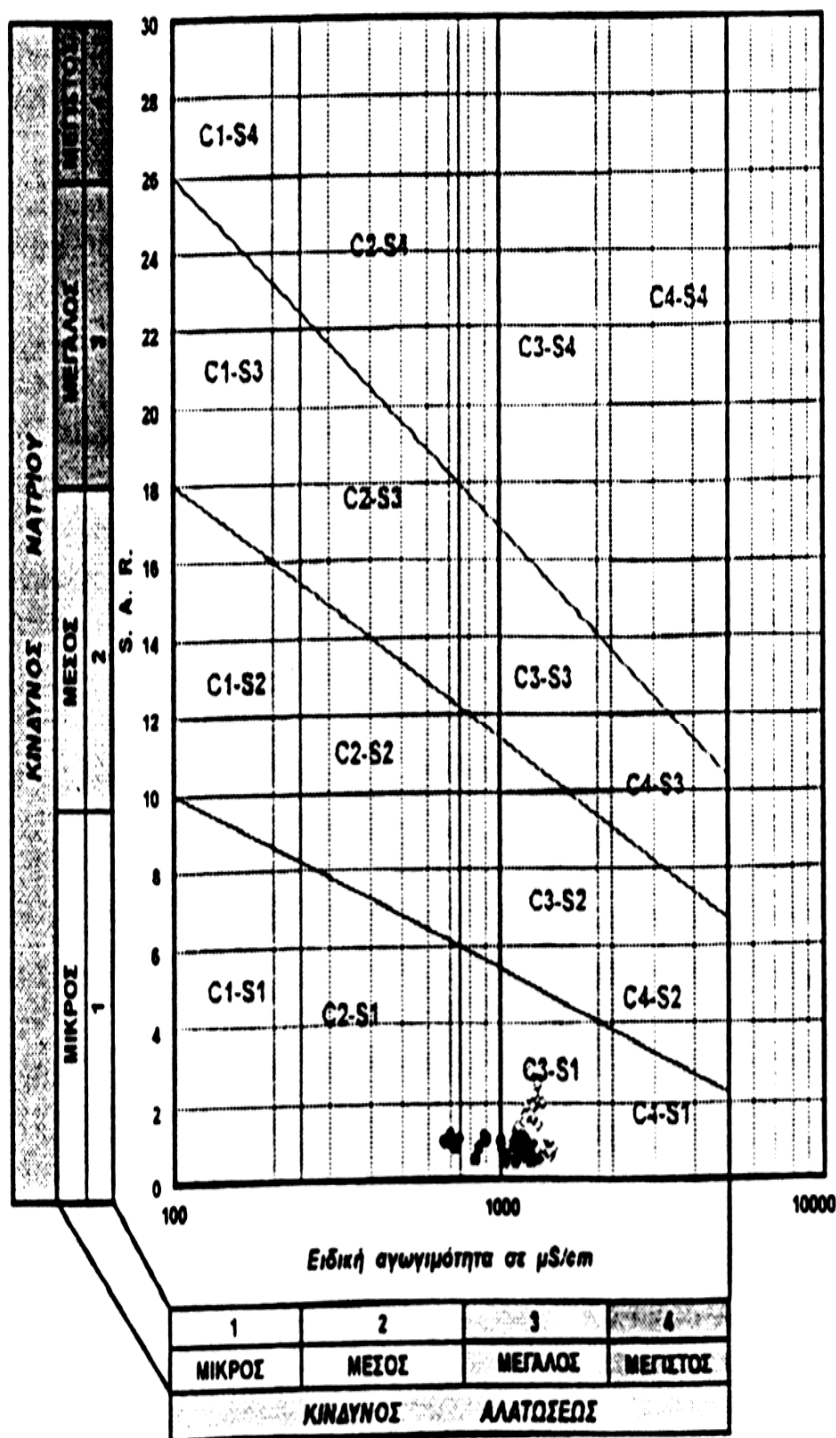
Το Na όπως προαναφέρθηκε δημιουργεί αποκροκκίδωση του εδάφους – κατά την ανταλλαγή ιόντων του με ιόντα Ca – και έτσι προκαλεί μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Εδάφη πλούσια σε Na, ονομάζονται αλκαλικά μεν όταν το ανιόν που επικρατεί είναι η ανθρακική ρίζα, αλατούχα δε όταν το ανιόν που επικρατεί είναι τι χλώριο ή η θειϊκή ρίζα. Κανονικά και τα δύο είδη εδαφών όταν είναι κορεσμένα σε Na είναι χαμηλής ή και μηδενικής παραγωγικότητας.

Το B σε πολύ μικρές ποσότητες είναι απαραίτητο για την κανονική ανάπτυξη όλων των φυτών, αλλά σε μεγαλύτερες ποσότητες γίνεται τοξικό.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και με την βοήθεια του Σχ. 43 μπορούμε να πούμε ότι τα μελετούμενα ύδατα ανήκουν στις κατηγορίες C2S1, C2S2 & C3S1. Ειδικότερα οι δύο πρώτες κατηγορίες αναφέρονται σε νερά με ποιότητα μέτρια έως καλή που μπορεί να χρησιμοποιούνται με σχετική προφύλαξη σε μη καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη και για ευαίσθητα φυτά. Η τρίτη κατηγορία αναφέρεται σε νερά με μέτρια ποιότητα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν εάν το έδαφος αποστραγγίζεται καλά ή εάν προστίθεται γύψος σε αυτό.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 36 και όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, τα νερά των συστημάτων της περιοχής μελέτης απαιτείται να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία και για την χρήση τους ως αρδευτικά κυρίως σε σχέση με την συνολική αλατότητά τους (TDS) αλλά και με τις συγκεντρώσεις των HCO_3 . Σε γενικές γραμμές τα συγκεκριμένα νερά μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλα για άρδευση.

Επομένως δικαιολογείται και από πρακτική άποψη το γεγονός της κατασκευής συγκεκριμένου χωμάτινου φράγματος στην περιοχή μελέτης από τους κατοίκους για την επιπλέον άρδευση 1000 περίπου στρεμμάτων, δεδομένου ότι τα νερά της περιοχής είναι κατάλληλα για τέτοια χρήση, όπως τονίσαμε παραπάνω και για το οποίο φράγμα θα αναφερθούμε εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας αυτής,



Σχ. 43. Ενδεικτικό Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών κατά Richards, 1954 (Καλλέργης Γ., 1986).

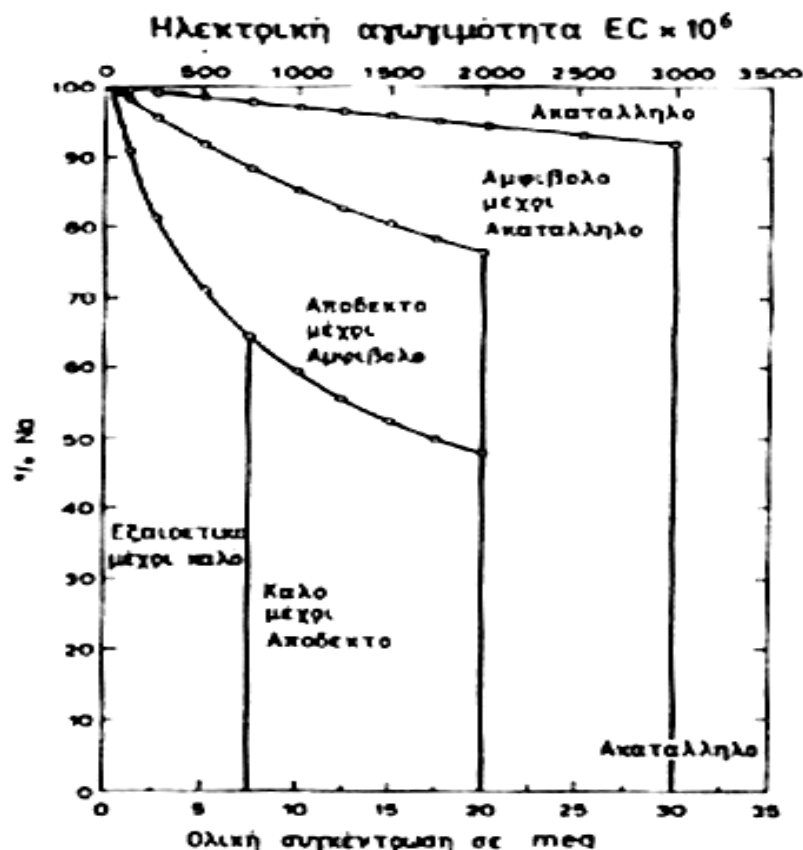
ΠΙΝΑΚΑΣ 36

Επίδραση της ποιότητας του αρδευτικού νερού, στη γεωργική απόδοση (Ayers, 1975).

Προβλήματα και ποιοτικές παράμετροι	Κανένα πρόβλημα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα
<u>Επίδραση αλατιότητας στην καρποφορία</u>			
TDS (mg/l)	< 480	480-1920	> 1920
<u>Αποκροχύδωση εδάφους και μείωση Κ και κατείσδυσης</u>			
TDS (mg/l)	> 320	< 320	< 128
Διορθωμένο SAR	< 6	6-9	> 9
<u>Ειδική τοξικότητα ιόντων</u>			
Βόριο (mg/l)	< 0,5	0,5-2	2-10
Νάτριο, σαν διορθωμένο SAR αν το νερό απορροφείται μόνο από τις ρίζες (mg/l)	< 3	3-9	> 9
Νάτριο αν το νερό απορροφείται και από τα φύλλα (mg/l)	< 69	> 69	-
Χλώριο αν το νερό απορροφείται μόνο από τις ρίζες (mg/l)	< 142	142-355	> 355
Χλώριο αν το νερό απορροφείται και από τα φύλλα (mg/l)	< 106	> 106	-
<u>Επίδραση της ποιότητας</u>			
Ίαζωτο (πλεόνασμα Ν μπορεί να επιβραδύνει τη συγκομιδή· το έλλειμμα επηρεάζει την ποιότητα ή ποσότητα της παραγωγής των ζαχαρότευτλων, λεμονιών, σταφυλιών, αβοκάντο, βερύκοκκων κλπ).	< 5	5-30	> 30
Δισανθρακικά σαν HCO ₃ (όταν η άρδευση γίνεται με καταλωνισμό (sprinklers) τα οξυανθρακικά μπορούν να προκαλέσουν απόθεση ανθρακικών στα φρούτα και τα φύλλα)	< 90	90-520	> 520

Μια άλλη ταξινόμηση βασισμένη στο SAR και την αγωγιμότητα προτάθηκε σε διάγραμμα (Σχ. 44 & Πίν. 37) από το U.S. Salinity Laboratory (1954).

Πέρα από το νάτριο, το βόριο και το TDS, υπάρχουν και άλλα ιόντα που οι υπερβολικές τους συγκεντρώσεις στο αρδευτικό νερό μπορεί να αποβούν τοξικές για τα φυτά. Στον Πίν. 38 παρουσιάζονται μερικά ιόντα με τα συνιστώμενα ανώτατα όρια συγκέντρωσής τους, σε mg/l στο αρδευτικό νερό (Bouwer, 1978).



Σχ. 44. Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικού νερού κατά Wilcox 1955 (Καλλέργης Γ., 1986).

ΠΙΝΑΚΑΣ 37

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (κατά WILCOX)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ		
	Ειδική αγωγιμότητα σε $\mu S/cm$	Βαθμός Αλκαλίνωσης	Χλωριόντα σε mg/l
1. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ	≤ 250	≤ 20	≤ 4
2. ΚΑΛΑ	250-750	20-40	4-7
3. ΕΠΙΤΡΕΠΤΑ ΜΕΝΑ	750-2000	40-60	7-12
4. ΑΜΦΙΒΟΛΑ	2000-3000	60-80	12-20
5. ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΑ	> 3000	> 80	> 20

Εάν κάνουμε χρήση του παραπάνω Πίνακα για την περιοχή μελέτης εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι τα νερά και των δύο συστημάτων αναφορικά με την ειδική αγωγιμότητα ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία, ενώ όσον αφορά τα χλωριόντα κατατάσσονται στην πρώτη κατηγορία με το νερό του Q2 ασφαλώς να υπερτερεί ποιοτικά συγκριτικά με το Q1, δεδομένου ότι το τελευταίο είναι ιδιαίτερα φορτισμένο σε άλατα όπως έχουμε επισημάνει. Επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ποιότητα (δυνατότητα στράγγισης) των εδαφών που πρόκειται να φιλοξενήσουν τις ποσότητες

των συγκεκριμένων υδάτων. Μια καλή ένδειξη της δυνατότητας αυτής αποτελεί ο δείκτης S.A.R., τον οποίο έχουμε αναφέρει προηγούμενα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 38

Συνιστώμενα ανώτατα όρια ιχνοστοιχείων στο αρδευτικό νερό (mg/l) κατά U.S. N.A. Sc.-U.S.N.A. Eng. (1972).

Στοιχείο	Μόνιμη άρδευση όλων των εδαφών	Άρδευση μέχρι 20 χρόνια λεπτόκοκκων, ουδέτερων ως αλκαλικών εδαφών (pH 6-8,5)
Αργίλιο	5	20
Αρσενικό	0,1	2
Βηρύλλιο	0,1	0,5
Βόριο-Ευαίσθητα καρποφόρα	0,75	2
" -ημνανθεκτικά "	1	-
" -ανθεκτικά "	2	-
Κάδμιο	0,01	0,05
Χρώμιο	0,1	1
Κοβάλτιο	0,05	5
Χαλκός	0,2	5
Φθόριο	1	15
Σίδηρος	5	20
Μόλυβδος	5	10
Λίθιο (κίτρα)	0,075	0,075
" (άλλα καρποφόρα)	2,5	2,5
Μαγγάνιο	0,2	10
Μολυβδαίνιο	0,01	0,05 (μόνο για όξινα εδάφη)
Νικέλιο	0,2	2
Σελήνιο	0,02	0,02
Βανάδιο	0,1	1
Ψευδάργυρος	2	10
Ραδιενεργά	όπως και στο πόσιμο νερό	

I. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Καθώς το υπόγειο νερό μετακινείται στο υπέδαφος ή στο έδαφος, τείνει να αναπτύξει ισορροπία με το περιβάλλον του, αντιδρώντας χημικά με αυτό.

Αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου και απελευθέρωση του διαλυμένου CO₂. Ο διαλυμένος Fe⁺² οξειδώνεται, όταν έρχεται σε επαφή με τον αέρα και αποτίθεται σε κατάλληλο pH, σαν υδροξείδιο του τρισθενούς Fe (Hem, 1962).

Το παραπάνω φαινόμενο βοηθά σημαντικά στην εξήγηση της παρουσίας και δημιουργίας ανθρακικών αλάτων στους πήλινους σωλήνες. Το γεγονός ότι οι σωλήνες αυτοί είναι σχεδόν τοποθετημένοι στην επιφάνεια βοηθά περισσότερο και διευκολύνει την παραπάνω διαφυγή αερίων (άρα και του CO₂), με συνέπεια την καταβύθιση ιζημάτων. Το Q2 πιθανόν να αντιμετωπίζει τις συνέπειες του συγκεκριμένου φαινομένου, γεγονός που χρειάζεται ίσως περισσότερο διερεύνηση.

Η ανταλλαγή ιόντων συνεπάγεται την αντικατάσταση των ιόντων, που έχουν απορροφηθεί στην επιφάνεια των λεπτόκοκκων στοιχείων του υδροφορέα, από ιόντα που βρίσκονται στο νερό. Για να γίνει η ανταλλαγή αυτή απαιτείται η ύπαρξη κατά κύριο λόγο κατιόντων (Na, Ca, Mg) και είναι γνωστή σαν κατιοντική ανταλλαγή. Η ανταλλαγή αυτή τείνει προς μια ισορροπία ιόντων αλκαλίων και αλκαλικών γαιών, που περιέχονται στο νερό και στον υδροφορέα. Αυτού του είδους η ανταλλαγή γενικά 'μαλακώνει' το νερό (Todd, 1980).

Η παραπάνω ιοντοανταλλαγή σημειώνεται κυρίως στο Q1, σε μικρή όμως έκταση, δεδομένου του επαρκούς χρόνου παραμονής που υφίσταται ανάμεσα στο νερό και τους συγκεκριμένους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Η υψηλή συγκέντρωση Na, όπως προαναφέρθηκε, προκαλεί αποκροκκίδωση του εδάφους. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου δηλαδή επικρατεί το Ca, προκαλείται κροκκίδωση του εδάφους το οποίο έτσι γίνεται πιο περατό.

Με την προσθήκη γύψου στο έδαφος, η βασική ανταλλαγή ιόντων βελτιώνει την υφή και τη στράγγισή του. Συνηθισμένη είναι η οξείδωση ή αναγωγή ιόντων θείου στο νερό, που συχνά οφείλεται στη παρουσία θειοβακτηριδίων. Η παρουσία H₂S στο νερό, οφείλεται συχνά στις πιο πάνω αναγωγικές δράσεις.

Γενικά, οι μεταβολές της ποιότητας του νερού είναι πιο συνηθισμένες στους αβαθείς υδροφόρους ορίζοντες, όπου οι εποχικές διακυμάνσεις εισροών και εκροών προκαλούν διακυμάνσεις της αλατότητας. Το συγκεκριμένο γεγονός, από όλα όσα έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα για την ποιότητα των νερών των δύο συστημάτων, φαίνεται να επαληθεύεται σε μεγάλο βαθμό μέσω της ερμηνείας των χημικών αναλύσεων που έχουμε πραγματοποιήσει.

I.A. Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Μεταβολές της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια της γης, δημιουργούν ημερήσιες και ετήσιες περιοδικότητες θερμοκρασιακής μεταβολής στο υπέδαφος.

Οι θερμομονωτικές ιδιότητες του φλοιού της γης μετριάζουν πολύ σύντομα τις μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους, με αποτέλεσμα μόνο τα υπόγεια νερά μικρού βάθους να παρουσιάζουν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας τους (Heath, 1964). Σε αντίθεση με τις μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας των επιφανειακών νερών, ιδιαίτερα δε τις εποχιακές (με εξαίρεση τις τροπικές περιοχές), οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμένουν

σχετικά σταθερές, πράγμα που είναι βασικό πλεονέκτημα για τη χρήση του υπόγειου νερού τόσο για πόση όσο και για βιομηχανική χρήση.

Δεχόμενοι ότι η θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους είναι μια ημιτονοειδής συνάρτηση του χρόνου η θερμοκρασία T_z σε βάθος Z δίνεται από τη παρακάτω σχέση (Todd, 1980):

$$T_z = T_o + A_e^{-Z\sqrt{\pi/\alpha\tau}} * \eta\mu(2\pi/\tau\alpha - Z\sqrt{\pi/\alpha\tau})$$

Όπου T_o η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους,

A το εύρος της διακύμανσης της θερμοκρασίας,

τ η περίοδος της διακύμανσης (ένας χρόνος ή μια μέρα),

α η ικανότητα θερμικής διάχυσης του υλικού του υδροφορέα (περίπου 0,005 cm²/sec) και

t ο χρόνος.

Το βάθος της σχετικά ομοιόμορφης θερμοκρασίας είναι περίπου 10μ. στις τροπικές περιοχές και αυξάνει σε 20μ. στις πολικές περιοχές (White et al., 1963), ενώ είναι δυνατή η πρόκληση τοπικών αποκλίσεων λόγω της φύσης των πετρωμάτων, του υψομέτρου, των βροχοπτώσεων, της νεφοκάλυψης και των ανέμων. Η ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού, μπορεί να έχει σημαντική επίδραση πάνω στην κατανομή των θερμοκρασιών στο υπέδαφος. Σε μερικές περιπτώσεις (ύπαρξη επαρκών στοιχείων) είναι δυνατός ο υπολογισμός της ταχύτητας ροής από μετρήσεις θερμοκρασίας, ακόμη δε και ο καθορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφόρου, από το συνδυασμό των μετρήσεων στάθμης και θερμοκρασίας (Schneider 1962, Stallman 1963).

Η διαφορά ανάμεσα στην ετήσια πορεία της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους και του υπόγειου νερού, είναι μεγαλύτερη κάτω από αποψιλωμένες περιοχές. Κάτω από την ζώνη της επιφανειακής επίδρασης, η θερμοκρασία του υπόγειου νερού αυξάνει περίπου κατά 2,9 °C ανά 100μ. βάθους, σύμφωνα με τη γεωθερμική βαθμίδα του φλοιού της γης.

Το υπόγειο νερό που αντλείται από βαθιά πηγάδια, είναι σημαντικά πιο ζεστό από το υπόγειο νερό αβαθών υδροφόρων. Έχει αναφερθεί (Todd, 1980), ότι σε βάθος 10 – 20μ. η θερμοκρασία του υπόγειου νερού είναι περίπου 1 -2 °C υψηλότερη από την τοπική μέση ετήσια θερμοκρασία. Οι ακραίες θερμοκρασίες του υπόγειου νερού μπορεί να κυμαίνονται από υψηλότερες των 100 °C, στις γεωθερμικές περιοχές και στο υπέρθερμο νερό που εξέρχεται από τους geysers, μέχρι χαμηλότερες των 0 °C.

16. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Ή ΤΗΣ ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΝΑΤ ΣΤΗΝ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ & ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην αντίστοιχη παράγραφο που αναφέρεται στην κατασκευή των τούννελ, τονίσαμε ότι ανοίγονται πηγάδια σε ορισμένες αποστάσεις για την εκχωμάτωση και την εξασφάλιση του απαιτούμενου οξυγόνου στους υπόγεια εργαζόμενους κατασκευαστές τους.

Τα υλικά εκχωμάτωσης ή καθαρισμού των τούννελ αποτίθενται κατά κανόνα γύρω από τα στόμια των πηγαδιών και σχηματίζουν **κρατηροειδείς λόφους**. Στην περιοχή έρευνας, μόνο γύρω από το στόμιο ενός πηγαδιού του μεγάλου κανάτ της Ν. Ζίχνης διακρίνεται ακόμα και σήμερα μια τέτοια μορφολογία.

Μέχρι την απελευθέρωση της περιοχής από τους Τούρκους οι ζώνες υδρομάστευσης των κανάτ βρίσκονταν σε μη καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Η εγκατάσταση των προσφύγων μετά το 1922 στην περιοχή δημιούργησε την επιτακτική ανάγκη εξεύρεσης νέας καλλιεργήσιμης γης, με αποτέλεσμα να αρχίσει η εκμετάλλευση τμημάτων των ξηρών κοιλάδων κατά μήκος των οποίων, όπως προαναφέραμε, είχαν κατασκευαστεί τα κανάτ της περιοχής.

Η άγνοια της σκοπιμότητας των ανοικτών πηγαδιών από τους νέους κατοίκους οδήγησε στην κάλυψή τους και στην εξαφάνιση των γύρω από τα στόμια τους κρατηροειδών λόφων.

Μετά την δεκαετία του 1950. που καθιερώθηκε στην περιοχή η μηχανική καλλιέργεια, η χρησιμοποίηση μεγάλων αγροτικών μηχανημάτων οδήγησε στην κατά καιρούς αιφνίδια υποχώρηση του εδάφους καλλιεργούμενων εκτάσεων και στο σχηματισμό επιφανειακών εγκοίλων με διάμετρο 2-3μ. και βάθος 0,5-1,5μ. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί το επιφανειακό έγκοιλο που σχηματίστηκε στην δυτική αναβαθμίδα του ρέματος Πρώτης, ανατολικά από τον οικισμό Αγγίστας (**Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3, Φωτ. 10**). Το παραπάνω έγκοιλο σχηματίστηκε το 1985 όταν κατά την άροση υποχώρησαν τα τοιχώματα του πηγαδιού του υποκείμενου κανάτ και ταυτόχρονα ακινητοποιήθηκε το αγροτικό μηχάνημα.



Φωτ. 10. Το επιφανειακό έγκοιλο που σχηματίστηκε το 1985 όταν υποχώρησαν τα τοιχώματα του υποκείμενου ανατολικού Qanat Αγγίστας (Βαβλιάκης Ε., 1989).

Το γεγονός όμως ότι, παρά την δημιουργία του εγκοίλου δεν σταμάτησε η παροχή των βρυσών που τροφοδοτούσε το κανάτ, μας επιτρέπει να δεχτούμε ότι στο σημείο αυτό η μεταφορά του νερού γίνεται με πέτρινο ή πήλινο αγωγό.

Ιδιαίτερα εντυπωσιακή είναι η περίπτωση σχηματισμού του επιφανειακού εγκοίλου που σχηματίστηκε το 1957 στην δυτική αναβαθμίδα του ρέματος Μεσορράχης και στο διοικητικό όριο μεταξύ των κοινοτήτων Μεσορράχης και Δήμητρας. Αιτία του σχηματισμού του ήταν το βάρος λεύκας που είχε αναπτυχθεί πάνω από το στόμιο πηγαδιού του υποκείμενου κανάτ. Αρχικά το πηγάδι του κανάτ ήταν κλειστό με πέτρινη πλάκα που καλυπτόταν με έδαφος. Πάνω ακριβώς από την πλάκα, αναπτύχθηκε λεύκα ύψους 6-7μ. περίπου. Εξαιτίας του βάρους αυτής υποχώρησαν τα υγραθέντα- εξαιτίας των πλημμύρων του 1957- τοιχώματα του πηγαδιού. Πάνω από το έδαφος παρέμεινε η κορυφή του δέντρου ύψους 2μ. περίπου.

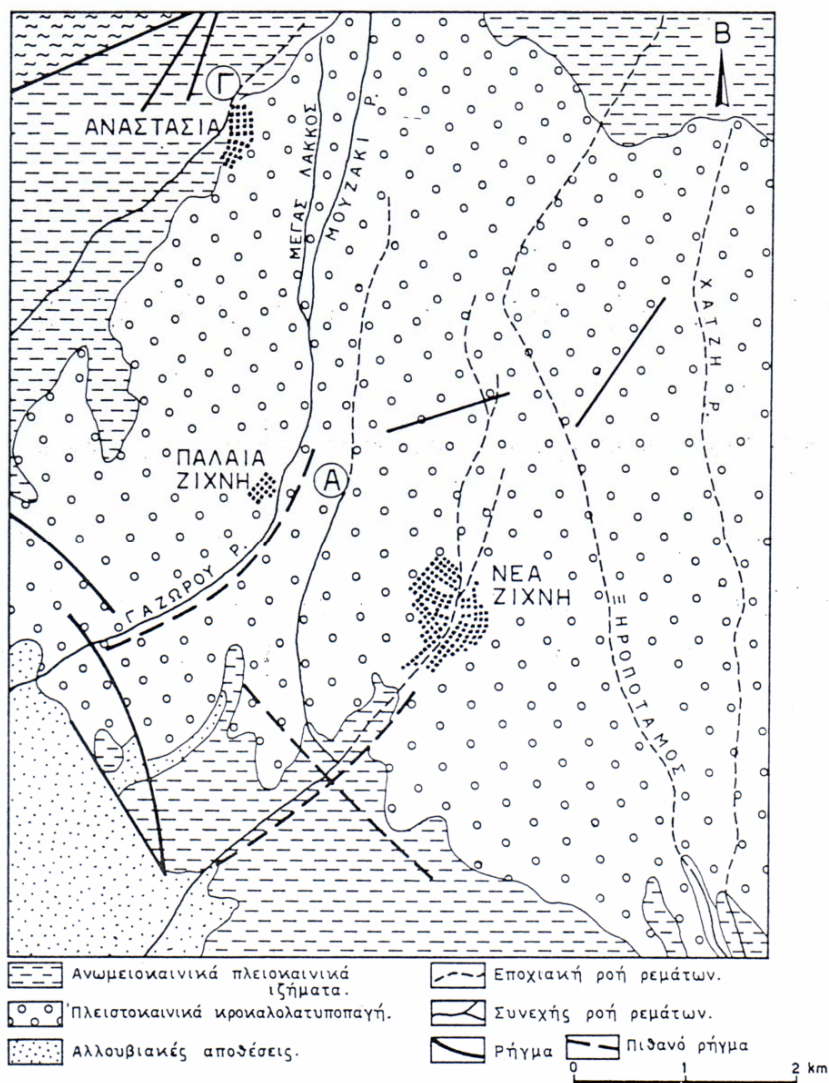
Για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε για το επιφανειακό έγκοιλο της Αγγίστας δεν σταμάτησε η παροχή του κανάτ της Μεσορράχης παρά την υποχώρηση του πηγαδιού κάτω από την λεύκα.

Αν και η ένταση των μορφολογικών μεταβολών που συνδέονται με την ύπαρξη των κανάτ στην περιοχή έρευνας είναι περιορισμένη, τα παραδείγματα που αναφέραμε παραπάνω αποδεικνύουν ότι αγνοώντας κανείς την ύπαρξη και τον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας τους, δεν είναι δυνατόν να εξηγηθούν τέτοια μορφολογικά δεδομένα τουλάχιστον σε μη καρστικές περιοχές.

Με την λειτουργία ή την αδρανοποίηση των κανάτ συνδέεται επίσης σε πολλές περιπτώσεις η υδρογραφία της περιοχής έρευνας. Όπως φαίνεται και στο **Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3**, η ροή νερού στους μεγαλύτερους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου άλλοτε είναι συνεχής και άλλοτε εποχιακή.

Σύμφωνα με τον Βαβλιάκη (1981) ο τρόπος ροής στους κλάδους των δικτύων του Μενοικίου καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, όπως από την τάξη του κλάδου, την υδρολιθολογία της λεκάνης απορροής, την τεκτονική και τις κλιματικές συνθήκες.

Στην περιοχή έρευνας όμως η συνεχής ροή ορισμένων κλάδων δεν μπορεί να δικαιολογηθεί με βάση τους παραπάνω παράγοντες. Συγκεκριμένα ο κλάδος δυτικά της Ν. Ζίχνης που έχει αναπτυχθεί σε πλειστοκαινικά κροκαλολατυποπαγή με διεύθυνση Β-Ν, μέχρι το σημείο Α έχει εποχιακή ροή, ενώ νότια από αυτό αποκτά συνεχή ροή (**Σχ. 45**). Η αλλαγή του τρόπου ροής στο σημείο αυτό δεν δικαιολογείται ούτε από την ύπαρξη φυσικής πηγής νερού, αλλά ούτε και από την συμβολή άλλου κλάδου με συνεχή ροή.



Σχ. 45. Η μεταβολή του τρόπου ροής των ρεμάτων στις θέσεις Α & Γ οφείλεται στην αδρανοποίηση συστημάτων Qanat και όχι στα υδρογεωλογικά δεδομένα των λεκανών απορροής τους (Βαβλιάκης Ε., 1989).

Από την επιτόπια μελέτη διαπιστώθηκε, ότι κατά μήκος της κοιλάδας του ρέματος υπάρχουν πήλινοι σωλήνες χωρίς παροχή νερού. Το γεγονός αυτό σημαίνει, ότι στην κοιλάδα αυτή υπάρχει κανάλι που σε κάποια φάση αδρανοποιήθηκε εξαιτίας της επίδρασης κάποιου από τους παράγοντες που περιγράψαμε σε προηγούμενη παράγραφο.

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του ρέματος που διέρχεται από το δυτικό τμήμα του χωριού Αναστασιά (Σχ. 45). Το ρέμα αυτό, που έχει αναπτυχθεί σε **ανωμειοκαινικά-πλειοκαινικά ιζήματα**, μέχρι το σημείο Γ έχει εποχιακή ροή, ενώ νότια από αυτό αποκτά συνεχή. Η μεταβολή του τρόπου ροής και του ρέματος αυτού δεν μπορεί να αποδοθεί σε φυσικά αίτια. Δικαιολογείται όμως από την αδρανοποίηση κανάλι που κατέληγε κάτω από το ιερό της εκκλησίας. Η εκκλησία αυτή είναι κτισμένη στο πυθμένα της κοιλάδας του ρέματος, που μελετήσαμε. Μέχρι την προηγούμενη δεκαετία το κανάλι αυτό τροφοδοτούσε βρύση με εννέα κρουνοί και σημείωνε παροχή μεγαλύτερη από 40 κυβικά την ώρα, που ήταν κτισμένη 40μ. νότια από την εκκλησία. Η διακοπή της παροχής του κανάλι πρέπει να αποδοθεί σε

αποτυχούσα γεώτρηση που έγινε λίγα μέτρα ΒΔ από την εκκλησία. Πιθανόν αποφράχθηκε το κανάτ εξαιτίας των δονήσεων κατά την διάνοιξη της γεώτρησης.

Τα σημεία εμφάνισης της συνεχούς ροής και στις δύο περιπτώσεις που περιγράψαμε, ταυτίζονται με τα τελικά σημεία των ανανεωμένων κοιλάδων των ρεμάτων. Πάνω από τα σημεία αυτά οι κοιλάδες είναι ξηρές που στους πυθμένες τους υπάρχουν αλλουβιακές προσχώσεις. Το νερό των αδρανοποιηθέντων κανάτ διαχέεται στις προσχώσεις αυτές και μόλις φθάσει στο ανώτερο τμήμα των ανανεωμένων κοιλάδων, που στερούνται αντιστοιχών προσχώσεων εξαιτίας της διάβρωσης, εξέρχεται στην επιφάνεια υπό μορφή φυσικής ανάβλυσης. Το γεγονός ότι, το νερό των αδρανοποιηθέντων κανάτ εξέρχεται υπό μορφή φυσικών πηγών και σε θέσεις που το επιτρέπουν οι υδρογεωλογικές συνθήκες καθιστά σχεδόν αδύνατη την διάκριση μεταξύ των πραγματικών φυσικών πηγών και εκείνων που η εμφάνιση τους οφείλεται στην αδρανοποίηση των κανάτ.

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η άγνοια της ύπαρξης αδρανών ή μη κανάτ σε μια περιοχή μπορεί να οδηγήσει τους φυσικογεωγράφους και γεωλόγους σε λανθασμένα συμπεράσματα ή σε επιστημονικά παράδοξα.

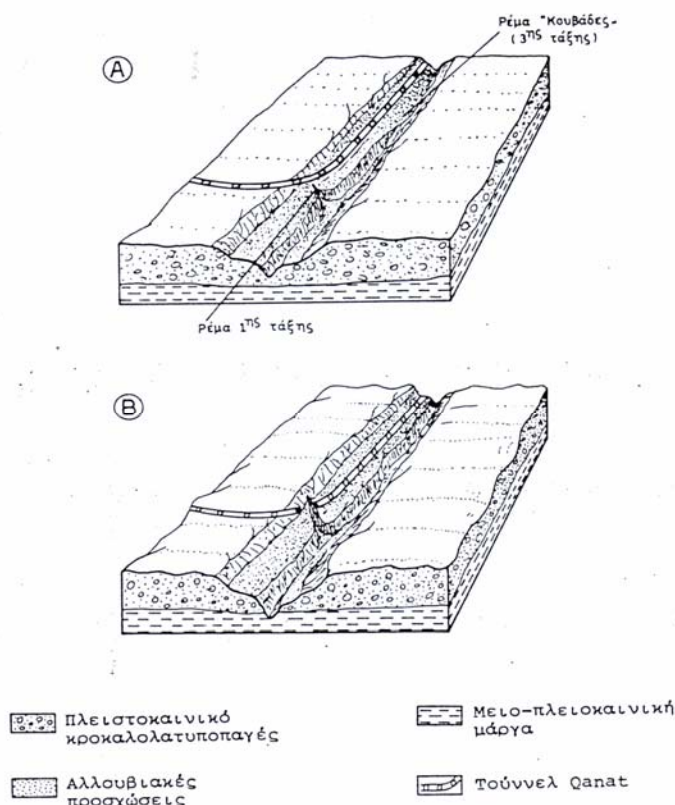
17. ΤΑ ΘΑΝΑΤ ΩΣ ΜΑΡΤΥΡΑΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΑ ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η ταχύτητα γενικά της διάβρωσης, ως γνωστόν, καθορίζεται από την μορφολογία, την πετρογραφία, την τεκτονική και τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής. Από τα τέλη του προηγούμενου αιώνα στους παραπάνω παράγοντες προστέθηκε και ο άνθρωπος, που στην προσπάθειά του να εκμεταλλευτεί κατά το δυνατόν τους φυσικούς πόρους της γης, προκαλεί συνειδητά ή μη άμεσα ή έμμεσα ανησυχητική επιτάχυνση της φυσικής διάβρωσης πολλών περιοχών. Συνεπώς οι τιμές της ταχύτητας της διάβρωσης που προσδιορίζεται σήμερα, στις περισσότερες περιπτώσεις, εκφράζουν το τελικό αποτέλεσμα των φυσικών παραγόντων και των ανθρώπινων επιδράσεων στις επιμέρους περιοχές.

Ο προσδιορισμός της σύγχρονης ταχύτητας διάβρωσης μιας περιοχής απαιτεί μακροχρόνιες και συνήθως δαπανηρές υπαίθριες μετρήσεις και παρατηρήσεις. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις, σύγχρονα ή ιστορικά ανθρώπινα δημιουργήματα αποτελούν ασφαλείς μάρτυρες του προσδιορισμού της.

Στην περιοχή έρευνας, το δυτικό κανάτ που υδροδοτεί το χωριό Αγγίστα (**Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3**), αποτελεί αξιόπιστο μάρτυρα προσδιορισμού της κατά βάθος διάβρωσης κατά την διάρκεια των τελευταίων 30 ετών.

Συγκεκριμένα όπως αναφέραμε σχετικά σε προηγούμενο κεφάλαιο, το 1957 εξαιτίας της διάβρωσης, διεκόπη η συνέχεια του παραπάνω κανάτ στην τοποθεσία ‘Ούγγρος’ και ταυτόχρονα η ύδρευση του χωριού. Το τμήμα του κατεστραμμένου κανάτ αντικαταστάθηκε με μεταλλικό σωλήνα που το μήκος του αντιστοιχεί στο πλάτος κοιλάδας πρώτης τάξης (**Σχ. 46**). Η κοιλάδα αυτή συνδέεται με την τρίτης τάξεως κοιλάδα του ρέματος ‘Κουβάδες’, (**Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3, Σχ. 46**). Το βάθος του κανάτ στο τμήμα αυτό είναι 5,5μ. και έχει κατασκευαστεί στην **επαφή Μειοπλειοκαινικής μάργας και ποταμοχειμάρρειων αποθέσεων**.



Σχ. 46. Τα έντονα φαινόμενα διάβρωσης το Σεπτέμβριο του 1957 προκάλεσαν το σχηματισμό των **Gullies** και την διακοπή της συνέχειας του δυτικού Qanat της Αγγίτας στην τοποθεσία 'Ούγγρος' (Βαβλιάκης Ε., 1989).

Α. Η μορφολογική κατάσταση στην παραπάνω τοποθεσία πριν από το 1957.

Β. Η ίδια μετά το 1957.

Τόσο η κοιλάδα πρώτης τάξης, όσο και η τρίτης χαρακτηρίζονται από το V σχήμα τους, με σχεδόν κατακόρυφες κλιτύες. Πρόκειται στην ουσία για ανανεωμένες κοιλάδες. Η ανανέωση αυτή οφείλεται αφενός μεν σε κατακόρυφες κινήσεις της περιοχής, που σύμφωνα με τον Βαβλιάκη (1981), Βαβλιάκη κ.α. (1984) και Βαβλιάκη κ.α. (1988), στην ευρύτερη περιοχή της Ροδόπης εκδηλώνονται από το Μειόκαινο και συνεχίζονται μέχρι και σήμερα, αφετέρου στην εντατική γεωργική και κτηνοτροφική εκμετάλλευση της περιοχής έρευνας, στην εκβάθυνση και ευθυγράμμιση της κοίτης του ποταμού Αγγίτη και στην αποξήρανση της λίμνης Αχινού.

Κοιλάδες με τα παραπάνω γνωρίσματα, που σχηματίζονται με ιδιαίτερα μεγάλη ταχύτητα σε ιζηματογενείς καλλιεργούμενες εκτάσεις στις ξηρές και ημίξηρες ζώνες της Γης και όπου είναι πολύ συχνή η περιοδική εκδήλωση ισχυρών καταγίδων, είναι γνωστές στην διεθνή βιβλιογραφία ως **Gullies** (Machatssek 1973, Hembel 1971, Emmet 1968, Peterson 1985, Astaras 1984, Brice 1966).

Αν ληφθεί υπόψη, ότι το ανώτερο τμήμα της κοιλάδας πρώτης τάξης μήκους μεγαλύτερο από 12-15μ. και βάθους 6μ. περίπου, σχηματίστηκε από τον Σεπτέμβριο του 1957 μέχρι σήμερα υπολογίζεται μια ετήσια ταχύτητα της κατά βάθος διάβρωσης σε 20cm και μια αύξηση του μήκους της κοιλάδας μεγαλύτερη από 40cm (Σχ. 33).

Το γεγονός, ότι κατά μήκος της κοιλάδας πρώτης τάξεως σχηματίστηκε φυσική και τεχνητή δενδρώδης βλάστηση, μας υποχρεώνει να δεχτούμε ότι αυτό το Gully σήμερα δεν βρίσκεται σε εξέλιξη και συνεπώς ο σχηματισμός του δεν πρέπει να είναι συνεχής αλλά περιοδικός.

Η κύρια αιτία σχηματισμού του μεγαλύτερου από 12μ. τμήματος της κεφαλής αυτής της κοιλάδας ήταν κατά την άποψη μας οι κατακλυσμιαίες βροχοπτώσεις του Σεπτεμβρίου του 1957. σύμφωνα με τον Μπαλαφούτη (1977) η μέση τιμή βροχόπτωσης του Σεπτεμβρίου για την περίοδο 1950-1977 στην ευρύτερη περιοχή κυμαίνεται από 23,38-57,97 mm.

Κατά τον Σεπτέμβριο του 1957 σημειώθηκαν σε ορισμένους σταθμούς της περιοχής έρευνας οι παρακάτω τιμές βροχοπτώσης:

Μετεωρολ. Σταθμός	Υψόμετρο Σταθμού	Ύψος Βροχής
Δήμητρα	30μ.	223,4εκ.
Αλιστράτη	254μ.	151,6εκ.
Δράμα	130μ.	193,4εκ.

Το ιδιαίτερο μεγάλο ύψος των βροχοπτώσεων αυτών για χρονικό διάστημα 3-4 ημερών σε συνδυασμό με την έλλειψη φυσικής ή τεχνητής φυτοκάλυψης κατά την περίοδο εκδήλωσης των βροχών προκάλεσαν μια ασυνήθιστη ταχύτητα διάβρωσης, όπου τα καταστρεπτικά αποτελέσματά της έγιναν άμεσα αντιληπτά στους κατοίκους της περιοχής, από τον περιορισμό της καλλιεργήσιμης έκτασης.

Στην συγκεκριμένη περιοχή, που έχει υψόμετρο 180μ. και αποτελεί τμήμα ξηρής κοιλάδας, κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων του 1957, εξαιτίας του σχηματισμού ενός Gully μειώθηκε η καλλιεργούμενη έκταση κατά 50 τετραγ. μέτρα περίπου. Ανάλογα φαινόμενα σχηματισμού Gullies της ίδιας περιόδου εντοπίστηκαν ΝΔ από το χωριό Μυρίνη, όπου προκάλεσαν επίσης την καταστροφή τμήματος ενός κανάλι, διακοπή της υδροδότησης του χωριού και μείωση της καλλιεργούμενης έκτασης.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι σήμερα μια βροχόπτωση της ίδιας έντασης και διάρκειας κατά την περίοδο Σεπτεμβρίου ή Οκτωβρίου θα προκαλούσε μεγαλύτερης ταχύτητας και έκτασης φαινόμενα σχηματισμού Gullies. Αυτό θα συνέβαινε γιατί η χρησιμοποίηση από την δεκαετία του 1960 μηχανικών γεωργικών μέσων επέτρεψε την καλλιέργεια γης σε τμήματα της περιοχής με μεγάλες υψομετρικές κλίσεις που τα μέχρι το 1960 μέσα εκχέρσωσης και καλλιέργειας δεν την επέτρεπαν.

Τα υλικά της διάβρωσης που προέκυψαν από τον σχηματισμό των Gullies, μεταφέρθηκαν από τους χείμαρρους κατά την διάρκεια των μεγάλης έντασης βροχοπτώσεων στο αλλουβιακό πεδίο του ποταμού Αγγίτη. Το παραπάνω πεδίο αποτελεί την ευφορότερη καλλιεργήσιμη έκταση της περιοχής και η απόθεση των υλικών διάβρωσης σε αυτό κατέστη σε πολλά τμήματά του ακατάλληλη για καλλιέργεια.

Συνεπώς ταυτόχρονα με την μείωση της καλλιεργήσιμης έκτασης εξαιτίας του σχηματισμού των Gullies στην ζώνη διάβρωσης των χειμάρρων και του ποταμού Αγγίτη, είχαμε και ανάλογη μείωση γεωργικής γης στις ζώνες απόθεσής τους.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές, ότι η μακρόχρονη και εντατική γεωργική-κτηνοτροφική εκμετάλλευση που είχε σαν αποτέλεσμα την εξαφάνιση σχεδόν του προστατευτικού, έναντι της διάβρωσης, φυσικού φυτικού καλύμματος από τα ιζηματογενή τμήματα της περιοχής έρευνας, σε συνδυασμό με την πτώση του τοπικού βασικού επιπέδου, εξαιτίας της ευθυγράμμισης της κοίτης του Αγγίτη και της αποξήρανσης της λίμνης του Αχινού, δημιούργησαν τις προϋποθέσεις για να προκαλέσουν οι ασυνήθιστες σε ένταση και διάρκεια βροχοπτώσεις του Σεπτεμβρίου του 1957 τέτοια επιτάχυνση της διάβρωσης, ώστε οι μορφολογικές μεταβολές στην περιοχή να γίνουν άμεσα αντιληπτές από τον άνθρωπο.

Πρέπει να τονιστεί επίσης, ότι οι μέχρι τώρα αναγκαίες για την επιβίωση του ανθρώπου επιδράσεις στο φυσικό περιβάλλον δημιούργησαν τέτοιες συνθήκες, ώστε η περιοχή να κινδυνεύει εξαιτίας της έντονης επιφανειακής και κατά βάθους διάβρωσης, να καταστεί ακατάλληλη ή ασύμφορη για γεωργική εκμετάλλευση, εάν δεν ληφθούν υπόψη τα απαραίτητα προστατευτικά μέτρα.

18. ΤΑ QANAT ΩΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ Η ΕΜΜΕΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Αν εξετάσει κανείς την υδρογραφία της περιοχής διαπιστώνει ότι, αν εξαιρεθούν οι βρύσες που τα κανάτ τροφοδοτούν, **ο αριθμός των φυσικών πηγών είναι περιορισμένος και η παροχή τους πολύ μικρή.**

Η έλλειψη φυσικών πηγών μεγάλης παροχής σε συνδυασμό με τις ξηρές κλιματικές συνθήκες της θερινής περιόδου δικαιολογούν αφενός μεν το μικρό αριθμό αρχαίων ελληνικών ή βυζαντινών πόλεων στην ευρύτερη περιοχή έρευνας, αφετέρου το γεγονός ότι οι γνωστότερες ιστορικά βρίσκονται στις όχθες των ποταμών Αγγίτη και Στρυμώνα ή στην ακτή της ήδη αποξηραθείσας λίμνης του Αχινού (Κερκινίτιδα).

Σύμφωνα με τον Μουτσόπουλο (1986) μετά την κατάκτηση της περιοχής από του Τούρκους (1373-75), κατανεμήθηκε αυτή από τον σουλτάνο στους στρατηγούς που την κατέλαβαν.

Κατά την μακραίωνη παραμονή των κατακτητών δημιουργήθηκαν οι προϋποθέσεις αξιοποίησης της περιοχής με συστήματα Qanat για τους εξής λόγους:

- Η επί πολλούς αιώνες σταθεροποίηση των συνόρων της οθωμανικής αυτοκρατορίας μακριά από την περιοχή απέκλειε τον κίνδυνο εχθρικής κατάληψής της. Συνεπώς η περιοχή ενδεικνύονταν για την κατασκευή μακροπρόθεσμων μεγάλων έργων υποδομής.
- Οι κατακτητές είχαν την δυνατότητα εξεύρεσης ειδικών συνεργείων κατασκευής των κανάτ από τις επίσης κατεχόμενες χώρες της Ασίας αλλά και τον απαιτούμενο αριθμό εργατών (δούλων) για δύσκολη και επικίνδυνη εργασία. Σύμφωνα με τον Troll (1963) η κατασκευή των κανάτ στοίχιζε και στοιχίζει ακόμα και σήμερα την ζωή πολλών ανθρώπων.

19. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ QANAT ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ-ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑΣ

Τα κανάτ έχουν το πλεονέκτημα, έναντι των άλλων υδρομαστευτικών συστημάτων, της μεταφοράς νερού με ελεύθερη ροή σε μεγάλες αποστάσεις και επιθυμητές θέσεις. Η έξοδος του νερού στην επιφάνεια με τα συστήματα αυτά, χωρίς την δαπάνη ενέργειας επιτρέπει την χρησιμοποίησή του και για την άρδευση εκτάσεων. Συνεπώς είναι ιδανικά για την ανάπτυξη της γεωργίας και της κτηνοτροφίας στις περιοχές λειτουργίας τους.

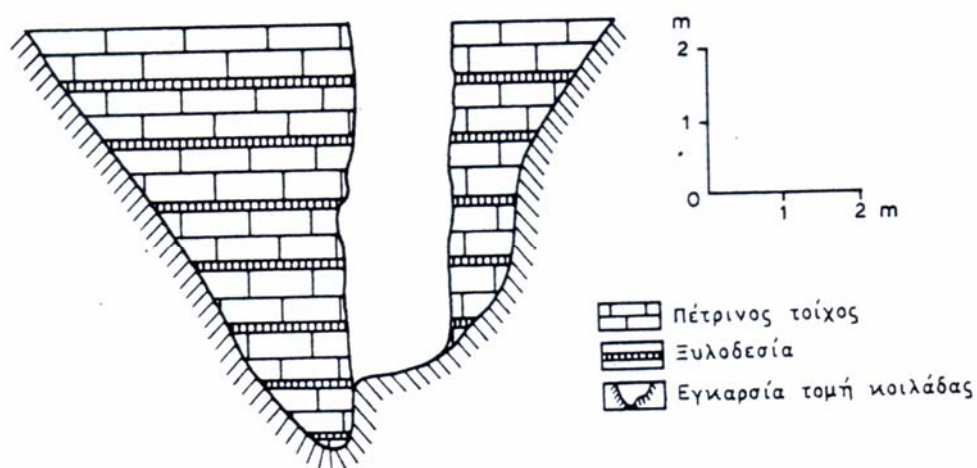
Αν και το νερό των κανάτ της ευρύτερης περιοχής χρησιμοποιείται σήμερα κυρίως για την ύδρευση οικισμών, υπάρχουν και περιπτώσεις που χρησιμοποιείται παράλληλα και για την άρδευση εκτάσεων, όπως στις κοινότητες Μεσορράχης και Αγγίστας.

Στον οικισμό της **Π. Λευκοθέας** διαπιστώθηκε πέτρινο τεχνητό φράγμα και ενεργό σήμερα κανάτ, με το οποίο εξασφαλίζουν το απαιτούμενο νερό για την δημιουργία τεχνητής λίμνης. Η παραπάνω διαπίστωση αποδεικνύει ότι ο σκοπός των κατασκευαστών ήταν και η άρδευση εκτάσεων επί το πλείστον.

Συγκεκριμένα το φράγμα διαπιστώθηκε στην κοιλάδα που διασχίζει το δυτικό τμήμα του οικισμού σε απόσταση 150μ. από τα ερείπια του κοινοτικού συγκροτήματος. Έχει διεύθυνση Δ-Α κάθετη προς τον επιμήκη άξονα της κοιλάδας και μήκος 8μ., πλάτος 1,40μ. και ύψος 5μ. (**Φωτ. 11, Σχ. 47**).



Φωτ. 11. Η θέση του φράγματος στην ανανεωμένη κοιλάδα του οικισμού Π. Λευκοθέας. Στο κάτω αριστερό τμήμα του φράγματος έχει αποτεθεί τραβερτίνης (Βαβλιάκης Ε., 1989).



Σχ. 47. Τομή του κατεστραμμένου εν μέρει σήμερα φράγματος της Π. Λευκοθέας που πρέπει να κατασκευάστηκε κατά την οθωμανική περίοδο (Βαβλιάκης Ε., 1989).

Στις εξωτερικές επιφάνειες του φράγματος υπάρχουν σήμερα κενά με ύψος 20εκ. περίπου που κατά την άποψη μας αντιστοιχούν σε ξυλοδεσιές. Οι τελευταίες θα πρέπει να αποσκοπούσαν στην αύξηση της αντοχής και στην εξασφάλιση ελαστικότητας του φράγματος έναντι υδραυλικών πιέσεων ή σεισμικών δονήσεων.

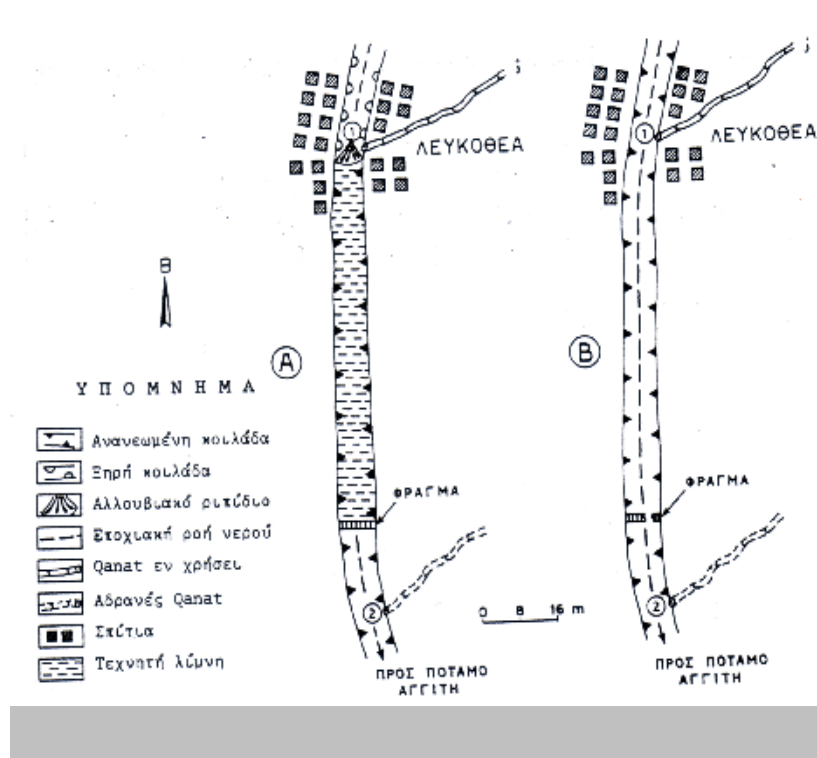
Με βάση το ύψος του φράγματος και την μέση κλίση του πυθμένα της κοιλάδας, που είναι 4% περίπου, το μήκος της λίμνης πρέπει να ήταν 130-140μ. Ο όγκος της λίμνης που σχηματίζονταν βόρεια από την θέση του φράγματος, αν δεχτούμε ότι η υδατική μάζα σχημάτιζε τριγωνικό πρίσμα, ήταν περίπου 3000τμ.

Σύμφωνα με τους Bentz & Martini (1969), για τις ημίξερές περιοχές της Γης οι ανάγκες σε νερό για αρδευόμενες καλλιέργειες είναι 25-30 κυβικά μέτρα ανά στρέμμα περίπου για την ξηρή θερινή περίοδο. Συνεπώς, η χωρητικότητα της τεχνητής λίμνης μπορούσε να εξασφαλίσει το απαιτούμενο νερό για την άρδευση 900-1000 στρεμμάτων και αν ακόμα καθόλη την διάρκεια της θερινής περιόδου δεν τροφοδοτούνταν η λίμνη με νερό. Σήμερα οι ανάγκες σε νερό για ορισμένες καλλιέργειες στην Ελλάδα είναι πολύ μεγαλύτερες.

Αν όμως ληφθεί υπόψη, ότι στην λίμνη κατέληγε κανάλι όπου αυτό εξασφάλιζε το απαιτούμενο νερό για την άρδευση και άλλων επιπλέον 1000 στρεμμάτων.

Ανάλογα τεχνητά φράγματα πέτρινα ή χωμάτινα πρέπει να υπάρχουν και σε άλλες περιοχές της επαρχίας Φυλλίδας που καταστράφηκαν είτε από φυσικούς παράγοντες, είτε από τον άνθρωπο.

Η κατασκευή του φράγματος της Π. Λευκοθέας πρέπει να έγινε μετά τον μεγάλο σεισμό της Δράμας του 1829, γιατί το τελικό σημείο του αδρανούς κανάλι του ίδιου οικισμού βρίσκεται νότια από την θέση του φράγματος (βλ. Σχ. 48). Δεν μπορεί να δικαιολογηθεί η σκοπιμότητα κατασκευής του κεντρικού κανάλι σε απόσταση 150μ. περίπου βόρεια από το επιχωμένο σήμερα κανάλι, εάν το τελευταίο προηγουμένως δεν είχε αδρανοποιηθεί (Φωτ. 12).



Σχ. 48. Α. Η θέση του φράγματος και της τεχνητής λίμνης της Π. Λευκοθέας μέχρι πιθανόν το 1829.

Β. Σημερινή κατάσταση της περιοχής μετά την καταστροφή του φράγματος (Βαβλιάκης Ε., 1989).



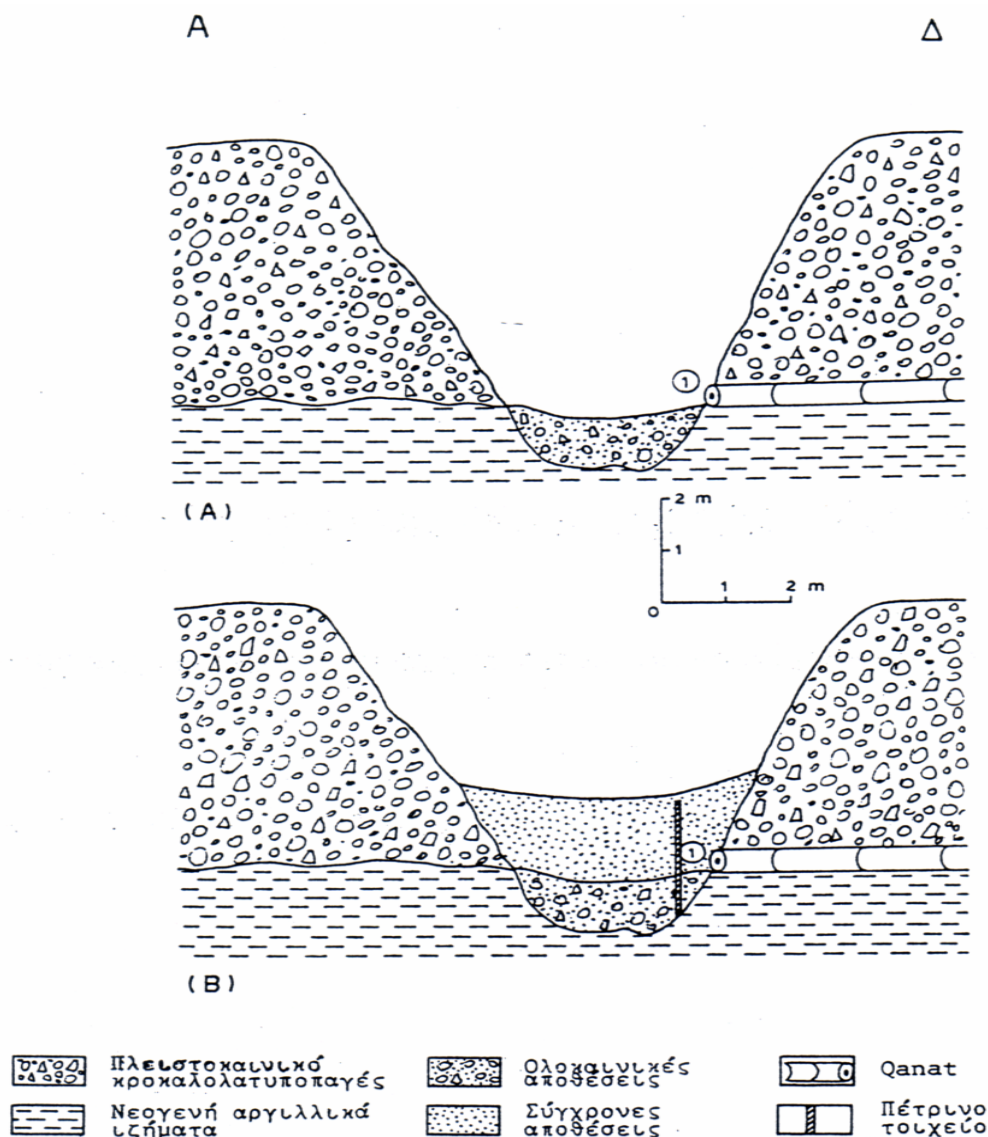
Φωτ. 12. Το τελικό σημείο του αδρανούς Qanat της Π. Λευκοθέας (Βαβλιάκης Ε., 1989).

Ο σχηματισμός της τεχνητής λίμνης της Λευκοθέας στο ανώτερο τμήμα της ανανεωμένης κοιλάδας (Gully) και σε υψόμετρο 150μ. περίπου, δημιούργησε ένα νέο βασικό επίπεδο διάβρωσης ψηλότερα από το αντίστοιχο φυσικό που ήταν και είναι ο Αγγίτης. Συνεπώς ο χώρος της λίμνης, που πριν από την κατασκευή του φράγματος ήταν χώρος διάβρωσης μεταβλήθηκε σε χώρο απόθεσης των υλικών διάβρωσης που προέρχονταν από τα ανάντη του φράγματος τμήματα της λεκάνης απορροής του δυτικού ρέματος της Λευκοθέας. Το τελικό σημείο του κεντρικού κανάτ δεν θα ήταν σήμερα γνωστό, αν οι χρήστες του σε κάποια φάση δεν κατασκεύαζαν πέτρινα τοιχεία γύρω από το τελικό σημείο του, τα οποία δεν επιτρέπουν την διαρροή του νερού μπροστά από αλλουβιακές αποθέσεις.

Το νερό του κανάτ ανάβλυζε από την μεταξύ των τοιχείων και κροκαλολατυποπαγών προσχώσεων επαφή υπό μορφή φυσικής πηγής. Προσπάθεια καλλιέργειας της παραπάνω πηγής, που έγινε το 1985, απεκάλυψε το τελικό σημείο του Q1 σε βάθος 2,5μ. από τον πυθμένα της κοιλάδας καθώς και λουτήρα, μπροστά από αυτό, οθωμανικής τεχνοτροπίας.

Η συνεχής πρόσχωση του τελικού σημείου του Q1 υποχρέωσε, κατά την άποψη μας, σε κάποια φάση τους χρήστες του να προβούν στην καταστροφή του φράγματος. Η άποψη μας αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι το κατεστραμμένο τμήμα δεν βρίσκεται στο κέντρο του φράγματος όπου ασκούνται και οι μεγαλύτερες υδραυλικές πιέσεις. Επίσης οι ευθύγραμμες επιφάνειες του κατεστραμμένου τμήματος δεν συνηγορούν για κατάρρευση του φράγματος από φυσικά αίτια (**Φωτ. 11, Σχ. 49**). Φαινόμενα κατολίσθησης κατά μήκος των κλιτύων της ανανεωμένης κοιλάδας στο χώρο της τεχνητής λίμνης ήταν πιθανόν ένας επιπλέον λόγος καταστροφής του φράγματος.

Μετά την καταστροφή του φράγματος τα ιζήματα της τεχνητής λίμνης διαβρώθηκαν και μεταφέρθηκαν στον ποταμό Αγγίτη.



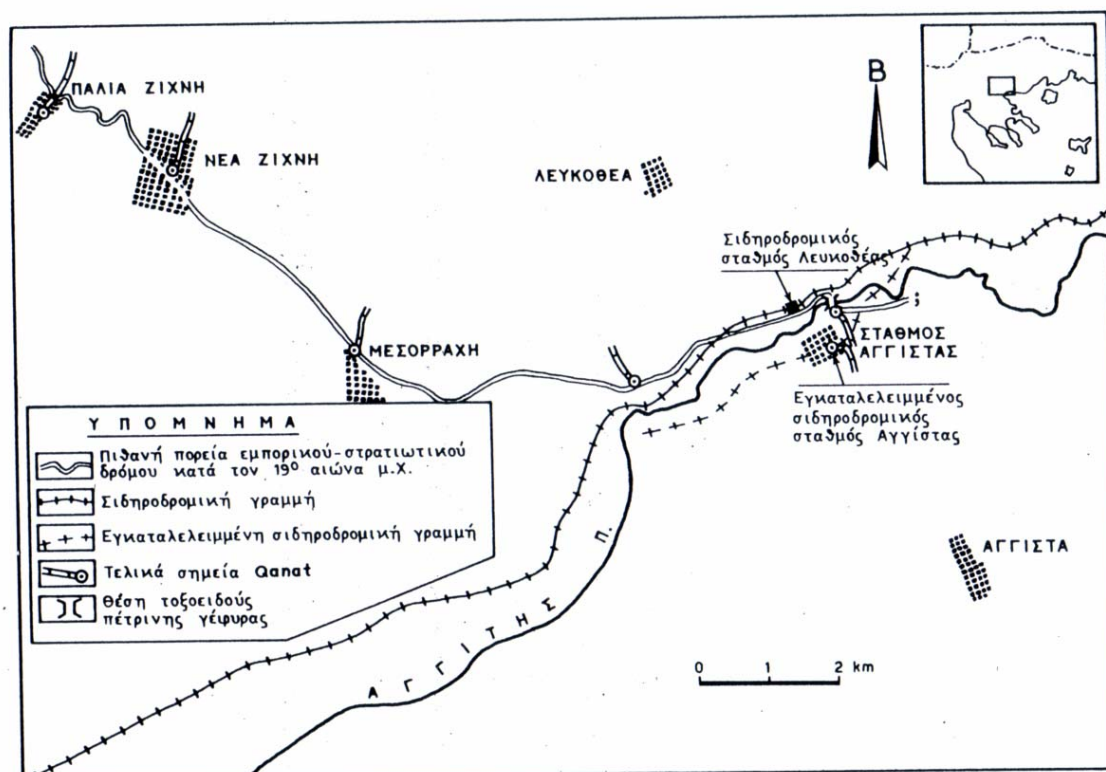
Σχ. 49. Γεωλογική τομή στο τελικό σημείο του Q1 της Π. Λευκοθέας, όπου απεικονίζεται η θέση του Qanat ως προς τον πυθμένα της κοιλάδας πριν (A) και μετά (B) την κατασκευή του φράγματος (Βαβλιάκης Ε., 1989).

Αν δεν είχαν κατασκευαστεί τα τοιχεία μπροστά από το τελικό σημείο του Q1, τότε το νερό θα διασκορπιζόταν στις αλλουβιακές προσχώσεις και θα εξέρχονταν στα ψηλότερα σημεία του πυθμένα της ανανεωμένης κοιλάδας, όπου εξαιτίας της σύγχρονης διάβρωσης δεν υπάρχουν αντίστοιχες προσχώσεις.

Η πρόσχωση του κεντρικού κανάτ της Π. Λευκοθέας αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση έμμεσης ανθρωπογενούς επίδρασης για την εμφάνιση ή και την ενεργοποίηση ακόμα των φυσικογεωγραφικών παραγόντων της περιοχής.

20. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ QANAT ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΚΑΙ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στην περιοχή έρευνας τελικά σημεία των κανάτ εντοπίζονται όχι μόνο σε οικισμούς οι καλλιεργούμενες εκτάσεις αλλά και κατά μήκος του δρόμου που συνέδεε άλλοτε την πόλη των Σερρών με αυτή της Καβάλας. Όπως διαπιστώνεται και από το **Σχήμα 50**, στο τμήμα αυτό του δρόμου της περιοχής έρευνας, τα τελικά σημεία των κανάτ εντοπίζονται ανά 3 μέχρι 6 χλμ. περίπου. Η σκοπιμότητα κατασκευής των κανάτ ανά ορισμένη απόσταση κατά μήκος των κεντρικών δρόμων θα μπορούσε να δικαιολογηθεί, αν ληφθούν υπόψη τα τότε μέσα διακίνησης προϊόντων και πληθυσμού.



Σχ. 50. Τα συστήματα Qanat της περιοχής μελέτης επέδρασαν αποφασιστικά στην ανάπτυξη του σιδηροδρομικού δικτύου κατά την διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, διότι εξασφάλιζαν νερό σε επιθυμητές θέσεις (Βαβλιάκης Ε., 1989).

Είναι γνωστό, ότι μέχρι την χρησιμοποίηση της ατμομηχανής η διακίνηση προϊόντων και προσωπικού γίνονταν με ζώαμαξες. Η ασφαλής όμως και γρήγορη διακίνησή τους απαιτούσε σε ορισμένες αποστάσεις την ύπαρξη επαρκούς και καθαρού νερού.

Οι φυσικές πηγές νερού της περιοχής έρευνας ούτε σε επιθυμητές αποστάσεις βρίσκονται αλλά ούτε και η παροχή τους μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες των διακινούμενων ζώων και ιδιαίτερα κατά τις μετακινήσεις στρατευμάτων κατά την θερινή περίοδο. Συνεπώς μόνο τα κανάτ μπορούσαν να εξασφαλίσουν το απαιτούμενο νερό σε επιθυμητές αποστάσεις, ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί ένας δρόμος για στρατιωτικούς και εμπορικούς σκοπούς.

Η διέλευση επίσης της ατμομηχανής από την περιοχή έρευνας θα ήταν ίσως πολύ δύσκολη, χωρίς την συμβολή των κανάτ.

Ο ανεφοδιασμός των ατμομηχανών σε νερό, όπως είναι γνωστό πρέπει να γίνεται ανά 60-80χλμ. Την βασική αυτή προϋπόθεση για την διέλευση της ατμομηχανής από την περιοχή έρευνας την εξασφάλιζαν και πάλι τα κανάτ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το κανάτ Σ.Σ. Αγγίστας.

Με την μεταφορά των σιδηροδρομικών γραμμών, για λόγους στρατιωτικούς το 1935 βόρεια από τον ποταμό Αγγίτη, άλλαξε και ο τρόπος τροφοδοσίας νερού των ατμομηχανών. Συγκεκριμένα το νεό αντλείται από τον ποταμό Αγγίτη και μεταφέρεται στο σημείο τροφοδοσίας που απέχει 500μ. περίπου από το σημείο άντλησης.

Συγκρίνοντας κανείς τις δύο μεθόδους τροφοδοσίας νερού των ατμομηχανών που εφαρμόστηκαν στην περιοχή με διαφορετικές πολιτικές και τεχνολογικές προϋποθέσεις διαπιστώνει εύκολα, ότι η αρχαία μέθοδος του κανάτ υπερέχει έναντι οποιασδήποτε άλλης μέχρι και την δεκαετία του 1960, όπου η τεχνολογία επέτρεψε την άντληση του νερού από μεγάλα βάθη.

Την συμβολή των κανάτ στην κοινωνικό-οικονομική εξέλιξη της μελετούμενης περιοχής θα μπορούσε να την συνειδητοποιήσει κανείς, εάν την συγκρίνει με τα σύγχρονα υδραυλικά έργα που έγιναν στην περιοχή για να καλυφθούν οι ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης.

Το σημαντικότερο υδραυλικό έργο, που έγινε κατά την δεκαετία του 1970, είναι αυτό με το οποίο αξιοποιήθηκαν οι πηγές των **‘Γαλάζιων Νερών’** που βρίσκονται σε αναβαθμίδα του ποταμού Αγγίτη, ΝΑ από το χωριό Αλιστράτη. Το νερό των πηγών αυτών, από το υψόμετρο των 50μ. περίπου, αντλείται μέχρι και σε υψόμετρο 350μ. και μεταφέρεται μέχρι 30 χλμ., προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες ύδρευσης 11 κοινοτήτων που βρίσκονται στους βόρειους πρόποδες του Παγγαίου. Η ανάγκη κατασκευής του παραπάνω έργου με μεγάλο λειτουργικό κόστος προέκυψε κυρίως όταν, μετά τις πλημμύρες του 1957 στην περιοχή, η παροχή πολλών κανάτ μειώθηκε ή διακόπηκε παντελώς.

Ένα άλλο επίσης σημαντικό έργο που έγινε μέσα στην δεκαετία του 1980 είναι αυτό του Σ.Σ. Λευκοθέας με σκοπό την κάλυψη των αναγκών άρδευσης της ομώνυμης κοινότητας. Με το έργο αυτό αντλείται νερό από τον ποταμό Αγγίτη από τα 35μ. έως σε υψόμετρο 150-180μ. και σε απόσταση 4χλμ. περίπου. Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του έργου αυτού επιβάρυνε τους χρήστες εκείνη την εποχή κατά 1500δρχ. το στρέμμα. Σημειώνεται εδώ ότι η παλιά τεχνητή λίμνη της Π. Λευκοθέας που κατασκευάστηκε πιθανόν πριν από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα είχε την δυνατότητα άρδευσης 1900-2000 στρεμμάτων με μηδενικό λειτουργικό κόστος.

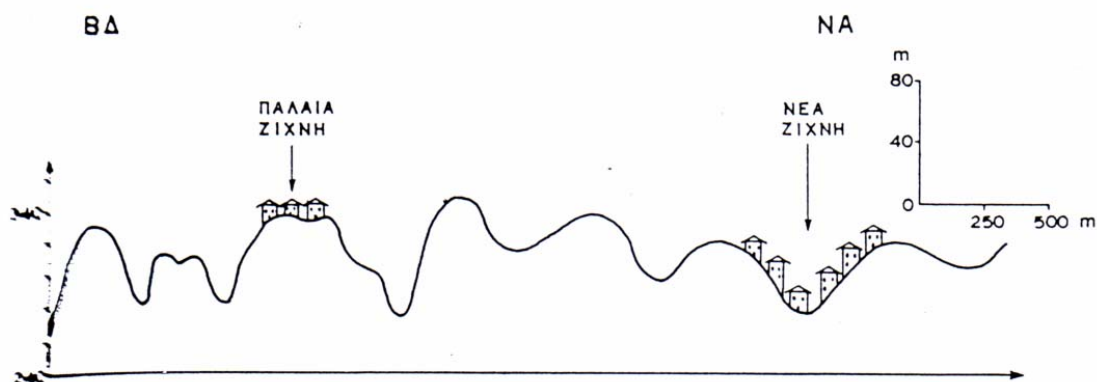
Η κατασκευή των δύο παραπάνω υδραυλικών έργων αποδεικνύει έμμεσα αλλά χωρίς αμφιβολία ότι χωρίς τα συστήματα κανάτ η αξιοποίηση της περιοχής δεν θα ήταν δυνατή πριν από το 1970.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι τα κανάτ εξασφάλιζαν το απαιτούμενο νερό τόσο για την λειτουργία των τούρκικων λουτρών (χαμάμ) όσο και των βρυσών μπροστά από τα τζαμιά.

21. ΤΑ ΘΑΝΑΤ ΩΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Από την μελέτη της μορφολογίας των οικισμών που βρίσκονται στους πρόποδες του Μενοικίου διαπιστώθηκε, ότι άλλοι από αυτούς έχουν κτιστεί σε ράχεις και άλλοι στους πυθμένες και στις κλιτύες ξηρών κατά κανόνα κοιλάδων. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελούν οι οικισμοί της **Παλαιάς και Νέας Ζίχνης**.

Όπως αναφέραμε ήδη, η Π. Ζίχνη, γνωστή ιστορικά από το 1204 μ.Χ. ήταν βυζαντινό κάστρο. Ήταν κτισμένη πάνω σε ράχη με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση (**Σχ. 51**) που βρίσκεται μεταξύ δύο σχετικά βαθιών κοιλάδων, οι οποίες την παρείχαν ικανοποιητική φυσική οχυρότητα. Η ύπαρξη βυζαντινού αμυντικού τείχους περιμετρικά του οικισμού αποδεικνύει, ότι οι κάτοικοί του την περίοδο αυτή αντιμετώπιζαν κίνδυνο εχθρικής επιδρομής.



Σχ. 51. Μορφολογική τομή στην οποία φαίνεται η μορφολογική αντίθεση μεταξύ των οικισμών της Π. & Ν. Ζίχνης (Βαβλιάκης Ε., 1989).

Όπως μας πληροφορεί ο Μουτσόπουλος (1986), η ύδρευση της Π. Ζίχνης θα πρέπει να γίνονταν αφενός μεν από όμβρια ύδατα που τροφοδοτούσαν υπόγειες κιστέρνες και πηγάδια, αφετέρου υπόγειους αγωγούς που τροφοδοτούσαν τα τουρκικά λουτρά (χαμάμ).

Οι διαφορετικοί τρόποι ύδρευσης που εντοπίστηκαν στον οικισμό της Π. Ζίχνης προδίδουν έμμεσα και την διαφορετική φυλετική ταυτότητα αυτών που τις χρησιμοποίησαν.

Η μέθοδος των κανάτ είναι κατά την άποψη μας η νεώτερη, γιατί η παροχή τους ήταν μεγάλη και εφόσον λειτουργούσαν δεν υπήρχε λόγος χρησιμοποίησης των όμβριων υδάτων. Η σύνδεση των αδρανών κανάτ με τα τούρκικα λουτρά της Π. Ζίχνης ενισχύει την άποψη αυτή.

Ο οικισμός της Ν. Ζίχνης από αμυντική άποψη μειονεκτεί έναντι της Π. Ζίχνης επειδή λείπει από αυτή η φυσική οχυρότητα. Επιπλέον οι οικισμοί σε τέτοιες θέσεις κινδυνεύουν, αν και σπάνια, να καταστραφούν από πλημμύρες. Η έλλειψη αμυντικού

τείχους γύρω από τον οικισμό μας επιτρέπει να δεχτούμε ότι οι ιδρυτές του δεν αντιμετώπιζαν άμεση εχθρική απειλή. Αυτή η προϋπόθεση δεν εξασφαλιζόταν στην περιοχή πριν την οθωμανική περίοδο.

Ένας πολεοδόμος ή γεωγράφος ίσως αμφισβητούσε την νοημοσύνη των ιδρυτών του οικισμού Ν. Ζίχνης, αν αγνοούσε το γεγονός της ύδρευσης του συστήματος κανάτ. Οι πυθμένες και οι κλιτύες ξηρών κοιλάδων προσφέρονται για την ίδρυση οικισμών δεδομένου ότι, σε τέτοιες θέσεις είναι δυνατή η έξοδος του νερού με ελεύθερη ροή, είτε η ζώνη υδρομάστευσης βρίσκεται σε ράχεις, είτε σε πυθμένες ξηρών κοιλάδων. Αντίθετα η ίδρυση οικισμών σε ράχεις δεν θα μπορούσε να γίνει σε επιθυμητές θέσεις διότι το βάθος των υδροφόρων οριζόντων που τροφοδοτούν τα κανάτ είναι τέτοιο, που η έξοδος του νερού στην επιφάνεια, χωρίς δαπάνη ενέργειας, θα ήταν δυνατή μόνο σε ορισμένες θέσεις της κοιλάδας του Αγγίτη.

Με βάση επίσης τα μορφολογικά γνωρίσματα των οικισμών που βρίσκονται στους πρόποδες του Παγγαίου διακρίναμε τις εξής κατηγορίες:

- A. Οικισμούς που είναι κτισμένοι στις κεφαλές αλλουβιακών ριπιδίων
- B. Οικισμούς κτισμένους στις βάσεις αλλουβιακών ριπιδίων**
- C. Οικισμούς κτισμένους πάνω σε ράχεις

Η επιλογή των θέσεων των οικισμών των κατηγοριών A & C, δεν πρέπει να έγινε κατά την οθωμανική περίοδο. Η άποψη μας αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι στις θέσεις αυτές δεν ήταν δυνατή η έξοδος του νερού των κανάτ.

Αντίθετα, η επιλογή της θέσης των οικισμών της κατηγορίας B πρέπει να έγινε κατά την οθωμανική περίοδο, δεδομένου ότι στις θέσεις αυτές είναι δυνατή η έξοδος του νερού των κανάτ, που οι ζώνες υδρομάστευσής τους βρίσκονται στις κεφαλές αλλουβιακών ριπιδίων. Σημειώνεται ότι από υδρογεωλογική άποψη τα αλλουβιακά ριπιδία προσφέρονται ιδιαίτερα για την κατασκευή των συστημάτων κανάτ.

Πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι οι πρόσφυγες της Μικράς Ασίας του Πόντου και της Ανατολικής Θράκης που εγκαταστάθηκαν στην περιοχή ίδρυσαν νέους οικισμούς σε ράχεις ή κεφαλές αλλουβιακών ριπιδίων και ως μέσο ύδρευσης χρησιμοποιούσαν τα πηγάδια. Η παραπάνω παρατήρηση μας επιτρέπει να κάνουμε την σκέψη ότι οι Έλληνες σε όλη την έκταση της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας αγνοούσαν ή δεν υιοθέτησαν την μέθοδο των κανάτ εξαιτίας πιθανόν του μεγάλου κόστους κατασκευής τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα κανάτ της περιοχής ήταν ιδιοκτησία Μπέηδων.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα μπορούμε να δεχτούμε ότι η ίδρυση των οικισμών που είναι κτισμένοι σε ράχεις ή κεφαλές αλλουβιακών ριπιδίων πρέπει να έγινε από Έλληνες, ενώ των οικισμών που είναι κτισμένοι σε ξηρές κοιλάδες ή στην βάση αλλουβιακών ριπιδίων από Τούρκους (Πίν. 39).

A/A Ονομασία οικισμού	Μορφολογία του οικισμού	Ιδρυτές
1. Ζίχνη	Ράχη	Έλληνες
2. Νέα Ζίχνη	Ξηρή κοιλάδα	Οθωμανοί
3. Αναστασία	Ράχη	Έλληνες
4. Σφελινός	Ράχη	-"- "-
5. Μεσορράχη (Ράχοβα)	Ξηρή κοιλάδα	Οθωμανοί
6. Λευκοθέα (Δράτσοβα)	-"- "-	-"- "-
7. Μαντήλι	Ράχη	Έλληνες
8. Αλιστράτη	Ξηρή κοιλάδα	Οθωμανοί
9. Κρηνίδα (Βιτάστα)	-"- "-	-"- "-
10. Αγγίστα	Ράχη	Έλληνες
11. Πρώτη (Κιούπ-κιοϊ)	Αλλουβιακό ριπίδιο (ράχη)	Έλληνες
12. Ηλιοκώμη (Τσερέπλιαν)	Βάση αλλουβιακού ριπιδίου	Οθωμανοί
13. Κορμίστα	-"- "-	-"- "-
14. Ροδολείβος	Αλλουβιακό ριπίδιο (ράχη)	Έλληνες
15. Μικρό Σούλι	Ράχη	-"- "-
16. Παλαιοκώμη (Προβίστα)	Ξηρή κοιλάδα	Οθωμανοί
17. Δραβίσκος (Ιζντραβίκ)	-"- "-	-"- "-
18. Μαυρόλοβος (Δοξόμπος)	Ράχη	Έλληνες
19. Μυρίνη (Κοτσάκη)	Ξηρή κοιλάδα	Οθωμανοί
20. Δόμειρος (Βουλτσίτσα)	Ξηρή κοιλάδα	Οθωμανοί

Πίν. 39. Σχέση μεταξύ της μορφολογίας των οικισμών της περιοχής έρευνας και της φυλετικής ταυτότητας των ιδρυτών τους (κατά Σχινά 1886 & Μουτσόπουλο 1986).

Τα πληθυσμιακά δεδομένα της επαρχίας Ζίχνης (**Πίν. 40**), που αναφέρονται από τον Σχινά (1886), επιβεβαιώνουν απόλυτα την σχέση που προσδιορίσαμε μεταξύ της μορφολογίας των οικισμών και της φυλετικής ταυτότητας των ιδρυτών τους.

Συγκεκριμένα, οι οικισμοί που είναι κτισμένοι πάνω σε ράχεις ή κεφαλές αλλουβιακών ριπιδίων κατοικούνταν κατά την οθωμανική περίοδο είτε αποκλειστικά από Έλληνες, είτε το ποσοστό του ελληνικού πληθυσμού ήταν πολύ μεγαλύτερο σε

σχέση με τον τουρκικό. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι οικισμοί ράχεων Αναστασιάς, Σφελινού, Μικρού Σουλίου, με αμιγή ελληνικό πληθυσμό και οι οικισμοί σε κεφαλές αλλουβιακών ριπιδίων Ροδολείβους και Πρώτης με ποσοστό ελληνικού πληθυσμού 91 και 86% αντίστοιχα (**Πίν. 40**) .

Αντίθετα οι οικισμοί της Κορμίστας και Ηλιοκώμης που είναι κτισμένοι στις βάσεις αλλουβιακών ριπιδίων κατοικούνταν αποκλειστικά από Τούρκους.

Εξαίρεση αποτελούν οι οικισμοί Δραβείσκου και Μυρίνης που παρότι κτισμένοι στους πυθμένες ξηρών κοιλάδων, εντούτοις ο πληθυσμός τους σύμφωνα με τον **Πίνακα** του Σχινά (1886), ήταν 100% ελληνικός.

Υποθέτουμε, ότι η καταστροφή των βυζαντινών οικισμών εξαιτίας κυρίως του σεισμού της Δράμας του 1829 αυτών των κοινοτήτων ανάγκασε τις τότε τουρκικές διοικητικές αρχές στην ίδρυση νέων οικισμών σε θέσεις που η υδροδότησή τους ήταν δυνατή με συστήματα κανάτ.

Από τον πίνακα του Σχινά γίνεται επίσης σαφές ότι ανεξάρτητα αν η ίδρυση πολλών οικισμών της περιοχής έρευνας έγινε κατά την οθωμανική περίοδο, το ποσοστό του ελληνικού πληθυσμού στις περισσότερες περιπτώσεις υπερέχει έναντι του βουλγαρικού ή τουρκικού. Από τους 28.000 κατοίκους της επαρχίας Ζίχνης το 1886 οι 14.400 ήταν Έλληνες, οι 5.575 ήταν Τούρκοι και οι 8.825 ήταν Βούλγαροι.

Αν ο οποιοσδήποτε ειδικός ή μη θα ήθελε να αμφισβητήσει την ακρίβεια των στοιχείων του Σχινά εξαιτίας των πολιτικών μεταβολών στην περιοχή έρευνας στις αρχές του εικοστού αιώνα που προκάλεσαν ταυτόχρονα μεταβολές των πληθυσμιακών της δεδομένων, οι μορφολογικές αντιθέσεις των οικισμών που επισημάναμε, είναι αδιάψευστες μόνιμες μάρτυρες του γεγονότος ότι η περιοχή έρευνας μέχρι και μετά την από 540 χρόνια τουρκική κατοχή και αργότερα απελευθέρωσή της, διατήρησε την ελληνική ταυτότητά της.

Όνομα πόλης Α/Α. ή χωριού	Έλληνες	Οθω- μανοί	Βουλγ. ορθόδ.	ολικός πληθ.
1. Ζηλιάχοβα (Νέα Ζίχνη)	1600	900		2500
2. Ζίχνη (Παλαιά Ζίχνη)	75	100		175
3. Αλιστράτη	750	100	2500	3650
4. Ροδολείβος	3750	350		4100
5. Κιούπ-κιοϊ (Πρώτη)	1750	250		2000
6. Αντζίστα (Αγγίστα)	300	200		500
7. Βητάστα (Κρηνίδα)	900	300		1200
8. Βουλτζίστα (Δόμειρος)	150	125		275
9. Κοτζάκη (Μυρίνη)	250			250
10. Σέμαλτον (Μ. Σούλι)	1400			1400
11. Προβίστα	750	400		1150
12. Γενί-κιοϊ (Αμφίπολη)	175			175
13. Μανδήλι	100	125	225	450
14. Δράτζοβα (Λευκοθέα)			150	150
15. Τρεστενίτσα			125	125
16. Γρατζένη			200	200
17. Ερί-Ντερέ		75	750	725
18. Σκρίτζοβα			1500	1500
19. Καλοπόδι			1550	1550
20. Καρλίκοβα		750	1250	2000
21. Γραμέντζα			150	150
22. Βασίλοβα		350	150	500
23. Σφηλινόν (Σφελινός)	725			725
24. Αναστασιά	125			125
25. Χωροβίστα	200			200
26. Πόρνα	500	200		700
27. Ράχοβα (Μεσορράχη)	400	450		850
28. Νούσκα		175	275	450
29. Δοξαμπός (Μαυρόλοφος)	150			150
30. Ιζντραβίκ (Δραβείσκος)	350			350
31. Κρομίστα (Κορμίστα)		200		200
32. Τσατέπλιαν (Ηλιοκώμη)		125		125
33. Κρούσοβα		100		100
	14400	5575	8825	28800

Πίν. 40. Πληθυσμιακά δεδομένα της επαρχίας Φυλλίδος (κατά Σχινά 1886 & Μουτσόπουλο 1986).

22. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΝΑΤ ΣΤΟΝ ΠΑΛΙΟ ΚΑΙ ΝΕΟ ΚΟΣΜΟ

Σύμφωνα με τον Troll (1963) στο Ιράν αριθμούνται 40.000 τέτοια συστήματα. Η συνολική τους παροχή υπολογίζεται από τον Goblot (1963) σε 500-700 κυβικά ανά δευτερόλεπτο που αντιστοιχεί με την παροχή του Νείλου στο Κάιρο. Ο Schneider (1965) αναφέρει ότι, ο περσικός λαός με την κατασκευή πολλών και βαθιών συστημάτων κανάτ εξασφάλισε την υποδομή της οικονομίας του. Ως έργα τα θεωρεί εφάμιλλα των μεγάλων τάφων και άλλων μνημείων που κατασκευάστηκαν στα περιθώρια των οάσεων του Νείλου. Τα περισσότερα κανάτ όμως δεν προκαλούν τον ίδιο θαυμασμό που προκαλούν στον επισκέπτη οι πυραμίδες και οι ναοί των αρχαίων Αιγυπτίων, επειδή δεν υποπίπτουν στην αντίληψή του. Ανάλογη εξάπλωση των κανάτ εμφανίζεται και στο Αφγανιστάν. Από τους Αφγανούς η τεχνική της κατασκευής των συστημάτων αυτών μεταφέρθηκε στο Βελουχιστάν.

Από τους Πέρσες, σύμφωνα με τον Smeider (1965), η τεχνική των κανάτ μεταφέρθηκε στο Ομάν και την Αίγυπτο. Επίσης τέτοια συστήματα είναι γνωστά στην Σαχάρα ως **Foggaras**. Η κεντρική και δυτική Σαχάρα σύμφωνα με τον Troll (1963) αποτελούν το μεγαλύτερο κέντρο εξάπλωσης των κανάτ στον κόσμο μετά το Ιράν.

Από τον Cressey (1958) αναφέρεται η ύπαρξη ορισμένων κανάτ στην Συρία, Ιορδανία και Κύπρο.

Από τον Solignac (1952) αναφέρονται συστήματα Foggaras στην Τυνησία.

Ανάλογα συστήματα κανάτ μελετήθηκαν, όπως αναφέρει ο Troll (1963), σε ερημικές περιοχές της Ν. Αμερικής, όπως στην Βόρεια Χιλή και στο Περού. Η ύπαρξη όμως των συστημάτων αυτών δημιουργεί το ερώτημα εάν αυτά είναι τεχνική που μεταφέρθηκε από τους Ισπανούς ή είναι ανακάλυψη του αρχαίου αμερικανικού πολιτισμού.

Από τον Troll (1954) ανακαλύφθηκαν επίσης στο Μεξικό συστήματα πανομοιότυπα με τα συστήματα κανάτ του Παλαιού κόσμου που χαρακτηρίζονται με το όνομα **‘Gallerias Filtrantes’**.

Από τους Αρχαίους Πέρσες κατά τον πέμπτο αιώνα π.Χ., η χρησιμοποίηση των κανάτ επεκτάθηκε μέχρι την όαση Khargu της Αιγύπτου. Η μεταφορά όμως της τεχνικής των κανάτ στην κεντρική Σαχάρα έγινε από τους Άραβες. Σύμφωνα με τον Troll (1963) πολλοί συγγραφείς πιστεύουν ότι οι Ισπανοί, εξαιτίας της στενής επαφής τους με τον αραβικό πολιτισμό, πρέπει να μετέφεραν την τεχνική των κανάτ στις ερημικές οάσεις Tarapaca και Narca της Ν. Αμερικής.

Σύμφωνα με τον Schneider (1965) η εξάπλωση των κανάτ σήμερα περιορίζεται αποκλειστικά στις χώρες του Ισλάμ. Συνεπώς και η ύπαρξη των κανάτ στην περιοχή έρευνας θα πρέπει να συσχετιστεί με το γεγονός, ότι μέχρι και την αρχή του αιώνα μας η περιοχή αυτή βρίσκονταν υπό την οθωμανική κατοχή.

Κατά την οθωμανική περίοδο τα συστήματα κανάτ πρέπει να χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα για την επίλυση των προβλημάτων ύδρευσης και άρδευσης πολλών περιοχών του ελλαδικού χώρου. Στο συμπέρασμα αυτό οδηγηθήκαμε τόσο από την προσωπική διαπίστωση τέτοιων συστημάτων στην Α. Μακεδονία και Θράκη, όσο και από τα στοιχεία που αναφέρονται για τα ιστορικά συστήματα ύδρευσης της Αθήνας από τον Curtius (1847) και Zieller (1877) και της Θεσ/νίκης από τον Ταμιωλάκη (1985).

Αν και οι παραπάνω συγγραφείς δεν κάνουν καμιά μνεία του όρου κανάτ, εντούτοις τα στοιχεία πολλών υπόγειων συστημάτων ύδρευσης τόσο της Αθήνας όσο και της Θεσ/νίκης ταυτίζονται με αυτά των συστημάτων κανάτ της επαρχίας Φυλλίδας. Αν όμως ορισμένα από τα αδρανή συστήματα που περιγράφονται κατασκευάστηκαν από αρχαίους Έλληνες ή Ρωμαίους είναι ένα πρόβλημα, που η επίλυση του θα ήταν δυνατή με συνδυασμένη έρευνα αρχαιολόγων-γεωγράφων-ιστορικών-υδρογεωλόγων και γεωφυσικών. Πρέπει να σημειωθεί, ότι το **Ευπαλίνειο όρυγμα της Σάμου**, που κατασκευάστηκε στα μέσα του έκτου αιώνα π.Χ., αν και δεν είναι μοιάζει με κανάτ. Αν ληφθεί υπόψη ότι η μέθοδος των κανάτ είχε ανακαλυφθεί ήδη από τα τέλη του έβδομου αιώνα π.Χ. τότε μπορούμε να κάνουμε την σκέψη ότι θα υπήρχε μια αλληλεπίδραση του αρχαίου περσικού και ελληνικού πολιτισμού.

Από τα στοιχεία που αναφέραμε σχετικά με την εξάπλωση των κανάτ διαπιστώνεται, ότι εντοπίζονται αποκλειστικά κατά μήκος των ξηρών και ημίξηρων ζωνών της Γης.

Η μεγάλη παγκόσμια εξάπλωση και η χρησιμοποίηση των κανάτ για χιλιετίες είναι αναμφισβήτητα στοιχεία που υποδηλώνουν το μοναδικό ρόλο που έπαιξαν και παίζουν στον αγώνα της ανθρωπότητας κατά της ξηρασίας. Με το πνεύμα αυτό πρέπει να εξετάζονται τα συστήματα αυτά ανεξάρτητα από το που βρίσκονται και από ποιους κατασκευάστηκαν.

23. ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τον όρο **Qanat ή Kariz**, σύμφωνα με τον Bobek (1962), εννοούμε ένα σύστημα υπόγειων αγωγών (τούννελ), με την βοήθεια των οποίων υδρομαστεύεται ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας και το νερό, με την αξιοποίηση της φυσικής κλίσης, εξέρχεται στην επιφάνεια. Επειδή στην περιοχή έρευνας (στα Ν & ΝΑ τμήματα Μενοικίου όρους – οικισμός **Παλαιάς Λευκοθέας**) όχι μόνον υπάρχουν συστήματα Qanat, αλλά λειτουργούν και τροφοδοτούν με νερό από τον χρόνο κατασκευής τους μέχρι σήμερα όλους σχεδόν τους οικισμούς και της ευρύτερης περιοχής, λόγοι επιστημονικοί, πρακτικοί και δημόσιας υγείας επέβαλαν την πολύπλευρη εξέτασή τους (βλ. **Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 3**).

Χαρακτηριστικό μορφολογικό γνώρισμα για τα ψηλότερα σημεία του Μενοικίου και όχι μόνο, είναι ότι δεν αποτελούν μεμονωμένες κορυφές, όπως συνήθως συμβαίνει σε άλλα όρη, αλλά σχεδόν επίπεδες επιφάνειες με ασήμαντες υψομετρικές διαφορές.

Η ευρύτερη περιοχή της Δ. Ροδόπης αποτελείται από τρεις μεγάλες λιθολογικές ενότητες μεταμορφωμένων πετρωμάτων, οι οποίες από τα παλιότερα προς τα νεότερα είναι:

- Ενότητα των γνευσίων του υποβάθρου (με πάχος > 2000 μ.)
- Ενότητα λιθολογικών εναλλαγών ή μεταβατική ζώνη (πάχους 300-600 μ.)
- Ενότητα μαρμάρων (πάχους 1500 μ. περίπου).

Πτύχωση, μεταμόρφωση και πλουτωνισμός στην περιοχή της Ροδόπης είναι, κατά τον Kronberg και τους συνεργάτες του, αλπικής ηλικίας και ειδικότερα τοποθετείται μεταξύ **Κάτω Κρητιδικού και Ολιγοκαίνου**.

Όσον αφορά τους **προσχωσιγενείς σχηματισμούς**, αυτοί είναι σχηματισμοί του Τριτογενούς και του Τεταρτογενούς που γέμισαν τις λεκάνες. Η απόθεσή τους άρχισε μετά το τέλος της αλπικής φάσης πτυχώσεως και υπέστησαν την τεκτονική του Τριτογενούς και Τεταρτογενούς. Ο Παρασκευαΐδης (1952) διακρίνει τις νεογενείς αποθέσεις ΒΑ των Σερρών, στο δυτικό τμήμα του Μενοικίου, σε 2 φάσεις, την λιμναία και την θαλάσσια. Η ηλικία των λιμναίων και θαλασσίων ιζημάτων από τους Παρασκευαΐδη (1952) και Papp (1948), τοποθετείται στο Πλειόκαινο (**βλ. ΧΑΡΤΗ Ι.Γ.Μ.Ε. & Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 1**). Τεταρτογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται **ασύμφωνα**, σε πεδινές εκτάσεις περισσότερο, πάνω στα Νεογενή. *Πάνω από τα κεκλιμένα νεογενή, αρχίζουν σε οριζόντια διάταξη τα τεταρτογενή με ερυθρά γη αρκετού πάχους και πάνω από αυτή ακολουθεί το ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές του Μενοικίου σημαντικού πάχους.* Κώνοι κορρημάτων τεταρτογενούς ηλικίας, απαντούν σε όλο το μήκος του ορίου του Μενοικίου με την λεκάνη της Δράμας. Τα υψόμετρα των κορυφών τους μεταξύ των χωριών Καλλιθέας και Μικρόπολη βρίσκονται πάνω από τα 400μ. Αλλουβιακά ριπίδια απαντούν σήμερα σε εξόδους χειμάρρων, στις χαμηλότερες πεδινές εκτάσεις (**βλ. Παράρτημα ΧΑΡΤΗ 2**).

Το Μενοίκιο όρος κατά τον De Boer (1970) χαρακτηρίζεται από μια παλαιότερη τεκτονική πτυχών και μια νεώτερη τεκτονική ρηγμάτων. Η ανύψωση του όρους κατά τον ίδιο συγγραφέα άρχισε στο Πλειόκαινο-Πλειστόκαινο και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Οι άξονες των πτυχών έχουν κυρίως **κατεύθυνση ΒΑ (περιοχή Αλιστράτης)** καθώς και ΒΔ (περιοχή Αγίου Πνεύματος) και κλίσεις που κυμαίνονται από 0-30°. Οι κλίσεις των περυγίων τους είναι συνήθως συμμετρικές (**βλ. Σχ. 4**).

Όσον αφορά την νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής του Μενοικίου συμπεραίνονται τα εξής:

- Μεγάλα κανονικά ρήγματα **ΒΑ – ΝΔ** διεύθυνσης, παράλληλα στους κυρίους άξονες των μεγαπτυχών, που οφείλονται σε ένα πρώτο εφελκυστικό πεδίο

ηλικίας Ανώτερου Μειοκαίνου – Κάτω Πλειοκαίνου διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ, προκαλούν το εγκάρσιο τεμαχισμό της ορεινής μάζας και συμπληρώνουν τις δομές της πτυχογόνου τεκτονικής.

- Κανονικά ρήγματα **ΒΔ – ΝΑ** διεύθυνσης οφειλόμενα σε τάσεις εφελκυσμού διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ προκαλούν στη διάρκεια Πλειοκαίνου – Πλειστοκαίνου μεταπτώσεις στα περιθώρια του ορεινού όγκου του Μενοικίου και διαμορφώνουν σχεδόν οριστικά το μορφοδόμημά του.
- Το νεότερο εφελκυστικό πρδίο των τάσεων (Ανω Πλειοκαίνου μέχρι σήμερα) με γενική διεύθυνση Β – Ν προκαλεί αλληπάλληλα νέα κανονικά ρήγματα **Α – Δ** διεύθυνσης και μικρής γωνίας κλίσης, κυρίως στη νότια πλευρά του Μενοικίου, αλλά ταυτόχρονα επαναδραστηριοποιούν πιθανόν και τις παλαιότερες τεκτονικές γραμμές ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης.

Σύμφωνα με τους Παπαζάχο & Κομνηνάκη (1982) δύο μεγάλοι σεισμοί του δεκάτου αιώνα έπληξαν την περιοχή έρευνας. Συγκεκριμένα ο μεγαλύτερος έπληξε την περιοχή στις 05/05/1829 με μέγεθος 7.3 και ο άλλος στις 29/03/1867 με μέγεθος 6.3 Richter. Και στις δύο περιπτώσεις η πόλη της Δράμας είχε καταστραφεί. Επίσης, σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς σημειώθηκε ένας ακόμα σεισμός στην Ζίχνη στις 16/01/1839 με μέγεθος 6.1, ο οποίος προκάλεσε αρκετές καταστροφές στην γύρω περιοχή. Η σεισμική δραστηριότητα συνεχίστηκε στην περιοχή και κατά την διάρκεια του εικοστού αιώνα όπως μας πληροφορούν οι ίδιοι συγγραφείς. Η αναφορά μας στην σεισμική δράση ήταν επιβεβλημένη γιατί οι σεισμοί αυτοί αποτελούν ίσως τον αποφασιστικότερο παράγοντα καταστροφής των συστημάτων Qanat στην περιοχή έρευνας.

Η επικρατέστερη μορφή του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης είναι η παράλληλη (βλ. **Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 3**). Η διεύθυνση των μεγαλύτερης τάξης κλάδων του δικτύου, στο χώρο των ιζημάτων είναι κατά κανόνα **Β-Ν** και **ΒΔ-ΝΑ**, που συμπίπτει με την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης των επιφανειών των λεκανών απορροής τους σε σχέση με την θέση του Αγγίτη, που αποτελεί το τοπικό επίπεδο διάβρωσης της περιοχής. Διευθύνσεις των κυρίων κλάδων που δεν δικαιολογούνται από την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης της περιοχής που σχηματίζονται, σύμφωνα με τους Βαβλιάκη κ.α. (1988), πρέπει να καθορίστηκαν από την δράση νεοτεκτονικών ρηγμάτων με αντίστοιχες διευθύνσεις. Η ροή του νερού που εμφανίζεται κατά μήκος της μεγαλύτερης τάξης κλάδων είναι κατά κανόνα εποχιακή.

Οι έντονες ανυψωτικές κινήσεις κατά το **Ανώτερο Πλειόκαινο-Κατώτερο Πλειστόκαινο** (Osswald 1938, De Boer 1970), η δημιουργία νέων ρηγμάτων και κατακλάσεων, η πτώση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και η μεταβολή του κλίματος στην περίοδο αυτή συνετέλεσαν στην αδρανοποίηση του ενεργού, κατά το **Μειόκαινο και Πλειόκαινο**, υδρογραφικού δικτύου.

Στα Νεογενή και Τεταρτογενή χαλαρά ιζήματα στους πρόποδες του Μενοικίου και στις λεκάνες Σερρών – Δράμας, παρατηρείται χαρακτηριστική αυλακοειδής (**rill erosion**) και χαραδρωτική διάβρωση (**gully erosion**). Με βάση την διαφορά αυτή στην διάβρωση χαλαρών και συνεκτικών υλικών, μπορεί να γίνει διάκριση μακροσκοπικά, τόσο στο ύπαιθρο όσο και στις α/φίες, ανάμεσα στα ιζήματα αυτά και στα κρυσταλλικά πετρώματα του Μενοικίου.

Επειδή η υδροκριτική γραμμή μεταξύ των λεκανών Σερρών – Δράμας βρίσκεται πολύ πλησιέστερα προς την λεκάνη της Δράμας συμπεραίνουμε ότι η λεκάνη της Δράμας, θα πρέπει να δημιουργήθηκε μετά από την λεκάνη των Σερρών, σύμφωνα με τις αρχές των διαδικασιών της διάβρωσης.

Η ροή του ενεργού σήμερα Υ.Δ. του Μενοικίου, επηρεάζεται από δύο βασικούς παράγοντες:

- Από την πετρολογική σύσταση και ιδιαίτερα από τις εναλλαγές μαρμάρων-γνευσίων-γρανιτών.
- Από την τεκτονική δομή των ρηγμάτων, όπως διαμορφώθηκε αυτή μέχρι σήμερα.

Μια περισσότερο λεπτομερής μελέτη του Υ.Δ. του Μενοικίου σε συνδυασμό και με τις γύρω περιοχές, θα οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την Παλαιογεωγραφία, στο χώρο της ανατολικής Μακεδονίας.

Η συχνότητα και η παροχή των φυσικών πηγών νερού της περιοχής είναι σχετικά μικρή. Αντίθετα η συχνότητα βρυσών στους οικισμούς των κοινοτήτων είναι μεγάλη και από τους Kern & Βαβλιάκη (1989) προσδιορίστηκε μια συνάρτηση του αριθμού των βρυσών και του αριθμού των κατοίκων των κοινοτήτων της περιοχής. Για τον μεγάλο αριθμό και μεγάλης παροχής βρυσών των οικισμών και για την εμφάνιση συνεχούς ροής νερού κατά μήκος κοιλάδων, που δεν δικαιολογείται από την πετρογραφική σύσταση θεωρείται υπεύθυνη η κατασκευή από τους κατοίκους των περιοχών των συγκεκριμένων συστημάτων των Qanat.

Για την σχέση μεταξύ των νεοτεκτονικών παραμορφώσεων και των μορφολογικών- υδρογραφικών στοιχείων του Μενοικίου προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα γενικότερου ενδιαφέροντος:

- ✓ Στις περιπτώσεις που η δράση των ρηγμάτων συνδέεται με την μονόπλευρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής, η ηλικία των ρηγμάτων είναι νεότερη από αυτή των μεγαλύτερων κλάδων που καταλήγουν σε αυτά.
- ✓ Ανάλογα με την σχέση της μετάπτωσης των ρηγμάτων και της διεύθυνσης της μορφολογικής κλίσης σχηματίζονται, με ορισμένες προϋποθέσεις, μπροστά από τις κατοπτρικές τους επιφάνειες, σύγχρονες επιφανειακές κυρτές ή κοίλες μορφές. Κυρτές μορφές, (όπως αλλουβιακά ριπίδια), σχηματίζονται στις περιπτώσεις όπου η μετάπτωση συμπίπτει με την διεύθυνση της μορφολογικής κλίσης, ενώ κοίλες, (πόλγες κοιλάδων), στις περιπτώσεις όπου η μετάπτωση είναι αντίθετη της μορφολογικής κλίσης.

Ταυτόχρονος σχηματισμός κοίλων και κυρτών μορφών προ των κατόπτρων των ρηγμάτων εμφανίζεται στις περιπτώσεις που η μετάπτωση συμπίπτει με την διεύθυνση της μορφολογικής κλίσης, αλλά ταυτόχρονα παρατηρείται και περιστροφή του μετακινούμενου τμήματος ως προς τους άξονες των ρηγμάτων. Στην περίπτωση αυτή αλλά και στην περίπτωση που η μετάπτωση είναι αντίθετη της μορφολογικής κλίσης, είναι δυνατόν να σχηματιστούν ασύμμετρες τεκτονικές κοιλάδες κάθετες προς την μορφολογική κλίση και παράλληλες προς το τοπικό βασικό επίπεδο διάβρωσης.

Επιφάνειες Rumpfffläche (επιφάνειες επιπέδωσης) κατά τον Neef (1970) & Budel (1970), είναι κυματοειδείς έως περίπου επίπεδες επιφάνειες, οι οποίες αντικατοπτρίζουν είτε το αποτέλεσμα της απογύμνωσης σε άλλοτε ορεινές περιοχές, είτε εξερχόμενα από την θάλασσα τμήματα, με ευστατικές, ηπειρογενετικές ή ορογενετικές κινήσεις, που υφίστανται την επίδραση της διάβρωσης. Στην δεύτερη περίπτωση δηλαδή, η ανύψωση και η διάβρωση γίνονται ταυτόχρονα. Όμοιες επιφάνειες μπορούν να σχηματιστούν και από Pediment και Glacis, που διαμορφώνονται σήμερα στους πρόποδες ορέων, σε τροπικές περιοχές με ημιορεινό κλίμα. Τα Pediment καλύπτονται κυρίως από ποτάμια ιζήματα σε διάφορο πάχος. Η περιοδική ή η επεισοδιακή απορροή των Pediment στους πρόποδες ορέων ξηρών περιοχών, έχει σαν αποτέλεσμα με τον μεγάλο αριθμό ρεμάτων απορροής, μια έντονη επιφανειακή απογύμνωση την οποία ο Wissman (1951) χαρακτηρίζει σαν πλευρική διάβρωση. Αυτή η μορφοδυναμική διεργασία είναι ένα είδος της επιφανειακής απόπλυσης που οδηγεί στην διαμόρφωση των Pediment. Ο όρος Glacis να

χρησιμοποιείται για εκείνες τις επιφάνειες στους πρόποδες των ορέων, που έχουν αναπτυχθεί σε ιζηματογενή πετρώματα μικρού βαθμού διαγένεσης. Τα ιζήματα αυτά είναι συνήθως Νεογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας.

Στην περιοχή έρευνας οι άλλοτε επιφάνειες διάβρωσης βόρεια και νότια από τον Αγγίτη αντιστοιχούσαν σε Glacis, που σχηματίστηκαν κατά την περίοδο του **Ανωτέρου Πλειοκαίνου - Κατωτέρου Πλειστοκαίνου** σε νεογενή και κατωπλειστοκαινικά ιζήματα (Βαβλιάκης 1981). Η ανύψωση των επιφανειών επιπέδωσης και η μερική ή ολική καταστροφή τους οφείλονται κατά κύριο λόγο σε τεκτονικά γεγονότα και σε σημαντικές κλιματικές και μορφολογικές μεταβολές που τα ακολουθούν (προϋποθέσεις σχηματισμού τραπεζοειδών λόφων).

Από γεωμορφολογικά και μορφογενετικά δεδομένα που είναι ήδη γνωστά στο χώρο που εξετάζεται (Osswald 1938, Vrablianski 1972, Psilovikos et al. 1979, Vavliakis 1981) και σε συνδυασμό με αντίστοιχα στοιχεία από άλλες περιοχές της Βαλκανικής-Ν.Ευρώπης καθώς και από τεκτονικά και ιζηματολογικά στοιχεία που είναι γνωστά για τις ταφρολεκάνες του χώρου που εξετάζεται π.χ. Σερρών (Σωτηριάδης 1966), Δράμας-Φιλίππων (Μελιδώνης 1969), Στρυμόνα (Ψιλοβίκος κ.α. 1983), συμπεραίνεται ότι ο ευρύτερος χώρος της περιοχή μελέτης, θεωρούμενος με επέκταση μέχρι και το θαλάσσιο τμήμα του Β. Αιγαίου, αποτελούσε μια ενιαία χερσαία ζώνη κατά το **Α. Ολιγόκαινο- Κ. Μειόκαινο**. Το ανάγλυφο της χερσαίας αυτής ζώνης ήταν ομαλό-χαμηλό (200-300μ.) λόγω της προχωρημένης απογύμνωσης, ενώ η χημική αποσάθρωση είχε σχηματίσει ένα παχύ μανδύα υλικού που τον συναντούν όλες σχεδόν οι γεωτρήσεις που έφτασαν στο πυθμένα των ταφρολεκανών.

Διαπιστώθηκαν οι παρακάτω δύο, τυπικής μορφής **Pediment- Glacis**, επιφάνειες επιπέδωσης (βλ. Σχ.13) στην ευρύτερη περιοχή μελέτης του Μενοικίου (Βαβλιάκης Ε., 1981):

Α) Επιφάνεια 100-250μ. : Η ανάπτυξή της εντοπίζεται κυρίως στο νότιο περιθώριο του Μενοικίου και τα ιζήματα στα οποία έχει αναπτυχθεί, είναι Νεογενή και Τεταρτογενή.

Β) Επιφάνεια 400-600μ.: Αναπτύσσεται κυρίως στο Ν και ΝΑ περιθώριο του Μενοικίου. Πολλά τμήματα της επιφάνειας αυτής καλύπτονται από πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα. Ο Osswald (1938) δέχεται ότι σε πολλά τμήματά της απαντούν ποταμοχειμάρρεις αποθέσεις Άνω- Πλειοκαινικής ηλικίας. Πρόκειται βασικά για **ανυψωμένα Pediment** που σχηματίστηκαν αρχικά στην βάση του Μενοικίου με τροπικές ημιορημικές κλιματικές συνθήκες κατά την περίοδο του **Ανωτέρου Πλειοκαίνου**.

Διαπιστώθηκαν οι παρακάτω δύο, τυπικής μορφής **Pediment- Glacis**, επιφάνειες επιπέδωσης (βλ. Σχ.13) στην ευρύτερη περιοχή μελέτης του Μενοικίου (Βαβλιάκης Ε., 1981):

Α) Επιφάνεια 100-250μ. : Η ανάπτυξή της εντοπίζεται κυρίως στο νότιο περιθώριο του Μενοικίου και τα ιζήματα στα οποία έχει αναπτυχθεί, είναι Νεογενή και Τεταρτογενή.

Β) Επιφάνεια 400-600μ.: Αναπτύσσεται κυρίως στο Ν και ΝΑ περιθώριο του Μενοικίου. Πολλά τμήματα της επιφάνειας αυτής καλύπτονται από πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα. Ο Osswald (1938) δέχεται ότι σε πολλά τμήματά της απαντούν ποταμοχειμάρρεις αποθέσεις Άνω- Πλειοκαινικής ηλικίας. Πρόκειται βασικά για **ανυψωμένα Pediment** που σχηματίστηκαν αρχικά στην βάση του Μενοικίου με τροπικές ημιορημικές κλιματικές συνθήκες κατά την περίοδο του **Ανωτέρου Πλειοκαίνου**.

Οι **Ψιλοβίκος Α. & Βαβλιάκης Ε.**, πιστεύουν ότι για να σχηματιστούν σχεδόν επίπεδα και με ήπιο ανάγλυφο τμήματα στην επιφάνεια της ξηράς, πρέπει να συντρέξουν οι πακάτω παράγοντες:

- Ήπια τεκτονική κατάσταση.
- Ευνοϊκό κλίμα για την αποσάθρωση των πετρωμάτων και την ήπια απογύμνωση της επιφάνειας.
- Χαμηλό ανάγλυφο της περιοχής που πλησιάζει το βασικό επίπεδο.
- Κατά κανόνα διατήρηση των παραγόντων αυτών για μεγάλο χρονικό διάστημα

Οι κατακόρυφες κινήσεις και η ρηξιγενής τεκτονική που έλαβαν χώρα κατά το Τεταρτογενές, ευνόησαν την κατά βάθος διάβρωση και τον σχηματισμό παράλληλων κοιλάδων με γενική διεύθυνση Β-Ν, όπου οι πυθμένες τους είχαν διαμορφωθεί από τον σχηματισμό δολινών ή ουβαλών. Η κοιλαδογένεση αυτή είχε σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό της έκτασης των Pediment και Glacis. Οι κοιλάδες, που οι λεκάνες απορροής τους περιορίζονται στο χώρο των ιζημάτων, είναι σήμερα κατά κανόνα ξηρές με χαρακτηριστικό U σχήμα, που υποδηλώνει ότι πριν την αδρανοποίησή τους είχαν φθάσει στο στάδιο ωριμότητας. Το γεγονός όμως ότι, οι κοιλάδες αυτές σχηματίστηκαν κατά το Πλειστόκαινο μας υποχρεώνει να δεχτούμε ότι κατά την διάρκεια του σχηματισμού τους βρίσκονταν κοντά στο τότε βασικό επίπεδο που το αποτελούσε ο Παλαιοαγγίτης (Βαβλιάκης κ.α. 1986). Αυτές εντοπίζονται κυρίως εκεί όπου τέμνουν πλειστοκαινικά ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή. Τα τελευταία είναι έντονα τεκτονισμένα εξαιτίας της νεοτεκτονικής δράσης στην περιοχή, με αποτέλεσμα σήμερα η κατείσδυση του νερού να είναι μεγάλη και η επιφανειακή απορροή σχεδόν ανύπαρκτη. Δηλαδή τα τεκτονισμένα κροκαλολατυποπαγή συμπεριφέρονται, από άποψη υδρογραφίας, όπως και τα τεκτονισμένα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες).

Κατά μήκος πολλών ξηρών κοιλάδων, εξαιτίας της ανανέωσης των φαινομένων διάβρωσης, διακρίνεται ένα ζεύγος ολοκαινικών αναβαθμίδων. Για την δημιουργία των τελευταίων εκτός από τους φυσικούς παράγοντες συνεπέδρασε έμμεσα και ο παράγοντας άνθρωπος με την αποξήρανση της λίμνης Αχινού και την διευθέτηση των κοιτών των ποταμών Αγγίτη και Στρυμόνα.

Στις κοιλάδες που οι λεκάνες απορροής τους εκτείνονται στις υψηλές ζώνες του Μενιοκίου και Παγγαίου, έχουν σχηματιστεί στον κάτω ρου τους μέχρι τώρα τρία ζεύγη αναβαθμίδων.

Από τους Βαβλιάκη κ.α. (1986) στην κοιλάδα του Αγγίτη διαπιστώθηκαν κατά θέσεις 3 ή και 4 αναβαθμίδες που σχηματίστηκαν κατά το Τεταρτογενές. Οι παραπάνω αναβαθμίδες εντοπίζονται είτε στο χώρο μιας παλαιότερης κοιλάδας (του Παλαιοαγγίτη) είτε στο χώρο της σύγχρονης κοιλάδας (δηλαδή του Νεοαγγίτη).

Τα συστήματα Qanat είναι ένα εξαιρετικό μέσο για να θέσει υπό την κατοχή του κανείς ένα υδροφόρο ορίζοντα σε ποσότητες επαρκείς για άρδευση σε ξηρές περιοχές. Το υπόγειο νερό συλλέγεται από την βαρύτητα με την βοήθεια ενός κεκλιμένου τούννελ, έτσι ώστε να αρδεύσει τα χωράφια. Ένα σύστημα Qanat αποτελείται από τρία βασικά μέρη (**Σχ. 14**): Το **μητρικό πηγάδι**, το **ελαφρώς κεκλιμένο τούννελ** που χρησιμεύει ως κύριος αγωγός μεταφοράς του νερού, και μια σειρά από **κατακόρυφα φρεάτια**. Η κλίση του αγωγού μεταφοράς είναι μικρότερη από αυτή της κλιτύς ή του πυθμένα ξηρής κοιλάδας και κατά κανόνα δεν υπερβαίνει το 4%.

Εφόσον ο αγωγός μεταφοράς βρίσκεται εκτός της ζώνης υδρομάστευσης και το βάθος του είναι μικρότερο από 3μ. το νερό ρέει σε **κλειστούς κυλινδρικού σχήματος πήλινους σωλήνες**, που καταλήγουν στο τελικό σημείο εξόδου του Qanat. Από το

σημείο αυτό συνήθως το νερό οδηγείται σε τάφρο σε τεχνητή λίμνη ή συντριβάνι, που βρίσκεται στο κέντρο του οικισμού και από εκεί κατανέμεται σε καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Το σύστημα Qanat υπερέχει έναντι άλλων ιστορικών συστημάτων ύδρευσης-άρδευσης, όπως π.χ. των τροχών άντλησης, βαρούλκων ή άλλων μοχλών, επειδή η χρήση νερού με το σύστημα αυτό δεν απαιτεί την δαπάνη ανθρώπινης ή ζωϊκής ενέργειας. Το νερό ρέει υπόγεια από τις ψηλότερες θέσεις υδρομάστευσης προς τις θέσεις χρήσης.

Στις ιδανικές περιοχές κατασκευής των Qanat από γεωμορφολογική και υδρογεωλογική άποψη ανήκει και η περιοχή έρευνας που εντοπίζεται στους ΝΑ πρόποδες του Μενοικίου. Επίσης η περιοχή έρευνας εξασφαλίζει ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες για την λειτουργία των παραπάνω συστημάτων. Συγκεκριμένα οι υψηλότερες ζώνες του Μενοικίου διατηρούν χιόνια μέχρι τον Απρίλιο και Μάιο και όχι σπάνια μέχρι τον Ιούνιο. Το νερό από την τήξη των χιονιών κατά την άνοιξη τροφοδοτεί τα διαπερατά στρώματα των αλλουβιακών ριπιδίων πάχους 20μ. περίπου, που αποτελούν την δεξαμενή τροφοδοσίας σε νερό των κανάτ κατά την θερινή περίοδο. Ανάλογη τροφοδοσία των κανάτ με νερό γίνεται και κατά την διάρκεια των βροχοπτώσεων σύμφωνα με τον Μπαλαφούτη (1977), στην περιοχή έρευνας πέφτουν κυρίως από τον Οκτώβριο μέχρι τον Ιούνιο. Ανάλογο ρόλο δεξαμενής τροφοδοσίας νερού των κανάτ παίζουν τα τεκτονισμένα πλειστοκαινικά κροκαλολατυποπαγή και οι αλλουβιακές προσχώσεις, που εντοπίζονται στους πρόποδες του Μενοικίου και στα χαμηλότερα τμήματα της περιοχής έρευνας.

Μια άλλη κατασκευή που κάνει έντονη την παρουσία της στην Μέση Ανατολή, είναι αυτή των **πηγαίων τούννελ**, η οποία μοιάζει αρκετά με τα συστήματα κανάτ, αλλά όμως δεν είναι, δεδομένου ότι η δημιουργία της υπαγορεύεται από εντελώς διαφορετικές συνθήκες. Η εξάρτηση της ποσότητας του νερού της πηγής από τις βροχοπτώσεις δημιούργησε το φαινόμενο της **διαλείπουσας ή ασυνεχούς ροής** το οποίο είναι και η ειδοποιός διαφορά σε σχέση με την αιτία ανάπτυξής του από τα συστήματα Qanat. Με σκοπό την ανανέωση ή αύξηση της ποσότητας του διερχόμενου νερού, διανοίχτηκε μια οριζόντια οπή σαν σπηλιά η οποία μετέπειτα διαπλατύνθηκε μέσα στην κορεσμένη ζώνη κάτω από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Οι μέθοδοι εκσκαφής που χρησιμοποιούνταν κάθε φορά ήταν αυτές που ταίριαζαν περισσότερο με την τοπική τοπογραφία, στις κατασκευές αυτές. Οι κυριότερες διαφορές των δύο κατασκευών αναπτύσσονται εκτενώς στο κυρίως κείμενο.

Ειδικά για την περιοχή έρευνας θεωρείται ότι μάλλον συναντάμε την κατηγορία των πηγών επαφής, όπου εδώ αναπτύσσεται υπόγεια ροή στην επαφή ενός υδροπερατού σχηματισμού με ένα αδιαπέρατο ή καλύτερα ένα ελάχιστο διαπερατό σχηματισμό. Πάνω στην επαφή αυτή λοιπόν στηρίζεται η όλη κατασκευή και λειτουργία των συστημάτων που αναπτύχθηκαν.

Οι περισσότερες πηγές παρουσιάζουν διακύμανση της παροχής τους. Οι διακυμάνσεις αυτές αντανakλούν τις μεταβολές στην ένταση του εμπλουτισμού, με διάρκεια εμπλουτισμού που κυμαίνεται από λεπτά της ώρας μέχρι χρόνια και βρίσκονται σε στενή σχέση με τις γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες. Ειδικότερα για το Qanat του Αγίου Γεωργίου (Q2) παραθέτουμε την ετήσια διακύμανση της παροχής του όπως αυτή παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 1**. Επίσης από την συσχέτιση της βροχόπτωσης του 2003 με την παροχή του Q2 προκύπτει ότι η περίοδος ανταπόκρισης για το συγκεκριμένο σύστημα στις συνθήκες τροφοδοσίας αυτού φτάνει τις 30 ημέρες, ιδίως κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου (**βλ. Διάγρ.2**).

Σύμφωνα με τις τιμές παροχής που έχουμε στην διάθεση μας, για τα συστήματα Qanat της περιοχής έρευνας, τα τελευταία παρουσιάζουν τιμές παροχής που αντιστοιχούν για **μέγεθος πηγής 6** ως επί το πλείστον.

Οι πηγές αποτελούν μια ασφαλή ένδειξη του είδους της υδροφορίας μιας περιοχής. Μεγάλος αριθμός μικρών πηγών στις παρυφές μίας κοιλάδας και στα κράσπεδα των λόφων γενικά μαρτυρούν την ύπαρξη ρηχού ελεύθερου υδροφόρου μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας (**Σχ. 20Α**). Αντίθετα, μεγάλες πηγές συγκεντρωμένες στο πυθμένα της κοιλάδας μαρτυρούν την ύπαρξη σημαντικού ελεύθερου υδροφόρου μεγάλης υδραυλικής αγωγιμότητας (**Σχ. 20Β**). Για μια ακόμη φορά βλέπουμε την πλήρη ταύτιση των πηγών με τα συστήματα Qanat, από πλευράς εκροής, δεδομένου ότι οι απολήξεις των τελευταίων βρίσκονται στους πυθμένες ξηρών κοιλάδων. Ο ρόλος των ενεργών Qanat από άποψη παροχής χαρακτηρίζεται μόνιμος βέβαια με τιμές διόλου ευκαταφρόνητες, τόσο για αρδευτική όσο και για υδρευτική χρήση σε αντιδιαστολή με τους ποικίλους τύπους των φυσικών πηγών. Το γεγονός αυτό συνιστά δηλωτικό στοιχείο ότι αποστραγγίζουν εκτεταμένους υδροφόρους και δίνουν νερό όλο το χρόνο.

Γενικά για πηγές που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία πόσιμου νερού θα πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- I. Καθαρή και χωρίς ρύπους λεκάνη απορροής*
- II. Πρακτικά ομοιόμορφη θερμοκρασία νερού σε κάθε εποχή*
- III. Μικρές κατά το δυνατόν διαφορές στην παροχή τους και ιδιαίτερα καμιά απότομη αύξηση της παροχής της μετά από δυνατή βροχόπτωση ή λιώσιμο χιονιού.*

Από μετρήσεις θερμοκρασίας νερού που πήραμε κατά την διάρκεια μέτρησης της παροχής και στα δύο συστήματα Qanat που μελετήσαμε στην περιοχή, διαπιστώσαμε μια αξιόλογη αντιστοιχία ανάμεσα στις μετρήσεις των δύο συστημάτων καθώς και μια κοινή γενική ομοιομορφία στις ίδιες τιμές (**ΠΙΝΑΚΑΣ 6**). Είναι σαφής η αντιστοιχία ανάμεσα στις μετρήσεις και η σταθερότητα που παρουσιάζουν στο μεγαλύτερο μέρος τους. Το γεγονός αυτό γίνεται πιο αξιόλογο εάν αναλογιστούμε ότι το Q1 εντοπίζεται σε ένα βάθος 3,5μ. περίπου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ η εκροή του Q2 είναι σχεδόν επιφανειακή. Αυτή η σταθερότητα ιδανικών συνθηκών, σε όλη την διάρκεια του έτους, που εξασφαλίζεται με τα συστήματα αυτά, είναι ένα ισχυρό πλεονέκτημα έναντι των όποιων φυσικών πηγών. Παρατηρώντας αντίστοιχα τις τιμές του **ΠΙΝΑΚΑ 5**, διαπιστώνω ότι το παραπάνω όριο ικανοποιείται άριστα από το Q2, καθώς επίσης οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας είναι τέτοιες που δεν επιτρέπουν την παρουσία μικροβιακών μολύνσεων μέσα στο νερό.

Από τεχνικής πλευράς επίσης, φαίνεται καθαρά ότι ειδικά το σύστημα Qanat του Αγίου Γεωργίου ανταποκρίνεται σχεδόν απόλυτα στον τρόπο κατασκευής (στη τεχνοτροπία δηλαδή) ενός υδρομαστευτικού συστήματος, όπως αυτή εκτενώς αναπτύσσεται στο κεφ. της υδρομάστευσης των πηγών εν γένει.

Οι παροχές των συγκεκριμένων συστημάτων που μελετήσαμε δεν παρουσιάζουν σε καμιά περίπτωση μεγάλες εποχικές διακυμάνσεις, γεγονός που σημαίνει ότι οι υδροφόροι τους αποστραγγίζουν υπόγεια κυρίως, λεκάνες κάποιας σημαντικής έκτασης.

Όταν σχεδιάζεται η αξιοποίηση μιας πηγής, δεν θα πρέπει να λησμονείται ότι η πηγή αυτή, ανάλογα με τον τύπο στον οποίο ανήκει, δεν είναι παρά ένα σύμπτωμα μέσα σε ένα καρστικό σύστημα. Έτσι λοιπόν απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή επιλογή του συστήματος υδροληψίας είναι η γνώση:

- *Του τύπου της πηγής*
- *Του μηχανισμού της πηγής*
- *Της ποιότητας νερού της πηγής και της διακύμανσής της*

- Της διαίτας της πηγής και του καρστικού συστήματος καθώς και της απόκρισης του τελευταίου στις μεταβολές της πρώτης.

Όταν είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά του καρστικού συστήματος που τις τροφοδοτούν, η αξιοποίηση του καρστικού νερού του συστήματος αποτελεί τον καλύτερο τρόπο αξιοποίησης των πηγών που τροφοδοτεί.

Ανάλογα με την επιφανειακή μορφολογία και την λιθουδρογεωλογική κατάσταση της ζώνης υδρομάστευσης των ενεργών Qanat τα διακρίνουμε στους εξής τύπους:

- V. Τύπος Qanat N. Ζίχνης
- VI. Τύπος Qanat Ροδολείβους
- VII. Τύπος Qanat Σ.Σ. Αγγίστας και
- VIII. Τύπος Qanat Αγγίστας.

Από μορφολογική άποψη τα Qanat N. Ζίχνης & Π. Λευκοθέας έχουν κατασκευαστεί στον πυθμένα ξηρής κοιλάδας που έχει σχηματιστεί σε Glacis με B-N διεύθυνση (**Παράρτημα ΧΑΡΤΗΣ 2**).

Όσον αφορά τα συστήματα Qanat του οικισμού Π. Λευκοθέας, εντοπίζουμε τρία ξεχωριστά τούννελ, όπου μόνο τα δύο όμως είναι σε φυσική λειτουργία και μόνο αυτό που βρίσκεται πίσω από την εκκλησία του Αγίου Γεωργίου (Q2) είναι περισσότερο αξιοποιήσιμο και προς εκμετάλλευση. Η ζώνη υδρομάστευσης των συστημάτων αυτών εντοπίζεται σε απόσταση 1,4 χλμ. περίπου από το σημείο εκροής τους στο κέντρο σχεδόν του οικισμού.

Το απενεργοποιημένο Qanat παρουσιάζει το μεγαλύτερο μήκος από τα τρία φτάνοντας τα 1.400μ. περίπου. Το κεντρικό Qanat (Q1) παρουσιάζει ένα σχετικό μήκος που αντιστοιχεί στα 460μ., αυτά και τα δύο μαζί τροφοδοτούσαν την μικρή τεχνητή λίμνη του οικισμού που χρησιμοποιούνταν παλιότερα, όπως θα δούμε σε άλλο κεφάλαιο, για την άρδευση τουλάχιστον 1000 στρεμμάτων. Το τρίτο σύστημα έχει μήκος που φτάνει τα 730μ. και ρέει στον πυθμένα ξηρής κοιλάδας, περίπου 200μ. ανατολικά του κέντρου του οικισμού και είναι το περισσότερο καλά διατηρημένο (Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 3).

Από την στρωματογραφική μελέτη των πηγαδιών αυτών διαπιστώθηκε, ότι έχουν κατασκευαστεί στην επαφή ασβεστολιθικών κροκαλολατυποπαγών με μαργαϊκό υλικό, το οποίο στην βιβλιογραφία είναι γνωστό με τον όρο **‘Μάργα του Βερό’**. Την επαφή αυτή την βλέπουμε ξεκάθαρα στο Q1, σε βάθος 3,5μ. περίπου από την επιφάνεια του εδάφους.

Η ροή του Q2 της Π. Λευκοθέας, επηρεάζεται σημαντικά από την δράση ενός ρήγματος πλειστοκαινικής ηλικίας και διεύθυνσης ΝΔ-ΒΑ (**Παράρτημα, ΧΑΡΤΗΣ 1 & 2**). Η μετάπτωση εδώ δεν ξεπερνά το 1μ.

Η πορεία των τούννελ στις ζώνες υδρομάστευσης και των δύο οικισμών είναι **οφιοειδής** και αυτό γιατί η πορεία αυτή εξασφαλίζει μεγαλύτερη επιφάνεια αποστράγγισης του υπερκείμενου κροκαλολατυποπαγούς και συνεπώς μεγαλύτερη παροχή του Qanat.

Η κατασκευή της ζώνης υδρομάστευσης στην παραπάνω κοιλάδα της Π. Λευκοθέας έγινε κατά την άποψη μας για τους εξής λόγους:

- Στο πυθμένα της ξηρής κοιλάδας το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα είναι 1,5 – 3,5μ. ενώ στις παρακείμενες ράχες 15 - 20μ. συνεπώς ο χρόνος και το κόστος κατασκευής του Qanat κατά μήκος του πυθμένα της ξηρής κοιλάδας ήταν μικρότερο.
- Με την κατασκευή του Qanat στο κέντρο του πυθμένα της ξηρής κοιλάδας εξασφαλίστηκε μεγαλύτερη παροχή από ότι αν κατασκευαζόταν σε ράχη, γιατί στον άξονα του Qanat συγκλίνουν όλες οι υπόγειες και υποεπιφανειακές (υποδερμικές) γραμμές ροής, στις οποίες καταλήγει νερό της κατείσδυσης και

της διήθησης από τα επιφανειακά ρέματα, που καταλήγουν στα Qanat και το τροφοδοτούν.

- Τα χιόνια που πέφτουν κατά την χειμερινή περίοδο παραμένουν στο πυθμένα και στις κλιτύες της κοιλάδας περισσότερο από ότι στις ράχεις. Είναι γνωστό ότι η κατείδυση του νερού από την τήξη των χιόνων είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του νερού της βροχής. Αυτό συμβαίνει διότι οι τιμές της ταχύτητας εξάτμισης του νερού από την τήξη των χιονιών, είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές του νερού των βροχών της ίδιας περιόδου. Έτσι δικαιολογείται, και το γεγονός ότι η παροχή του Qanat που περιγράψαμε, κατά την θερινή περίοδο είναι σχετικά μεγάλη εφόσον κατά την χειμερινή περίοδο του ίδιου έτους το ύψος των χιονοπτώσεων είναι μεγάλο.

Από τα στοιχεία που αναφέραμε παραπάνω για το Qanat N. Ζίχνης αποδεικνύεται ότι οι κατασκευαστές του παραπάνω συστήματος διακρίνονται όχι μόνον για τις κατασκευαστικές ικανότητές τους αλλά κατείχαν και αξιοσημείωτες φυσικογεωγραφικές και υδρογεωλογικές γνώσεις.

Ασφαλώς παρόμοιες αιτιολογήσεις ισχύουν και για τα συστήματα Qanat της Π. Λευκοθέας, με την μόνη διαφορά ότι εδώ τα αριθμητικά μεγέθη που αναφέρονται παραπάνω περιορίζονται κατά το ήμισυ περίπου.

Στον ίδιο τύπο κανάτ ανήκουν και αυτά των κοινοτήτων Μεσορράχης, Δήμητρας, Λευκοθέας, Ηλιοκώμης και Κορμίστας. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των Qanat όλων των παραπάνω κοινοτήτων είναι ότι τα τελικά σημεία τους εντοπίζονται στον πυθμένα ή στις κλιτύες ξηρών κοιλάδων που διασχίζουν τους οικισμούς αυτούς.

Τα υδρολιθολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής έρευνας ευνοούν την εκδήλωση φαινομένων κατολίσθησης ιδιαίτερα κατά μήκος των απότομων κλιτύων των ανανεωμένων κοιλάδων στο χώρο των νεογενών και πλειστοκαινικών ιζημάτων. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελούν οι κατολισθήσεις πλειστοκαινικών κροκαλολατυποπαγών πάνω σε νεογενείς μάργες κατά μήκος των κλιτύων της κοιλάδας του Γαζώρου. Η σημερινή εξέλιξη φαινομένων κατολίσθησης κατά μήκος των κλιτύων της παραπάνω κοιλάδας θα πρέπει να συσχετιστεί και με τις δυναμικές ανθρωπογενείς επεμβάσεις στο τοπικό βασικό επίπεδο διάβρωσης, που είναι ο ποταμός Αγγίτης.

Το φαινόμενο της εγκατάλειψης οικισμών και της ίδρυσης νέων, μετά την καταστροφή των Qanat εξαιτίας των φαινομένων κατολίσθησης που προκάλεσαν οι σεισμοί της Δράμας το 1829 και 1867, πρέπει να έλαβε χώρα στην ευρύτερη περιοχή έρευνας. Στην ίδια αιτία πρέπει να αποδοθεί και η αδρανοποίηση των Qanat Π. Λευκοθέας και Σ.Σ. Αγγίστας, που δεν οφείλονταν όμως σε κατολισθήσεις αλλά σε υποχώρηση των τοιχωμάτων πηγαδιών των τούννελ.

Συχνά κατά την διάρκεια των πλημμυρών εισέρχεται το επιφανειακό νερό των χειμάρρων ή ρυακιών στα τούννελ, τα οποία τα προσχώνει με διάφορα υλικά, όπως κροκάλες, άμμο, ιλύ και άργιλο. Η πρόσχωση είναι δυνατόν να προκαλέσει πλήρη ή μερική αδρανοποίηση των Qanat. Στην αιτία αυτή οφείλεται η μερική αδρανοποίηση του Qanat της N. Ζίχνης.

Η απόθεση αλάτων προκαλείται από την απόθεση υλικών πάνω ή κοντά στους πήλινους αγωγούς που μεταφέρονται διαλυμένα (CaCO_3 , MgCO_3) ή αιωρούμενα (άργιλος, ιλύς). Η απόθεση αλάτων μπορεί επίσης να οφείλεται στην παρουσία μικροοργανισμών στο νερό (σιδηροβακτήρια, αμμωνιοβακτήρια ή βακτήρια που τρέφονται από οργανικές ενώσεις). Η απότομη πτώση της πίεσης που λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια ροής του νερού μέσα στους πήλινους αγωγούς, ελευθερώνει CO_2 γεγονός που προκαλεί καθίζηση CaCO_3 (Φωτ. 8)..

Η είσοδος και η ανάπτυξη των ριζών δένδρων προκαλεί μείωση της παροχής του κανάτ αυτού για δύο κυρίως λόγους:

- Ένα μέρος του νερού δεσμεύεται για τις ανάγκες των δένδρων, που κατά την θερινή περίοδο λόγω της μειωμένης παροχής του κανάτ γίνεται αισθητή η δέσμευση αυτή.
- Η ελεύθερη ανάπτυξη των ριζών κατά την διάρκεια ενός έτους αφενός δεν επιτρέπει την είσοδο ανθρώπου μέσα στο τούννελ, αφετέρου δημιουργούνται από τις ρίζες μικροφράγματα που δεν επιτρέπουν την ελεύθερη ροή του νερού στο κανάλι του τούννελ.

Ανάλογα αποτελέσματα έχουμε και στις περιπτώσεις που οι ρίζες δένδρων ή θάμνων εισέρχονται στους πήλινους αγωγούς από τα σημεία σύνδεσής τους. Στις περιπτώσεις αυτές η αδρανοποίηση των Qanat γίνεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Οι θερμοκρασίες αέρα στα διάφορα υψόμετρα του Μενοικίου δεν μπορούν να υπολογιστούν άμεσα, γιατί δεν έχουν τοποθετηθεί σε αυτό μετεωρολογικοί σταθμοί. Για το λόγο αυτό κάνουμε χρήση της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας πάνω σε μετρήσεις του αντίστοιχου σταθμού των Σερρών για την περίοδο 1972-2000 για την οποία διαθέτουμε επαρκή δεδομένα. Η μέση κατακόρυφη θερμοβαθμίδα, όπως έχει οριστεί από τον Μπαλαφούτη (1977) για το Μενοίκιο, παρουσιάζεται στον **Πίνακα 8** (°C/100m). Η θερμοβαθμίδα που δίνεται στον παραπάνω πίνακα δίνει μια τιμή 0,3°C/100μ. για τον Ιανουάριο και 0,7°C/100μ. για τον Ιούλιο. Οι τιμές αυτές σχεδόν συμπίπτουν απόλυτα με τις τιμές του Wallen C.C. (1977) για ολόκληρη την ΝΑ Ευρώπη.

Από τους πίνακες **θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων** των Μ.Σ. Δράμας και Σερρών αντίστοιχα προκύπτει ότι η μεγάλη θερινή ξηρότητα του κλίματος και οι ψηλές θερινές θερμοκρασίες στην περιοχή της έρευνάς μας, επιδρούν σαν ανασταλτικοί παράγοντες για την εξέλιξη της βλάστησης, ιδιαίτερα για το ασβεστολιθικό Μενοίκιο. (**Πίν. 9 & 10, Διάγρ. 3 & 4**). Η εποχική κατανομή παρουσιάζει την συνήθη υετομετρική, για τον ελληνικό χώρο εικόνα: **Χειμώνας>Ανοιξη>Φθινόπωρο>Καλοκαίρι** (**Σχ. 27, Διάγρ. 5**).

Σύμφωνα με τον Μπαλαφούτη (1977) η ευρύτερη περιοχή μελέτης μας ανήκει στα μεσόθερμα κλίματα (C) κατά Korpen, και μάλιστα στο Csa κλιματικό (Μεσογειακό) τύπο. Στον ίδιο τύπο κατατάσσει το κλίμα όλης της Μακεδονίας (εκτός του δυτικού τμήματος).

Όσον αφορά την **μέση ραγδαιότητα** των βροχοπτώσεων στον ελληνικό χώρο έχει παρατηρηθεί ότι σε σταθμούς με ηπειρωτικό χαρακτήρα τα κύρια μέγιστα καταγράφονται τους θερινούς μήνες, ενώ σημειώνονται δευτερεύουσες κυμάνσεις το χειμώνα και την άνοιξη (Καννελοπούλου & Παγώνης).

Η εποχική κατανομή ακολουθεί την διάταξη: **Φθινόπωρο > Χειμώνας > Καλοκαίρι**, ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι σε κανένα σταθμό του δικτύου δεν καταγράφεται μέγιστη εποχική ραγδαιότητα κατά την άνοιξη (**Σχ. 28, Διάγρ. 6**).

Από όσα αναφέρονται γενικά παραπάνω επιβεβαιώνεται πλήρως η ξηρότητα που επικρατεί τους θερινούς μήνες στην περιοχή μελέτης και γίνεται κατανοητό σε αρκετά μεγάλο βαθμό όλο το θερμοκρασιακό και κυρίως βροχομετρικό καθεστώς που επικρατεί στην περιοχή δικαιολογώντας πλήρως την παρουσία συστημάτων Qanat στην περιοχή και κατά επέκταση, αναδεικνύει τον ζωτικό ρόλο των συστημάτων αυτών για την ποιότητα ζωής των κατοίκων της περιοχής.

Οι άνεμοι παρουσιάζουν μεγάλη σπουδαιότητα στην διαμόρφωση των κλιματολογικών συνθηκών μιας περιοχής. Στην υπολεκάνη της Δράμας οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι Β διεύθυνσης, ενώ στην υπολεκάνη των Σερρών κατά

50% επικρατεί άπνοια, από 25-30% πνέουν άνεμοι διάφορης διεύθυνσης και σε ένα ποσοστό 7-8% παρατηρούνται άνεμοι Β-ΒΔ διεύθυνσης.

Ειδικότερα στην περιοχή μελέτης μας, φθάνουν κατά κύριο λόγο άνεμοι νότιας διεύθυνσης που ξεκινούν από τον κόλπο του Ορφανού, οι οποίοι επί το πλείστον είναι πλούσιοι σε υδρατμούς, η συμπύκνωση των οποίων λαμβάνει χώρα στις προσήνεμες πλευρές του όρους Μενοικίου και μάλιστα σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 1000μ. Στην συμπύκνωση των υδρατμών συμβάλλει ιδιαίτερα ο γενικότερος προσανατολισμός του ορεινού συγκροτήματος, ο οποίος είναι κάθετος στην κίνηση των συγκεκριμένων αερίων μαζών.

Με τον όρο **‘καρστική διάβρωση’** χαρακτηρίζεται η μικτή μορφή διάβρωσης-αποσάθρωσης τόσο της επιφάνειας του κάρστ, όσο και της εσωτερικής μάζας του. Τα αίτια που προκαλούν την καρστική διάβρωση είναι κυρίως χημικά (διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό) και κατά δεύτερο λόγο μηχανικά (μηχανική δράση του νερού). Η χημική διάβρωση οφείλεται στην διαλυτότητα του CaCO_3 ή του MgCO_3 ή του $(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$ των ανθρακικών πετρωμάτων. Η διαλυτότητα αυτή είναι πολύ χαμηλή, αλλά πάντως μακροχρόνια. Η διάβρωση όμως που οφείλεται σε ενδογενείς παράγοντες (τεκτονισμός) είναι πρωταρχικής σημασίας γιατί θα προκαλέσουν τις αρχικές ασυνέχειες (ρωγμές) μέσα στις οποίες θα ρεύσει το υπόγειο νερό και θα τις διευρύνει με την διαλυτική του ικανότητα (χημική διάβρωση). Επίσης θα δοθεί έτσι η ευκαιρία να δράσουν και άλλοι ενδεχόμενα φυσικοχημικοί παράγοντες. Η μηχανική διάβρωση μπορεί να οφείλεται σε εξωγενείς ή ενδογενείς παράγοντες, έχει και αυτή βέβαια την σημασία της, αλλά δεν μπορεί παρά να προσβάλλει μόνο τα επιπόλεια τμήματα του κάρστ.

Ο τεκτονισμός μιας ανθρακικής μάζας είναι προϋπόθεση για την καρστικοποίησή της. Όμως ο ίδιος ο τεκτονισμός δεν προκαλεί τα ίδια αποτελέσματα σε όλο το πάχος του κάρστ, έστω και αν αυτό είναι ομοιογενές λιθολογικά. Αυτό συμβαίνει διότι με το βάθος αυξάνεται και η θερμοκρασία και κυρίως η πίεση και επομένως μεταβάλλονται οι μηχανικές ιδιότητες (κυρίως το όριο θραύσης) του ανθρακικού σχηματισμού με συνέπεια μια προοδευτική μείωση της πυκνότητας των ρωγμών από την επιφάνεια προς το βάθος. Βέβαια στο θέμα αυτό μεγάλη σημασία έχει η παλαιογεωγραφική, παλαιοκλιματολογική και παλαιο- ή νεοτεκτονική εξέλιξη της υπόψη καρστικής περιοχής. Η γνώση του βάθους καρστικοποίησης μιας ανθρακικής περιοχής είναι κεφαλαιώδους σημασίας για την Υδρογεωλογία, γιατί μόνο η καρστικοποιημένη μάζα των πετρωμάτων αυτών μπορεί να αποτελέσει υπόγειο ταμειυτήρα και να επιτρέψει την ροή του υπόγειου νερού και μάλιστα τόσο καλύτερος είναι ένας καρστικός υδροφορέας, όσο περισσότερο καρστικοποιημένος είναι. Οι συμπαγείς ανθρακικές μάζες έχουν πολύ μικρό (συνήθως μηδενικό) ενεργό πορώδες και σχεδόν μηδενική περατότητα. Στην ουσία πρόκειται για στεγανές μάζες, ανενεργές υδρογεωλογικά.

Λαμβάνοντας υπόψη όμως την λιθολογική ετερογένεια και την μηχανική ετερογένεια και ανισοτροπία των ανθρακικών πετρωμάτων, μπορούμε να πούμε ότι ο βαθμός καρστικοποίησης μιας ανθρακικής μάζας αναμένεται κατά γενικό κανόνα να μειώνεται με το βάθος κατά ασυνεχή τρόπο και ότι από κάποιο βάθος και μετά να μηδενίζεται πρακτικά (**Σχ. 30**).

Το παραπάνω γεγονός έχει σαν συνέπεια τα υπόγεια νερά να αρχίζουν να ρέουν, κυρίως στα επιπόλεια τμήματα των καρστικών μαζών. Το ίδιο φυσικά συμβαίνει και όταν το νερό συναντήσει έναν αδιαπέρατο σχηματισμό δημιουργώντας ασφαλώς στην συνέχεια έναν αξιόλογο προς εκμετάλλευση υδροφόρο ορίζοντα επί το πλείστον.

Ως **καρστικό υδροφόρο** σύστημα ορίζεται ένα υδροφόρο σύστημα που συνίσταται εξ’ ολοκλήρου ή κατά κύριο λόγο από καρστικά πετρώματα. Κατά ένα άλλο ορισμό το καρστικό υδροφόρο σύστημα είναι ένα σύνολο καρστικής περιοχής, στο επίπεδο

του οποίου οι υπόγειες ροές είναι έτσι οργανωμένες ώστε να συνιστούν μια ενότητα αποστράγγισης. Είναι δηλαδή το αντίστοιχο της υδρολογικής λεκάνης (αν και η οργάνωσή του και η υδραυλική του λειτουργία είναι διαφορετικές). Συνιστά περιοχή υδρολογικά ανεξάρτητη και αυτόνομη (**Σχ. 31**).

Στην οργάνωση ενός και του ίδιου καρστικού υδροφόρου συστήματος μπορούμε να συναντάμε:

- Ζώνες (περιορισμένες ή και εκτενείς) κορεσμένες και
- Ζώνες (συνήθως εκτενείς) μη κορεσμένες

Γενικά η μη κορεσμένη ζώνη καταλαμβάνει συνήθως το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος του καρστικού συστήματος. Για την οργάνωση αυτού παίζει σπουδαίο ρόλο η γεωλογική του δομή, αλλά και η λιθολογική του σύσταση (Πίν. 12). Η επικρατούσα συνιστώσα της ροής είναι: η κατακόρυφη στην ακόρεστη ζώνη και η οριζόντια στην κορεσμένη ζώνη.

Το χαρακτηριστικό των καρστικών υδροφόρων είναι η μεγάλη εποχική διακύμανση της υδροστατικής τους επιφάνειάς τους, η οποία συχνά ξεπερνά ακόμη και τα 50μ. Τούτο οφείλεται στην μεγάλη τους μεταβιβαστικότητα και στην μικρή αποθηκευτικότητα, η οποία οδηγεί σε μικρή ικανότητα ρύθμισης της υπόγειας ροής. Οι πιο υψηλές στάθμες των καρστικών υδροφόρων, σε μερικές θέσεις, φτάνουν ή και ξεπερνούν την επιφάνεια του εδάφους ενώ σε άλλες θέσεις της ίδιας περιοχής μπορεί να βρίσκονται σε βάθη μεγαλύτερα από 200μ. (τοπικά επίπεδα βάσης). Στην περιοχή έρευνας οι πρώτοι καρστικοί υδροφόροι απαντώνται σε βάθη 2-5μ., ανάλογα βέβαια και με τις εκάστοτε γεωλογικές συνθήκες.

Σημαντικές υδροφορίες αναπτύσσουν τα **πλευρικά κορρήματα**. Τα τελευταία είναι αποθέσεις πρόσφατης ηλικίας, οι οποίες όμως έφθασαν στην σημερινή τους θέση όχι από τα ρέοντα νερά, αλλά από βαρυντική ολίσθηση ή πτώση υπολειμμάτων, απότομων βράχων. Σχηματίζουν ‘ημιριπίδια’ με μεγάλες κλίσεις, στα πόδια απότομων κλιτύων ή βράχων. Τα υλικά τους παρουσιάζουν φτωχή διαβάθμιση. Αποτελούνται από τεράστιους ογκόλιθους και γωνιώδη τεμάχια, ανακατεμένα με αποπλυμένες αργίλους και εδάφη. Η έκτάση τους είναι μικρή και περιορίζεται σε μια λουρίδα, κατά μήκος της ορεινής ζώνης, με αποτέλεσμα να μην αναμένεται σοβαρός εμπλουτισμός από τις βροχοπτώσεις. Στα πόδια τους, στην επαφή με το υπόβαθρο, δημιουργούνται συχνά πηγές, οι οποίες τροφοδοτούνται από υδροφόρους, που συνδέονται με την γειτονική ορεινή περιοχή. Στην επαρχία Φυλλίδας πλήθος συστημάτων Qanat εκμεταλλεύονται τις υδροφορίες που αναπτύσσουν αυτά.

Οι καρστικοί υδροφόροι δημιουργούνται σχετικά γρήγορα, αλλά πολύ γρήγορα επίσης αποστραγγίζονται. Κατά την υγρή περίοδο αυτοί οι υδροφόροι παρουσιάζουν μεγάλη κατακόρυφη μεταβολή της στάθμης τους. Κατά την ξηρή περίοδο, αντίθετα, παρουσιάζουν πολύ μικρές μεταβολές της στάθμης τους, με μια συνεχή καθοδική πτώση σχετικά σταθερού ρυθμού (περίοδος εξάντλησης του υδροφόρου). Αυτό ακριβώς το μειονέκτημα των καρστικών πηγών δεν παρουσιάζεται καθόλου στη λειτουργία των συστημάτων Qanat, των οποίων η στάθμη μένει σχεδόν αμετάβλητη (συχνά αυξάνεται κιόλας) κυρίως κατά την ξηρή περίοδο.

Οι τεκτονικές διαταραχές συνήθως παίζουν θετικό ρόλο στην διαμόρφωση της υδραυλικής αγωγιμότητας ενός καρστικού συστήματος, διότι με την αύξηση των ρωγμών σε αριθμό και εύρος προκαλούν και αύξηση της υδαταγωγιμότητας, η αύξηση όμως της τελευταίας μπορεί να γίνει έμμεσα με την διάρρηξη των στεγανών διαφραγμάτων ή του στεγανού υποβάθρου. Το ρόλο αυτό μπορούν να τον παίξουν οι τεκτονικές διαταραχές τόσο του εφελκυσμού όσο και της συμπίεσης. Από την άλλη μεριά, οι αντικλινικές πτυχές προκαλούν μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας με το βάθος, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στις συγκλινικές πτυχές, δηλαδή στις τελευταίες οι

ρωγμές διευρύνονται προς το βάθος σε αντίθεση με τις πρώτες. Ακριβώς για το λόγο αυτό μπορούμε να αντιληφθούμε γιατί τα συστήματα Qanat επιλέγονταν να κατασκευαστούν σε πυθμένες ξηρών κοιλάδων, δεν ήταν κάτι τυχαίο λοιπόν, διότι στα σημεία αυτά διαμορφώνονταν ιδανικές συνθήκες δημιουργίας μόνιμων και αρκετά σημαντικών υδροφόρων οριζόντων.

Οι οριζόντιες γενικά ρωγμές τείνουν να μείνουν ανοιχτές σε σχέση με τις κατακόρυφες, για αυτό και η παροχή των υδρομαστευτικών έργων (άρα και των Qanat) προέρχεται κυρίως από τις οριζόντιες ρωγμές. Οι τελευταίες είναι πάντα καλύτερα αναπτυγμένες κοντά σε διαρρήξεις. Οι περιοχές του πυθμένα των κοιλάδων προσφέρονται καλύτερα για την τοποθέτηση παραγωγικών πηγαδιών, από όσο οι κλιτείς των κοιλάδων, καθώς και οι επίπεδες περιοχές από όσο οι λόφοι. Οι ρωγμές είναι πιο πολλές, συνήθως, στις κορυφές των αντικλίνων και στους πυρήνες των συγκλίνων, από ότι στις πλευρές τους. Στα σύγκλινα οι γεωτρήσεις και τα πηγάδια είναι κατά κανόνα πιο επιτυχημένα από ότι στα αντίκλινα. (Σούλιος 1985).

Καταρχήν με τον όρο κατείσδυση εννοούμε εδώ την **ενεργή κατείσδυση**, δηλαδή το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που διαπερνά το έδαφος και τα πρώτα στρώματα του υπεδάφους και φθάνει μέχρι το υδροφόρο στρώμα, στο νερό του οποίου προστίθεται και μετέχει στις κινήσεις, χωρίς να επανεξατμίζεται (Σούλιος Γ. 1985). Η γνώση του συντελεστή κατείσδυσης είναι βασικής σημασίας γιατί σε συνδυασμό με το αντίστοιχο ύψος των κατακρημνισμάτων μας δίνει το μέγεθος των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων μιας περιοχής.

Από άποψη τιμών του συντελεστή κατείσδυσης αυτές διακυμαίνονται κατά περίπτωση από 0,3 μέχρι 0,7 περίπου με μέση και συχνότερη τιμή την 0,45 περίπου (Μαρίνος Π. 1975). Ο φυσικός εμπλουτισμός των καρστικών υδροφόρων είναι πιο εύκολος και πιο σημαντικός από τους παραδοσιακούς υδροφόρους. Η κατείσδυση είναι άμεση από το πρωτογενές και κυρίως από το δευτερογενές πορώδες, στην επιφάνεια. Για τους ανθρακικούς σχηματισμούς που καλύπτουν κυρίως το ορεινό τμήμα της λεκάνης, όπου ο βροχομετρικός δείκτης είναι υψηλός, ο συντελεστής κατείσδυσης σύμφωνα με τους διάφορους μελετητές (Burdon, Παπαδάκης, Μονόπωλης) κυμαίνεται μεταξύ 50-55%.

Η μεγάλη επιφανειακή ανάπτυξη των ανθρακικών σχηματισμών (οποιασδήποτε μορφής) σε συνδυασμό με το αξιόλογο πάχος τους καθώς και το μεγάλο βαθμό αποκάρσωσης δημιουργούν συνθήκες υψηλού βαθμού κατείσδυσης των κατακρημνισμάτων και ως εκ τούτου δικαιολογείται η ύπαρξη σημαντικής υπόγειας καρστικής υδροφορίας, που τροφοδοτεί τις μεγάλες καρστικές πηγές της περιοχής και τις προσχώσεις των πεδιάδων των δύο λεκανών (Πίν. 16 & 17). Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της κατείσδυσης είναι: α) τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα σε σχέση με την έντασή τους και την κατανομή τους στο υδρολογικό έτος β) η φύση του εδάφους.

Στις Διλλουβιακές αποθέσεις που απαντούν κυρίως στα κράσπεδα των ορεινών όγκων υπό μορφή κροκαλοπαγών, αναπτύσσεται επίσης ένας ισχυρός υδροφόρος ορίζοντας.

Η διαμόρφωση των υδρογεωλογικών ενοτήτων εξαρτάται βασικά από δύο παράγοντες: α) την Υδροπερατότητα των λιθολογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή σε συνάρτηση με την θέση των μη υδροπερατών. β) από το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Η **ποσότητα** του υπόγειου νερού μας δίνει πληροφορίες για τον τύπο του υδροφόρου ορίζοντα, την προέλευση, την ταχύτητα και την διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού. Για να βγάλουμε συμπεράσματα που να αφορούν την **ποιότητα** του υπόγειου νερού σε περιοχές που υπάρχει δυνατότητα επηρεασμού της από εξωτερικές

επιδράσεις, θα πρέπει αρχικά να κάνουμε διάκριση ανάμεσα στις χημικές επιρροές που υφίσταται το υπόγειο νερό και που προέρχονται από βαθείς υδροφόρους ορίζοντες και σε εκείνες που προέρχονται από την επιφάνεια. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής δίδεται έμφαση κυρίως στις επιφανειακές και υποεπιφανειακές επιρροές.

Το είδος και η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων εξαρτάται από την φύση των πετρωμάτων- μέσω των οποίων κινείται το υπόγειο νερό- την ταχύτητα ροής κ.λπ. Όσον αφορά τον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής μελέτης, εντοπίζεται ακριβώς στην επαφή του επονομαζόμενου κροκαλοπαγούς του Μενοικίου (περιέχει ασβεστολιθική συγκολλητική ύλη) με μαργαϊκούς σχηματισμούς. Αυτοί οι δυο συγκεκριμένοι σχηματισμοί, όπως θα δούμε αναλυτικά παρακάτω, είναι υπεύθυνοι για τον εμπλουτισμό σε στοιχεία και ιόντα του παραπάνω ορίζοντα. *Όπως διαπιστώνεται εμφανώς από την μελέτη των αποτελεσμάτων των αναλύσεων, τα συγκεκριμένα συστήματα αντιστοιχούν σε υδροφόρους ορίζοντες που εν γένει εμπεριέχονται στην ανώτερη ζώνη διήθησης δεδομένου ότι το ιόν HCO_3 είναι το επικρατέστερο ιόν (σε mg/l) στις χημικές αναλύσεις που έλαβαν χώρα.*

Έχει πια αναγνωριστεί, ότι η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι εξίσου σημαντικός παράγοντας με την ποσότητά του. Όλα τα υπόγεια νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα, που τα έχει πάρει το νερό κατά την διαδρομή του μέσα από τα πετρώματα. Οι ποιοτικές απαιτήσεις των διαφόρων καταναλωτών νερού ποικίλλουν σημαντικά. Για την δημιουργία κριτηρίων ποιότητας του νερού, πρέπει να καθορίζονται με σαφήνεια οι περιεκτικότητες του σε χημικά, φυσικά, βιολογικά και ραδιενεργά συστατικά και να καθιερώνονται **σταθερότυπα** για την παρουσίαση και σύγκριση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων.

Για την περιοχή μελέτης ειδικότερα, δεν έχει εξεταστεί η παρουσία αερίων, στα πλαίσια τουλάχιστον της εργασίας αυτής και για το λόγο αυτό δεν γίνεται εκτενής αναφορά. Γενικά ιδιότητες που μπορεί να κάνουν το νερό τελείως ακατάλληλο για κάποια συγκεκριμένη χρήση, π.χ. ύδρευση, μπορεί να μην επηρεάζουν την καταλληλότητά του για άλλες χρήσεις, π.χ. αρδευτική ή βιομηχανική.

Κατά κανόνα τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά νερά, γιατί τα πρώτα βρίσκονται για μεγαλύτερο χρόνο σε επαφή με ευδιάλυτα υλικά στα γεωλογικά στρώματα. Τα ευδιάλυτα αυτά άλατα προέρχονται κυρίως από τη διάλυση υλικών των πετρωμάτων.

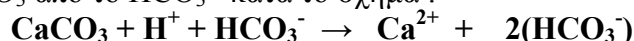
Οι τιμές της αλατότητας είναι μεγαλύτερες εκεί που η κίνηση του νερού είναι μικρότερη. Έτσι, η αλατότητα γενικά αυξάνει με το βάθος. Το παραπάνω γεγονός επιβεβαιώνεται ισχυρά και από τις αναλύσεις που αφορούν το Q1, το οποίο βρίσκεται και βαθύτερα από το δεύτερο σύστημα και κυρίως ανανεώνεται πολύ αργά. Μια συνηθισμένη γεωχημική ακολουθία στα υπόγεια νερά, είναι εκείνη κατά την οποία κοντά στην επιφάνεια απαντούν δισανθρακικά νερά για να μεταπέσουν σε χλωριούχα νερά στους βαθύτερους σχηματισμούς.

Το νερό της βροχής, που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, περιέχει πολύ μικρές ποσότητες διαλυμένων αλάτων. Όταν φθάσει στην επιφάνεια, το νερό αντιδρά με τα ορυκτά του εδάφους και των πετρωμάτων, με τα οποία έρχεται σε επαφή. *Η ποσότητα και ο τύπος των ορυκτών υλικών που διαλύονται εξαρτώνται από την χημική σύσταση και την δομή των πετρωμάτων, από το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh του νερού (Back- Hansaw 1965).* Το διαλυμένο CO_2 που προέρχεται τόσο από την ατμόσφαιρα όσο και από οργανικές διασπάσεις στο έδαφος, αυξάνει την διαλυτική ικανότητα του νερού καθώς το τελευταίο κινείται στο έδαφος (Hem 1970).

Οι παράγοντες που ελέγχουν την αύξηση αυτή των αλάτων στο υπόγειο νερό είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, η δυνατότητα αποστράγγισης του αρδευτικού

νερού, η ποσότητα του χρησιμοποιημένου νερού, το κλίμα και το είδος της καλλιέργειας. Ψηλές αλατότητες συναντώνται σε εδάφη και υδροφόρους των ξηρών γενικά κλιμάτων, όπου η έκπλυση από την βροχή είναι ασήμαντη ώστε να προκαλέσει διάλυση των άλλων αλάτων. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε το γεγονός ότι η περιοχή μελέτης ανήκει στην παραπάνω κλιματική ζώνη με τις χιονοπτώσεις να συμμετέχουν και να επηρεάζουν σε αρκετά μεγάλο βαθμό το όλο φαινόμενο της έκπλυσης των συγκεκριμένων πετρωμάτων, άρα εν τέλει και την χημική σύσταση των υδάτων. Περιοχές με κακή στράγγιση, ιδιαίτερα λεκάνες που έχουν εσωτερική στράγγιση, συχνά παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις. Επίσης μερικές περιοχές περιέχουν υπολείμματα ιζηματογενών αποθέσεων σε αλμυρά νερά και είναι γνωστές σαν **'badlands'** δηλαδή πρόκειται για υποβαθμισμένα (άγονα) εδάφη. Σε αυτά η έλλειψη παραγωγικότητας οφείλεται και στην περίσσεια αλάτων στο έδαφος και στο νερό.

Λόγω της υψηλής διαλυτότητάς τους, σε συνδυασμό με την αφθονία τους στο στερεό φλοιό της γης, τα ιζηματογενή πετρώματα συνεισφέρουν, αυτά κατά κύριο λόγο, στον εμπλουτισμό των υπογείων νερών σε διαλυμένα άλατα. Κατά κανόνα τα κατιόντα που προέρχονται από ιζηματογενή πετρώματα είναι το Ca^{2+} και το Na^+ , ενώ τα συνηθέστερα ανιόντα είναι η δισανθρακική και θεική ρίζα. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις, τα χλωριόντα απαντούν σε πολύ μικρές ποσότητες. Εάν το νερό που είναι εμπλουτισμένο με CO_2 έρθει σε επαφή με ασβεστολιθικά πετρώματα, τότε διαλύεται το CaCO_3 από το HCO_3^- κατά το σχήμα :



Έτσι το CaCO_3 , που βρίσκεται πολύ διαδεδομένο ως αδιάλυτο άλας στη φύση, μετατρέπεται σε όξινο $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ το οποίο είναι πολύ περισσότερο διαλυτό στο νερό.

Καμιά φορά η νιτρική ρίζα είναι ένα σημαντικό φυσικό συστατικό, όμως οι υψηλές συγκεντρώσεις της συχνά αποτελούν δείκτη κάποιας ρύπανσης. Επειδή ακριβώς η περιοχή μελέτης μας, αναφέρεται πάντα σε γενικές γραμμές σε ιζηματογενή πετρώματα, ισχύουν προφανώς όλα τα παραπάνω με ιδιαίτερη έμφαση στο γεγονός της ανθρακικής διάλυσης που λαμβάνει χώρα με την συμμετοχή τόσο των βροχοπτώσεων αλλά κυρίως με το λιώσιμο των χιονιών, που τοποθετούνται ασφαλώς υψομετρικά λίγο υψηλότερα.

Στις ασβεστολιθικές περιοχές τα επικρατούντα ιόντα είναι η δισανθρακική ρίζα και το ασβέστιο. Κάτι που επαληθεύεται ασφαλώς και μέσα από τις χημικές αναλύσεις για την περιοχή μελέτης.

Η σκληρότητα του νερού οφείλεται στην διάλυση από αυτό αλάτων του Ca και Mg. Η διάλυση διευκολύνεται από το CO_2 που ελευθερώνεται από την βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους, εμπλουτίζοντας έτσι το διηθούμενο νερό σε CO_3^{2-} (Sawyer-McCarthy, 1967). Χαμηλό pH προκαλεί την διάλυση των αδιάλυτων ανθρακικών του εδάφους και των ασβεστόλιθων και την μετατροπή τους σε διαλυτά όξινα ανθρακικά άλατα. Διάφορες προσμείξεις που περιέχονται στους ασβεστόλιθους, όπως π.χ., θειικά, χλωριούχα και πυριτικά άλατα διαλύονται επίσης. Έτσι σε περιοχές όπου παχύ έδαφος υπέρκειται ασβεστολιθικών σχηματισμών, το νερό αποκτά μεγάλη σκληρότητα (κάτι ανάλογο συμβαίνει και στην περιοχή μελέτης και ιδιαίτερα μάλιστα στο εσωτερικό των συγκλινικών κοιλάδων). Η τελευταία είναι γνωστή και ως ολική σκληρότητα HT, η οποία συνήθως εκφράζεται σε ισοδύναμο CaCO_3 σε mg/l.

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης συναντάμε συγκεκριμένο στρώμα εδάφους που καλύπτει σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις το κροκαλοπαγές του Μενοικίου, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των συγκλινικών δομών, οι οποίες μάλιστα περιλαμβάνουν τα

μελετούμενα συστήματα QANAT και το πάχος του εδάφους είναι σημαντικό. Αναμένουμε λοιπόν σημαντικές τιμές σκληρότητας (άρα και αλατότητας) στα νερά αυτά, γεγονός που επαληθεύτηκε, όπως είδαμε από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που διενεργήθηκαν.

Η **ολική σκληρότητα (TH)** υπολογίζεται από την συνολική συγκέντρωση των αλκαλίων μέσα στο νερό (Ca, Mg, Sr, Ba) ανεξάρτητα με ποια ανιόντα είναι συνδεδεμένα (**βλ. Πίν. 19**).

Σύμφωνα με τα στοιχεία των **Πινάκων 2 & 5** για την περιοχή μελέτης, η σκληρότητα εκφρασμένη σε γερμανικούς βαθμούς κατά μέσο όρο δίνει τιμές **11,37°** και **16,54° dH** για τα Q2 & Q1 αντίστοιχα. Επομένως λοιπόν κάνουμε λόγο ασφαλώς για σκληρά νερά. Σύμφωνα με τα στοιχεία των **Πινάκων 19 & 22** για την περιοχή μελέτης, η σκληρότητα εκφρασμένη σε γαλλικούς βαθμούς κατά μέσο όρο δίνει τιμές **20,31°** και **29,54° fH** για τα Q2 & Q1 αντίστοιχα. Επομένως λοιπόν (σύμφωνα και με τον **Πίνακα 20**) κάνουμε λόγο ασφαλώς για σκληρά νερά, γεγονός το οποίο δεν είναι απαραίτητα επιβλαβές, όπως διευκρινίζεται λίγο παρακάτω.

Η μόνιμη σκληρότητα είναι πάντα μικρότερη από την ολική σκληρότητα και η διαφορά τους δίνει την παροδική σκληρότητα που οφείλεται στα ευδιάλυτα άλατα. Η σχέση μεταξύ των είναι η εξής: **Ολική = Παροδική + Μόνιμη**

Η παρουσία των παρακάτω αλάτων με την σειρά συχνότητας έχουν σχέση με την σκληρότητα:

- | | |
|--|--|
| 5. $\text{CaCO}_3 - \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ | 5. CaCl_2 |
| 6. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | 6. $\text{MgCO}_3 - \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ |
| 7. CaSO_4 | 7. $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ |
| 8. MgCl_2 | 8. MgSO_4 |

Το νερό για οικιακή χρήση δεν πρέπει να έχει HT μεγαλύτερη από 80mg/l. Τελευταία έχει αναφερθεί (Crowford 1972) ότι παρουσιάζεται μεγαλύτερη συχνότητα στεφανιαίων καρδιακών νοσημάτων σε περιοχές με μαλακό πόσιμο νερό, από ότι σε περιοχές με σκληρό πόσιμο νερό. Οι Neri et al. (1975) αναφέρουν ότι η συχνότητα καρδιακών νοσημάτων είναι επίσης χαμηλή σε περιοχές με πολύ μαλακό πόσιμο νερό. Η ερμηνεία των πιο πάνω φαινομενικά αντικρουόμενων στατιστικών είναι (Bouwer, 1978), ότι τα πολύ μαλακά νερά δεν περιέχουν συνήθως τοξικές ουσίες, ενώ τα σκληρά νερά περιέχουν περισσότερες τοξικές ουσίες αλλά επίσης και αρκετά ανταγωνιστικά των τοξικών ουσιών ορυκτά συστατικά, με αποτέλεσμα τα τελευταία να αδρανοποιούν τις πρώτες.

Τα παραπάνω ασφαλώς ισχύουν και για την περιοχή μελέτης, αυτό όμως δεν σημαίνει ότι τα νερά των συστημάτων δεν πρέπει να υποστούν συγκεκριμένη επεξεργασία ενός ήπιου βαθμού αποσκλήρυνσης (και όχι μόνο), όταν και εφόσον αξιοποιηθούν, ιδίως όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για πόση.

Επίσης ασφαλώς αναμέναμε να βρούμε μεγαλύτερες τιμές σκληρότητας για την περίπτωση του Q1, δεδομένου ότι βρίσκεται και σε μεγαλύτερο βάθος άρα σημειώνεται σε αυτό μεγαλύτερη κατείσδυση, οπότε και μεγαλύτερη επιφόρτιση με άλατα. Επιπλέον τα νερά του συγκεκριμένου συστήματος ανανεώνονται με αρκετά πιο αργούς ρυθμούς από ότι τα νερά του Q2.

Η γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης απλουστεύει τη σύγκριση διαφόρων αναλύσεων και την αξιοποίησή τους. Επίσης με τις γραφικές παραστάσεις και τα διαγράμματα μπορεί να αναγνωριστεί η ανάμειξη νερών διαφορετικής προέλευσης και σύνθεσης, καθώς και η διεργασία που λαμβάνει χώρα κατά τη κίνηση του νερού.

Σύμφωνα με τους πίνακες των αποτελεσμάτων εύκολα διαπιστώνουμε την επικράτηση δύο κυρίως ιόντων στις χημικές αναλύσεις που διεξήχθησαν (του Ca και

του HCO_3), δεδομένου ότι ο κύριος γεωλογικός σχηματισμός που διαρρέουν είναι το περίφημο λατυποκροκαλοπαγές του Μενοικίου, το οποίο συνίσταται με την σειρά του από ασβεστολιθική συγκολλητική ύλη.

Προφανώς τα νερά και των δύο συστημάτων ανήκουν ποιοτικά στην ίδια κατηγορία νερού, αφού οι θέσεις τους σχεδόν συμπίπτουν στα αντίστοιχα διαγράμματα, γεγονός που φανερώνει ότι έχουν και τα δύο συστήματα κοινή πηγή τροφοδοσίας καθώς επίσης ότι διαρρέουν τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς. Η όποια απόκλιση σημειώνεται (μικρή σε βαθμό) θα πρέπει να αποδοθεί κυρίως στο γεγονός ότι το σύστημα Q2 επηρεάζεται πιο γρήγορα και ίσως πιο έντονα από τις όποιες συνθήκες επιφανείας διαμορφώνονται κατά τακτά χρονικά διαστήματα.

Τόσο από τα **ραβδοδιαγράμματα** όσο και από τα αντίστοιχα τύπου **SCHOELLER** είναι εμφανής η διαπίστωση ότι το σύστημα Q2 είναι πιο επιρρεπές στις συνθήκες επιφανείας και ανταποκρίνεται πιο άμεσα στις διακυμάνσεις αυτών, δεδομένου βέβαια ότι είναι και το πιο επιφανειακό από τα δύο συστήματα. Παρατηρούμε ιδιαίτερα στην περίπτωση του Q1 ότι ο μέσος όρος των χημικών αναλύσεων του (κόκκινη γραμμή) σχεδόν ταυτίζεται πλήρως με τις υπόλοιπες γραμμές αναλύσεων με ελάχιστη απόκλιση!

Επίσης από το διάγραμμα ποσιμότητας νερού κατά Waterlot και για τα δύο συστήματα, στο οποίο ξεκάθαρα διαπιστώνεται ότι και τα δύο ανήκουν στις κατηγορίες καλή (Q2) και ικανοποιητική (Q1), με το πρώτο σύστημα να εμφανίζει καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η αιτία προφανώς για το γεγονός αυτό έγκειται ασφαλώς σε όσα ήδη έχουμε αναφέρει έως τώρα για τον τρόπο και τις συνθήκες (φυσικογεωγραφικές και μη) λειτουργίας των δύο συστημάτων καθώς και σε όσα επρόκειτο να λεχθούν σε παρακάτω σημεία. Η παραπάνω διαπίστωση βέβαια δεν σημαίνει ότι τα νερά δεν είναι ανάγκη να τύχουν της όποιας προεπεξεργασίας βελτίωσης των ποιοτικών τους παραμέτρων πριν καταναλωθούν για πόση, το αντίθετο μάλιστα. Το γεγονός όμως αυτό συνεπάγεται συνεχή παρακολούθηση και δειγματοληψία των δύο συστημάτων που θα συνοδεύονται επίσης και από αποτελέσματα πληρέστερων χημικών αναλύσεων.

Σύμφωνα με τους **Πίνακες 25 & 26** μπορούμε να πούμε όσον αφορά τις φάσεις κατιόντων ότι τα νερά και των δύο συστημάτων θεωρούνται **ασβεστονατριούχα**, ενώ σε σχέση με τις φάσεις των ανιόντων μπορούν να θεωρηθούν **οξυανθρακικά**.

Σύμφωνα με τα όσα έχουμε αναφέρει έως τώρα καθώς και με την βοήθεια όλων των διαγραμμάτων, μπορούμε με κάποια μικρή επιφύλαξη να πούμε ότι κατά βάση και τα δύο συστήματα της περιοχής μελέτης ανήκουν στην **ανώτερη υδροχημική ζώνη** με το σύστημα Q1 να εμφανίζει ενίοτε (την ξηρή περίοδο κυρίως) χαρακτηριστικά που συγκαταλέγονται στην ενδιάμεση υδροχημική ζώνη, υποβαθμίζοντας αρκετά την ποιότητά του ιδιαίτερα όταν πρόκειται να καταναλωθεί για πόση.

Η συνολική μεταλλικότητα του υπόγειου νερού αυξάνει με το μήκος της διαδρομής και το χρόνο παραμονής του νερού στο υδροφόρο σύστημα. Ισχύει ιδιαίτερα για το Q1, δεδομένου ότι είναι και το βαθύτερο σύστημα από τα δύο που μελετώνται.

Σε δοσμένο σύστημα, το νερό της περιοχής με το σημαντικότερο εμπλουτισμό, είναι φτωχότερο, σε TDS από το νερό της περιοχής με χαμηλότερο εμπλουτισμό. Το pH του νερού των πρώτων περιοχών είναι συγκρίσιμο με το pH του νερού της βροχής. Ισχύει ασφαλώς το συγκεκριμένο γεγονός για το σύστημα Q1, το οποίο χαρακτηρίζεται από άμεσο εμπλουτισμό άρα η όποια σύστασή του θα βρίσκεται πιο κοντά σε αυτή του μετεωρικού νερού.

Συχνά ο λόγος $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ ελαττώνεται κατά τη διεύθυνση της ροής του υπόγειου νερού. Δεν διαθέτουμε επαρκή δεδομένα για το στοιχείο αυτό, όσον αφορά την περιοχή μελέτης. Επειδή όμως τα δύο συστήματα είναι γενικά κοντά ή μέσα σε ζώνες εμπλουτισμού των υδροφόρων καθώς επίσης τοποθετούνται υψομετρικά κυρίως πάνω

από καλλιεργούμενες εκτάσεις, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι δεν επιβαρύνονται σημαντικά από την χρήση λιπασμάτων και γενικότερα ρυπαντών που προέρχονται από καλλιέργεια εδαφών. Αναμένουμε λοιπόν, οι τιμές του παραπάνω λόγου να μην είναι μεγάλες και να κινούνται σε επιτρεπτά πλαίσια.

Στις περιοχές εμπλουτισμού, που αποτελούνται από σύναγμα ή καρστικούς ασβεστόλιθους, το νερό περιέχει διαλυμένο οξυγόνο πάνω από 0,1mg/l. Το αντίθετο συμβαίνει, όταν οι περιοχές εμπλουτισμού αποτελούνται από αργιλικά ή πηλούχα υλικά, οπότε το νερό είναι φτωχό σε διαλυμένο οξυγόνο. Στις περιοχές που δεν υπάρχει κάλυμμα πάνω στα ρωγματοωμένα πετρώματα, το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται σε επίπεδα ανίχνευσης, σε όλο σχεδόν το σύστημα ροής. Σύμφωνα με τις δύο τελευταίες παρατηρήσεις, μπορούμε να πούμε ότι και στα δύο συστήματα (και ιδιαίτερα στο Q2) αναμένουμε σημαντικές τιμές διαλυμένου οξυγόνου, γεγονός που δικαιολογεί την παρουσία της διαλυτικής (διαβρωτικής) δράσης του νερού καθώς αυτό διαρρέει τους γεωλογικούς σχηματισμούς έτσι ώστε να εμπλουτίζεται στα συστατικά που έχουμε μετρήσει. Φυσικά οι δύο αυτές συνθήκες διαφοροποιούνται ισχυρά (συμβαίνει μέχρι και αναστροφή τους πέρα από ένα σημείο) μέσα στους σωλήνες των δύο συστημάτων, με τελική συνέπεια, μετά την πάροδο όχι απαραίτητα μεγάλου χρονικού διαστήματος, να σημειώνονται φαινόμενα απόθεσης συγκεκριμένων ιζημάτων. Το τελευταίο φαινόμενο θα λέγαμε ότι χρήζει ιδιαίτερης προσοχής και άμεσης πρόληψης για κάθε τέτοιο σύστημα.

Για την ερμηνεία των χημικών αναλύσεων σύμφωνα με τους Mandel – Shiftan (1981) προκύπτουν τα εξής:

1. Έχουμε τονίσει ήδη ότι για την περιοχή μελέτης η συμμετοχή του βρόχινου νερού αλλά και του νερού που προέρχεται από το λιώσιμο του χιονιού είναι σημαντική στη διαμόρφωση της χημικής σύστασης των υδάτων των συγκεκριμένων συστημάτων.
2. Ειδικότερα δεν αναμένουμε πολύ σημαντικές αποκλίσεις από τη χημική σύσταση γενικότερα των κατακρημνισμάτων και μάλιστα στα κύρια συστατικά των υδάτων στα μελετούμενα συστήματα, δεδομένου ότι βρίσκονται σε μικρά βάθη (ζώνη διηθήσεως των υδάτων).
3. Αναγνωρίζουμε τις πιο σημαντικές αλλαγές της χημικής σύστασης του νερού, σε σχέση με το μήκος διαδρομής, το βάθος και το χρόνο. Ειδικότερα οι όποιες αποκλίσεις - διαφοροποιήσεις που σημειώνονται οφείλονται στην επαφή των νερών πρώτα με τα κροκαλοπαγή και κατά δεύτερον με την μάργα (όπου στην επαφή με την τελευταία λαμβάνουν χώρα σε μικρή έκταση φαινόμενα ιοντοανταλλαγής).
4. Διατυπώνουμε υποθετικές ερμηνείες για τις παρατηρούμενες αποκλίσεις και αλλαγές (2 και 3).
5. Αναζητούμε υδρογεωλογικές μαρτυρίες (γεωυδρολογικές συλλογιστικές), που να εξηγούν τις πιο πάνω υποθέσεις (4). Εάν πιθανολογείται ανάμειξη των νερών, τότε, κάπου στη περιοχή έρευνας, δύο διακρινόμενα 'ακραία' μέλη (νερά) πρέπει να έρχονται μεταξύ τους σε υδρογεωλογική επαφή. Εάν πιθανολογείται ιοντική ανταλλαγή, θα πρέπει να αποδειχτεί η επαφή με τα ορυκτά της ανταλλαγής. Ειδικότερα στην περιοχή μελέτης δεν σημειώνεται καθόλου ανάμειξη νερών σε κανένα από τα δύο συστήματα. Παρατηρούνται όμως φαινόμενα ιοντοανταλλαγής, σε μικρή σχετικά όμως έκταση που ασφαλώς δεν αλλοιώνουν σημαντικά τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων.
6. Εισάγουμε στη συνέχεια τις διορθώσεις από την καθίζηση (ίζημα) του ασβεστίτη ή/και της γύψου, όταν οι συγκεντρώσεις αυτών είναι αρκετά υψηλές. Συγκεκριμένα για την περιοχή μελέτης, οι συγκεντρώσεις των ιόντων και μάλιστα των HCO_3 είναι τέτοιες (> από 60mg/l) που δεν επιτρέπουν την καθίζηση ασβεστίτη ή άλλων υλικών, αναφερόμενοι πάντα κατά μήκος της επιφάνειας επαφής των δυο συγκεκριμένων

γεωλογικών σχηματισμών. Επομένως κατά μήκος της παραπάνω επιφάνειας πραγματοποιείται ουσιαστικά διάλυση (ή ακόμα και ανταλλαγή ιόντων) υλικού. Επιπλέον κατά μήκος της επιφάνειας δεν σημειώνεται και σημαντική διαφυγή αερίων (άρα και CO_2) για να έχουμε εκ νέου απόθεση ασβεστίτη κατά κύριο λόγο.

7. Ερμηνεύουμε την παρουσία και τις συγκεντρώσεις των δευτερευόντων συστατικών όπως των NO_3 , H_2S , F, Si και βασίζουμε τις ερμηνείες σε υδρογεωλογικές συλλογιστικές. Ειδικότερα για την περιοχή μελέτης θυμίζουμε πως δεν έχουν πραγματοποιηθεί **πλήρεις** χημικές αναλύσεις παρά μόνο μερικές, οπότε λοιπόν δεν έχουμε στην διάθεσή μας ούτε όλα τα κύρια συστατικά αλλά ούτε και τα δευτερεύοντα για να προχωρήσουμε σε πλήρεις ερμηνείες ή σε πιο σύνθετες υδρογεωλογικές συλλογιστικές.

Όπως φαίνεται και στους **Πίνακες 18Α & 18Β**, για την περιοχή μελέτης, οι τιμές του Cl κατά μέσο όρο για τα Q1 & Q2 είναι 19,25 και 11,74 mg/l αντίστοιχα. Σύμφωνα με του **Πίνακες 28Α & 28Β**, διαπιστώνεται καθαρά ότι τα νερά και των δύο συστημάτων ανήκουν στον **τύπο II** κατά κύριο λόγο με το Q1 κατά ορισμένες περιόδους να μεταπίπτει και στον **τύπο III**. Σύμφωνα με του **Πίνακες 8 & 9**, διαπιστώνεται καθαρά ότι τα νερά και των δύο συστημάτων αναφέρονται στην πρώτη κατηγορία (ανθρακικά νερά) από τις παραπάνω δύο πολύ γενικές κατηγορίες. Από όλα τα παραπάνω αδιαμφισβήτητα μπορούμε να κατατάξουμε τα νερά των δύο συστημάτων στην πρώτη κατηγορία της ταξινόμησης κατά ALEKIN (1962) και μάλιστα στην υποδιαίρεση των **ανθρακικών υδάτων** (Ca – HCO_3 νερά). Σύμφωνα με τον **Πίνακα 29Α** που ακολουθεί, διαπιστώνουμε ότι οι μέσες τιμές του ιοντικού λόγου Mg/Ca είναι 0,36 & 0,14 για τα συστήματα Q2 & Q1 αντίστοιχα, προσεγγίζοντας προφανώς περισσότερο τις τιμές που αναφέρονται στην περίπτωση των ασβεστολιθικών υδροφόρων.

Κοντά στις περιοχές τροφοδοσίας των υδροφόρων επικρατούν, ανάμεσα στα ανιόντα, τα οξυανθρακικά, η συγκέντρωση των οποίων αυξάνει συνήθως μέχρι ενός ορίου που καθορίζεται από το γινόμενο διαλυτότητας του CaCO_3 . Οι συγκεντρώσεις SO_4^{2-} και Cl αυξάνουν επίσης προς τα κατάντη. Οι συγκεντρώσεις όμως Cl αυξάνουν πιο γρήγορα, μέχρις ότου τα χλωριόντα γίνουν το ιόν που επικρατεί παρά το γεγονός ότι η συγκέντρωση SO_4^{2-} αυξάνει συνεχώς μια και δεν φθάνει στο γινόμενο διαλυτότητας του CaSO_4 .

Σύμφωνα με τον **Πίνακα 29Β** που ακολουθεί, διαπιστώνουμε ότι οι μέσες τιμές του ιοντικού λόγου HCO_3/Cl είναι 10,1 & 8,41 για τα συστήματα Q2 & Q1 αντίστοιχα, όπου αναμένουμε να βρούμε ότι ο συγκεκριμένος ιοντικός λόγος του Q2 > από τον αντίστοιχο λόγο του Q1, δεδομένου ότι το Q1 βρίσκεται βαθύτερα όπου η σύσταση του νερού του ανανεώνεται πιο αργά συγκριτικά με αυτή του Q2. Αφού το Cl, σαν συγκέντρωση, είναι πολύ μικρό και δεδομένου ότι τα φαινόμενα ιοντοανταλλαγής είναι μικρής έκτασης συνάγεται το συμπέρασμα ότι και το Na ως συγκέντρωση είναι μικρό άρα και η σχέση $(\text{Ca} + \text{Mg})/(\text{K} + \text{Na}) > 1$ ή περίπου 1, οπότε πράγματι βρισκόμαστε σε θέσεις που είναι πολύ κοντά στις περιοχές εμπλουτισμού των υδροφόρων, αναφορικά πάντα με την περιοχή μελέτης των συστημάτων.

Ο βασικός παράγοντας που ελέγχει το χημισμό του νερού στα ιζηματογενή πετρώματα είναι η σειρά με την οποία το νερό διασχίζει τους διάφορους ορυκτολογικούς συνδυασμούς, κατά την κίνηση του στους ιζηματογενείς υδροφόρους. Τούτο σημαίνει ότι το νερό κατά την κίνησή του μέσα από τα στρώματα υπόκειται σε διαδοχικές μεταβολές του γεωχημικού χαρακτήρα, που επιβάλλονται από νέους θερμοδυναμικούς περιορισμούς, ορυκτολογικά ελεγχόμενους. Έτσι, το νερό μπορεί να φτάσει σε ορισμένα στρώματα σε τοπική ισορροπία, σε σχέση με μερικές φάσεις, η συνεχής όμως κίνησή του προκαλεί διαταραχές της ισορροπίας, καθώς περνά από στρώματα διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης.

Σημαντικό ρόλο πάντως στη διαμόρφωση του γεωχημικού χαρακτήρα του υπόγειου νερού παίζουν οι εξής παράγοντες:

- Η διάλυση των ανθρακικών ορυκτών και μικρών ποσοτήτων γύψου, η οποία επηρεάζει την ιοντική συγκέντρωση στο νερό.
- Η διάλυση αστρίων, μαρμαρυγιών και αργιλικών ορυκτών.

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης σημειώνεται κατά κύριο λόγο και πρωταρχικά η διάλυση της ανθρακικής συγκολλητικής ύλης που επηρεάζει και καθορίζει ουσιαστικά την συμμετοχή συγκεκριμένων ιόντων στη σύσταση των νερών, προσδίδοντάς τους τον χαρακτηρισμό σαν ανθρακικά (αλκαλικά) νερά. Δευτερευόντως έρχεται να επηρεάσει την σύσταση των νερών η διάλυση που σημειώνεται στους μαργαϊκούς σχηματισμούς. Τέλος μικρότερη ποσοτικά συμμετοχή ή επίδραση έχει η διάλυση που σημειώνεται πάνω στα υλικά του υποβάθρου που αποτελούν τον κύριο όγκο των κροκαλοπαγών του Μενοικίου. Τα νατριούχα – οξυανθρακικά αυτά νερά δημιουργούνται από τη συνδυασμένη δράση της ιοντικής ανταλλαγής και της διάλυσης ασβεστίτη και δολομίτη, σε στρώματα πλούσια σε ασβεστίτη, δολομίτη και αργιλικά ορυκτά, με Na που μπορεί να ανταλλαχτεί, κατά τις αντιδράσεις (Freeze – Cherry, 1979).

Αναφορικά με τα δύο συστήματα μελέτης, τόσο η θέση τους (κυρίως το βάθος από την επιφάνεια) όσο και οι γενικότερες συνθήκες φυσικής λειτουργίας τους υποδηλώνουν ότι η διάλυση που σημειώνεται στο ευρύτερο χώρο διαμόρφωσής τους, ανήκει στον ανοιχτό τύπο διάλυσης. Ας μην ξεχνάμε άλλωστε ότι αναφερόμαστε σε υδροφόρους ορίζοντες που χαρακτηρίζονται και ως ελεύθεροι ορίζοντες, άρα και η όποια μεταβολή σημειώνεται σε αυτούς εξαρτάται άμεσα και κατά πολύ από τις συνθήκες επιφάνειας. Γενικά, οι μεταβολές της ποιότητας του νερού είναι πιο συνηθισμένες στους αβαθείς υδροφόρους ορίζοντες, όπου οι εποχικές διακυμάνσεις εισροών και εκροών προκαλούν διακυμάνσεις της αλατότητας. Το συγκεκριμένο γεγονός, από όλα όσα έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα για την ποιότητα των νερών των δύο συστημάτων, φαίνεται να επαληθεύεται σε μεγάλο βαθμό μέσω της ερμηνείας των χημικών αναλύσεων που έχουμε πραγματοποιήσει.

Το ίδιο αποτέλεσμα συμβαίνει και όταν το νερό διαλύει αρχικά ασβεστίτη, μέχρι να κορεστεί και μετά να φτάσει σε δολομιτική ζώνη. Η μοριακή σχέση Ca^{2+}/Mg^{2+} στο νερό εξαρτάται από την διαδοχική κατανομή δολομίτη και ασβεστίτη, την σύγχρονη διάλυσή τους, την θερμοκρασία, το ποσόν του CO_2 κ.α.

Τέλος, εάν συγκρίνουμε τα δεδομένα του **Πίνακα 30** με αυτά των **Πινάκων 18Α & 18Β**, θα διαπιστώσουμε ότι το συγκεκριμένο κροκαλοπαγές παρουσιάζει ένα χαρακτήρα υδροφόρου πετρώματος που εντοπίζεται ανάμεσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς του ασβεστόλιθου και του καλκαρενίτη, με τα χαρακτηριστικά του πρώτου να επικρατούν ελαφρώς ιδίως στην περίπτωση του Q2 που λειτουργεί κατάλληλα και σωστά.

Σε μια φυσική ανάλυση του νερού περιλαμβάνεται η μέτρηση της θερμοκρασίας, σε βαθμούς Κελσίου, κατά την ώρα της δειγματοληψίας, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να σημειώνεται και η θερμοκρασία του αέρα. Το χρώμα του νερού, που μπορεί να οφείλεται στην παρουσία ορυκτών ή οργανικών ουσιών διαλυμένων στο νερό, σημειώνεται σε mg/l συγκριτικά με υποδειγματικά διαλύματα (Todd, 1980). Η θολρότητα, είναι ένα μέτρο των κolloειδών και αιωρούμενων υλικών π.χ. άργιλος, ιλύς, μικροσκοπικοί οργανισμοί, οργανικές ύλες και μετρίεται σε μονάδες θολρότητας. Η γεύση και η οσμή, μπορεί να οφείλονται σε βακτήρια, διαλυμένα αέρια, ορυκτά ή φαινόλες. Έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ποσοτικού προσδιορισμού της γεύσης και της οσμής, βασισμένες στη μέτρηση της διαλυτικής ικανότητας του νερού.

Τα νερά τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως πόσιμα θα πρέπει να πληρούν αυξημένες απαιτήσεις από φυσικής, χημικής και βιολογικής άποψης. Το νερό θα πρέπει να είναι χωνευτικό, διαυγές, άχρωμο, άγευστο και να έχει σταθερή

θερμοκρασία. Η θερμοκρασία ενδεικτικά για την Κεντρική Ευρώπη πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ανάμεσα στους **8-12°C**. Σε περιοχές με μεγαλύτερη ή μικρότερη μέση ετήσια θερμοκρασία θα πρέπει να είναι ανάλογα μεγαλύτερη ή μικρότερη. Επομένως στην περιοχή μελέτης το παραπάνω διάστημα μεταπίπτει ενδεικτικά στο διάστημα **12 – 16°C** ή ίσως και λίγο παραπάνω.

Στην περιοχή μελέτης το νερό του συστήματος Q2, καθαρά οπτικά παρατηρώντας το είναι εντελώς άχρωμο. Το άλλο σύστημα ενίοτε χρωματίζεται ελαφρώς κιτρινωπά. Στην περιοχή μελέτης το νερό του συστήματος Q2, καθαρά οπτικά παρατηρώντας το, διαπιστώνουμε ελάχιστα αιωρούμενα σωματίδια σε αντίθεση με το νερό του Q1, στο οποίο τα τελευταία είναι πολλά. Στην περιοχή μελέτης το νερό του συστήματος Q1 μόνο μυρίζει ελαφρώς, όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω. Στην περιοχή μελέτης μόνο το νερό του συστήματος Q2 παρουσιάζεται με ευχάριστη γεύση.

Σύμφωνα με τις τιμές του **Πίνακα 31** διαπιστώνουμε ότι οι θερμοκρασίες νερού και των δύο συστημάτων εμπίπτουν σε εκείνο το θερμοκρασιακό εύρος το οποίο χαρακτηρίζεται ως επιθυμητό.

Σύμφωνα με τον **Πίνακα 32**, διαπιστώνουμε ένα σαφώς αλκαλικό χαρακτήρα των νερών των συστημάτων Q2 & Q1 δεδομένου ότι κατά μέσο όρο σημειώνονται τιμές Ph **7,44** και **7,30** αντίστοιχα. Δεν θα πρέπει να μας προξενεί έκπληξη το γεγονός ότι το Ph του Q2 είναι μεγαλύτερο από αυτό του Q1, διότι το πρώτο είναι πιο κοντά στην επιφάνεια και δέχεται άμεσα την επιδρασή της, επομένως είναι πιο ευάλωτο και στην ρύπανση. Αυτό διαπιστώνεται εξάλλου και από το γεγονός ότι οι μισές σχεδόν τιμές του Q2 ξεπερνούν το όριο του 7,5. Το γεγονός αυτό συνιστά σοβαρή ένδειξη ρύπανσης του νερού του συστήματος από την επιφάνεια.

Σύμφωνα με τον **Πίνακα 33**, διαπιστώνουμε ότι το Q1 είναι σαφώς πιο επιφορτισμένο σε άλατα από ότι το Q2 κυρίως για δύο λόγους. Πρώτος και κύριος λόγος είναι αυτός που αφορά το γεγονός της πολύ αργής ανανέωσης των νερών του συστήματος, άρα τα νερά παραμένουν πολύ χρόνο σε επαφή με τα πετρώματα που διαρρέουν με συνέπεια να επιφορτίζονται με άλατα, δεδομένου ότι και η ανανέωση είναι σχεδόν απύσχα. Όπως και να έχει και τα δύο συστήματα είναι αρκετά έως πολύ επιφορτισμένα με άλατα, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη, αναφορικά με το θέμα της περαιτέρω αξιοποίησης των συστημάτων. Ακόμα και εάν οι αντίστοιχες τιμές του Q2 είναι μέσα στα γενικά αποδεκτά όρια ποσιμότητας, εντούτοις οι τιμές του θεωρούνται σχετικά υψηλές. Εάν το συγκεκριμένο γεγονός συνδυαστεί με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και για το Ph του ίδιου συστήματος, καταλαβαίνουμε ότι το νερό του έχει υποστεί όντως μια ποιοτική υποβάθμιση.

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 7**, γίνεται εμφανής η εξάρτηση της αγωγιμότητας (αλατότητας) των υδάτων από τις τιμές της βροχόπτωσης και ιδιαίτερα από την κατανομή αυτής. Ειδικότερα ενώ η αλατότητα ξεκινά με σταθερή τιμή, αργά να ακολουθήσει την πτώση της βροχόπτωσης κατά 1 μήνα (ίσως και λίγο παραπάνω). Η καθυστέρηση αυτή αντιστοιχεί ασφαλώς στο διάστημα που απαιτείται για να λιώσουν τα χιόνια, να εισέλθουν στην γενική κυκλοφορία και να διαλύσουν όσο υλικό επιτρέπουν οι ιδιαίτερες κάθε φορά φυσικοχημικές συνθήκες τους πριν εξέλθουν από το σύστημα. Ας μην λησμονούμε στο σημείο αυτό το γεγονός ότι η ικανότητα διάλυσης του νερού που προέρχεται από το λιώσιμο του χιονιού είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της βροχοσταγόνας, ιδίως όταν μεσολαβεί και στρώμα εδάφους, το οποίο ενισχύει την διαλυτική ικανότητα των διηθούμενων πλέον υδάτων. Το παραπάνω γεγονός επιβεβαιώνεται και από την παρατήρηση ότι κατά τους θερινούς μήνες, ενώ έχουμε μείωση ασφαλώς των βροχοπτώσεων, αυτή δεν ακολουθείται από αντίστοιχη μείωση της αλατότητας αλλά εμφανίζεται με σταθερές

τιμές καθόλη την διάρκεια της ξηρής περιόδου. Η διαπίστωση αυτή είναι εξαιρετικής σημασίας από κάθε άποψη (τρόπου λειτουργίας, υγειονομικής κ.α).

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 8** γίνεται εμφανής η σχέση της αγωγιμότητας (αλατότητας) των υδάτων από τις τιμές της παροχής και ιδιαίτερα κατά την χειμερινή περίοδο παρατηρούμε ότι μείωση των τιμών της αλατότητας συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της παροχής. Η αμφίδρομη όμως σχέση αυτή στην πραγματικότητα δεν υφίσταται, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την παρατήρηση ότι κατά την θερινή περίοδο η αντίστοιχη μείωση της παροχής συνοδεύεται από σταθερές τιμές αλατότητας που δεν δείχνουν να επηρεάζονται διόλου από την πτώση των τιμών παροχής. Επομένως η παραπάνω σχέση ερμηνεύεται ως εξής: Η συγκεκριμένη αντίθεση που σημειώνεται την χειμερινή περίοδο είναι ουσιαστικά άμεση συνέπεια του γεγονότος της χρονικής υστέρησης των 30 ημερών περίπου που απαιτούνται για να ανταποκριθεί το όλο σύστημα QANAT στις συνθήκες επιφανείας καθώς και στις διακυμάνσεις αυτών. Το γεγονός αυτό άλλωστε επαληθεύεται και από την μελέτη των **διαγραμμάτων 1 & 2**, όπως έχουμε επισημάνει σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Συνήθως προσδιορίζεται ο πιο πιθανός αριθμός κολοβακτηρίων (MPN) σε έναν ορισμένο όγκο νερού. Με ανάλυση ενός αριθμού δειγμάτων νερού, είναι δυνατός ο προσδιορισμός του πιο πιθανού αριθμού κολοβακτηρίων, από πίνακες ή νομογράμματα πιθανοτήτων. Για την περιοχή μελέτης δεν κατέστη δυνατός ο συγκεκριμένος υπολογισμός, ο οποίος είναι απαραίτητο να γίνει σε περίπτωση αξιοποίησης των συστημάτων και πριν από οποιαδήποτε χρήση διότι εκτός των άλλων συνιστά και **δείκτης ρύπανσης** ο συγκεκριμένος αριθμός. Για την περιοχή μελέτης συνίσταται ως συχνότητα δειγματοληψίας ενός δείγματος ανά εξάμηνο για πλήρη χημική ανάλυση καθώς και για μικροβιολογικές αναλύσεις, που εκλείπουν παντελώς από την περιοχή και κρίνονται και άμεσες και απαραίτητες να πραγματοποιηθούν.

Το pH πρέπει να βρίσκεται γύρω στο 7, αλλά με επεξεργασία μπορεί να αντιμετωπισθεί η χρήση νερού με pH 5-9. Πέρα από αυτά τα όρια, η επεξεργασία του νερού για να φθάσει τη τιμή 7, γίνεται αντιοικονομική. Το χρώμα του υπόγειου νερού είναι δυνατόν να επηρεασθεί από οργανικά συστατικά, προερχόμενα από τύρφη ή λάσπη. Ο χρωματισμός αυτός μπορεί να αντιμετωπιστεί με φιλτράρισμα μέσα από ρητίνες. Γεύση και οσμή μπορεί να οφείλονται στον Fe, το H₂S και σε διαλυμένες οργανικές ουσίες.

Συχνά οι φυσικοί και οι μικροβιολογικοί χαρακτήρες του νερού ή ακόμα και οι χημικοί του, κάνουν αναγκαία την επεξεργασία του, προκειμένου να ικανοποιηθούν τα σταθερότυπα ποσιμότητας. Άλλοτε η επεξεργασία είναι προληπτική, πάντα όμως το νερό, ανεξαρτήτως προέλευσης και αν ακόμα είναι άριστης ποιότητας, χρειάζεται κάποια ελάχιστη επεξεργασία, πριν διατεθεί στη κατανάλωση (χλωρίωση ή οζόνωση) – πόσο μάλλον για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, σύμφωνα με όσα έχουμε πει έως τώρα. Η μέθοδος επεξεργασίας του πόσιμου νερού και ιδιαίτερα ο βαθμός επεξεργασίας, εξαρτιούνται από τη προέλευσή του και τα φυσικοχημικά και μικροβιολογικά του χαρακτηριστικά, γεγονός που έρχεται να κάνει πιο επιτακτική την ανάγκη για πιο συχνές και πλήρεις χημικές αναλύσεις αναφορικά με την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων των συστημάτων αυτών.

Θετικές τιμές του SI, μαρτυρούν τη τάση του νερού να αποθέτει CaCO₃ ή άλλα ορυκτά, ενώ αρνητικές τιμές, μαρτυρούν τη τάση να διαλύει CaCO₃ ή άλλα ορυκτά. Στην περίπτωση που παρατηρείται SI = 1 τότε το νερό ούτε διαλύει ούτε αποθέτει άλατα, δηλαδή είναι κορεσμένο σε CaCO₃ ή άλλα ορυκτά. *Αναφορικά με την περιοχή μελέτης έχουμε αναφερθεί στην απόθεση αλάτων ασβεστιτικών σε πήλινους σωλήνες με*

μεγάλους ρυθμούς απόθεσης. Στις περιπτώσεις αυτές μπορούμε ανεπιφύλακτα να αποδεχτούμε τιμές του $SI > 1$. Γύρω από την περιοχή μελέτης, μπορούμε να πούμε με αρκετή επιφύλαξη όμως, ότι πραγματοποιείται απόθεση αλάτων με μεγαλύτερη ίσως αυτή του συστήματος Q2, δεδομένου ότι είναι πιο κοντά σε κατάσταση κορεσμού αφού παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε άλατα. Ο ρυθμός απόθεσης κατά μήκος της διαδρομής των νερών μέσα στα δύο συστήματα (και όχι στους σωλήνες) είναι μικρός εάν λάβουμε υπόψη το Ph των νερών αλλά και το θερμοκρασιακό τους εύρος. Επομένως οι τιμές του (St_i) θα κυμαίνεται στο διάστημα 6 – 8.

Οι ποιοτικές απαιτήσεις αρδευτικού νερού ποικίλουν ανάμεσα στα είδη των καλλιεργειών, τους τύπους των εδαφών, τη στράγγισή τους και το κλίμα. Έτσι δεν υπάρχουν αυστηρά σταθερότυπα και ένα νερό χαμηλής ποιότητας για την άρδευση μιας περιοχής μπορεί να είναι καλής ποιότητας για μια άλλη περιοχή. Από την άλλη μεριά, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές αντιμετώπισης των προβλημάτων από τη χρήση αλατούχου νερού π.χ. καλλιέργεια σε αυλάκια και μάλιστα πλευρικά και όχι στη κορυφή τους, ώστε τα φυτά να βρίσκονται μακριά από τη ζώνη συγκέντρωσης των αλάτων, ανάπτυξη καλλιεργειών ανθεκτικών σε υψηλές περιεκτικότητες αλάτων στο νερό, εφαρμογή της στάγδην άρδευσης κλπ. **Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας όμως είναι η στράγγιση των εδαφών.** Εάν ένα έδαφος στραγγίζεται και αερίζεται καλά, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδυσή του νερό υψηλής αλατότητας. Κακή στράγγιση επιτρέπει τη συγκέντρωση αλάτων στη ριζική ζώνη όπου σχηματίζεται μια τοξική ζώνη. Επιτακτική είναι η ανάγκη διατήρησης ενός ισοζυγίου αλάτων, όπου το TDS που εισάγεται ετήσια στην περιοχή με το νερό της άρδευσης, πρέπει να υπολείπεται του συνόλου των αλάτων, που απομακρύνονται με το στραγγιζόμενο νερό. Ο Ayer (1975), ανέπτυξε μια σειρά βασικών κριτηρίων για την ερμηνεία της επίδρασης της ποιότητας του νερού πάνω στην άρδευση (Πίνακας 36). Πέρα από το TDS, το SAR ή **Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου**, είναι ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια για την ποιότητα του αρδευτικού εδάφους διότι αποτελεί ένας πολύ καλός δείκτης αναφορικά με την υδροπερατότητα του εδάφους (σημαντική ή όχι) καθώς επίσης και για την δυνατότητα επαρκούς αερισμού και καλής στράγγισης των εδαφών που αρδεύονται.

Οι απαιτήσεις στο χημισμό του νερού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, κυμαίνονται ανάλογα με τις απαιτήσεις των φυτών, καθώς επίσης και με την ποιότητα του εδάφους. Από τα ιόντα που υπάρχουν συνήθως στο νερό το Cl^- , SO_4^{2-} και το Na^+ είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα. Η συνολική περιεκτικότητα σε αλακάλεα (Na^+ , K^+) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 30 mval% του αθροίσματος των κατιόντων ($Na^+ + K^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}$). Επίσης σε πολλά φυτά το βόριο δρα ως τοξικό και σε ευπαθή φυτά η περιεκτικότητα σε HBO_3 δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,5mg/l. Γενικά αντί της οριοθέτησης της αλατότητας στο αρδευτικό νερό, η ποιότητα του τελευταίου περιγράφεται με τα όρια της ειδικής αγωγιμότητας (που εκφράζει το TDS), της περιεκτικότητας Na και B και τέλος με το SAR (βλ.Σχ. 43).

Νερό αρδεύσεων που περιέχει μεγάλη ποσότητα Na, ως μέρος της συγκέντρωσης των κατιόντων μπορεί να εκτοπίσει τα κατιόντα Ca και Mg από τα αργιλικά ορυκτά του εδάφους, τα οποία αντικαθίστανται από Na (φαινόμενο ιοντοανταλλαγής). Εδάφη κορεσμένα σε Na χάνουν την διαπερατότητά τους, έτσι ώστε να ελαττώνεται η γονιμότητά τους και η δυνατότητα καλλιέργειάς τους. Το φαινόμενο αυτό είναι όμως αντιστρεπτό, έτσι ώστε με την προσθήκη μιας κατάλληλης ουσίας, συνήθως γύψου, μπορούν τα εδάφη να επαναποκτήσουν τις φυσικές ιδιότητες και την γονιμότητά τους. Το Na όπως προαναφέρθηκε δημιουργεί αποκροκκίδωση του εδάφους – κατά την ανταλλαγή ιόντων του με ιόντα Ca – και έτσι προκαλεί μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Εδάφη πλούσια σε Na, ονομάζονται αλκαλικά μεν

όταν το ανιόν που επικρατεί είναι η ανθρακική ρίζα, αλατούχα δε όταν το ανιόν που επικρατεί είναι τι χλώριο ή η θειϊκή ρίζα. Κανονικά και τα δύο είδη εδαφών όταν είναι κορεσμένα σε Na είναι χαμηλής ή και μηδενικής παραγωγικότητας. Το B σε πολύ μικρές ποσότητες είναι απαραίτητο για την κανονική ανάπτυξη όλων των φυτών, αλλά σε μεγαλύτερες ποσότητες γίνεται τοξικό.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και με την βοήθεια του Σχ. 43 μπορούμε να πούμε ότι τα μελετούμενα ύδατα ανήκουν στις κατηγορίες C2S1, C2S2 & C3S1. Ειδικότερα οι δύο πρώτες κατηγορίες αναφέρονται σε νερά με ποιότητα μέτρια έως καλή που μπορεί να χρησιμοποιούνται με σχετική προφύλαξη σε μη καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη και για ευαίσθητα φυτά. Η τρίτη κατηγορία αναφέρεται σε νερά με μέτρια ποιότητα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν εάν το έδαφος αποστραγγίζεται καλά ή εάν προστίθεται γύψος σε αυτό.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 36 και όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, τα νερά των συστημάτων της περιοχής μελέτης απαιτείται να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία και για την χρήση τους ως αρδευτικά κυρίως σε σχέση με την συνολική αλατότητά τους (TDS) αλλά και με τις συγκεντρώσεις των HCO_3 . Σε γενικές γραμμές τα συγκεκριμένα νερά μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλα για άρδευση.

Επομένως δικαιολογείται και από πρακτική άποψη το γεγονός της κατασκευής συγκεκριμένου χωμάτινου φράγματος στην περιοχή μελέτης από τους κατοίκους για την επιπλέον άρδευση 1000 περίπου στρεμμάτων, δεδομένου ότι τα νερά της περιοχής είναι κατάλληλα για τέτοια χρήση.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 37 για την περιοχή μελέτης εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι τα νερά και των δύο συστημάτων αναφορικά με την ειδική αγωγιμότητα ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία, ενώ όσον αφορά τα χλωριόντα κατατάσσονται στην πρώτη κατηγορία με το νερό του Q2 ασφαλώς να υπερτερεί ποιοτικά συγκριτικά με το Q1, δεδομένου ότι το τελευταίο είναι ιδιαίτερα φορτισμένο σε άλατα όπως έχουμε επισημάνει. Επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ποιότητα (δυνατότητα στράγγισης) των εδαφών που πρόκειται να φιλοξενήσουν τις ποσότητες των συγκεκριμένων υδάτων. Μια καλή ένδειξη της δυνατότητας αυτής αποτελεί ο δείκτης S.A.R., τον οποίο έχουμε αναφέρει προηγούμενα.

Γενικά, οι μεταβολές της ποιότητας του νερού είναι πιο συνηθισμένες στους αβαθείς υδροφόρους ορίζοντες, όπου οι εποχικές διακυμάνσεις εισροών και εκροών προκαλούν διακυμάνσεις της αλατότητας. Το συγκεκριμένο γεγονός, από όλα όσα έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα για την ποιότητα των νερών των δύο συστημάτων, φαίνεται να επαληθεύεται σε μεγάλο βαθμό μέσω της ερμηνείας των χημικών αναλύσεων που έχουμε πραγματοποιήσει.

Με την λειτουργία ή την αδρανοποίηση των Qanat συνδέεται επίσης σε πολλές περιπτώσεις η υδρογραφία της περιοχής έρευνας. Όπως φαίνεται και στο ΧΑΡΤΗ 3 του Παραρτήματος, η ροή νερού στους μεγαλύτερους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου άλλοτε είναι συνεχής και άλλοτε εποχιακή. Στην περιοχή έρευνας όμως η συνεχή ροή ορισμένων κλάδων δεν μπορεί να δικαιολογηθεί με βάση τους παραπάνω παράγοντες. Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η άγνοια της ύπαρξης αδρανών ή μη Qanat σε μια περιοχή μπορεί να οδηγήσει τους φυσικογεωγράφους και γεωλόγους σε λανθασμένα συμπεράσματα ή σε επιστημονικά παράδοξα.

Κοιλάδες που σχηματίζονται με ιδιαίτερα μεγάλη ταχύτητα σε ιζηματογενείς καλλιεργούμενες εκτάσεις στις ξηρές και ημίξηρες ζώνες της Γης και όπου είναι πολύ συχνή η περιοδική εκδήλωση ισχυρών καταιγίδων, είναι γνωστές στην διεθνή βιβλιογραφία ως Gullies (Machatsek 1973, Hembel 1971, Emmet 1968, Peterson 1985, Astaras 1984, Brice 1966). Η ταχύτητα γενικά της διάβρωσης, ως γνωστόν, καθορίζεται από την μορφολογία, την πετρογραφία, την τεκτονική και τις κλιματικές

συνθήκες μιας περιοχής. Από τα τέλη του προηγούμενου αιώνα στους παραπάνω παράγοντες προστέθηκε και ο άνθρωπος, που στην προσπάθειά του να εκμεταλλευτεί κατά το δυνατόν τους φυσικούς πόρους της γης, προκαλεί συνειδητά ή μη άμεσα ή έμμεσα ανησυχητική επιτάχυνση της φυσικής διάβρωσης πολλών περιοχών. Συνεπώς οι τιμές της ταχύτητας της διάβρωσης που προσδιορίζεται σήμερα, στις περισσότερες περιπτώσεις, εκφράζουν το τελικό αποτέλεσμα των φυσικών παραγόντων και των ανθρωπίνων επιδράσεων στις επιμέρους περιοχές.

Ειδικότερα η μακρόχρονη και εντατική γεωργική-κτηνοτροφική εκμετάλλευση που είχε σαν αποτέλεσμα την εξαφάνιση σχεδόν του προστατευτικού έναντι της διάβρωσης φυσικού φυτικού καλύμματος από τα ιζηματογενή τμήματα της περιοχής έρευνας, σε συνδυασμό με την πτώση του τοπικού βασικού επιπέδου, εξαιτίας της ευθυγράμμισης της κοίτης του Αγγίτη και της αποξήρανσης της λίμνης του Αχινού, δημιούργησαν τις προϋποθέσεις για να προκαλέσουν οι ασυνήθιστες σε ένταση και διάρκεια βροχοπτώσεις του Σεπτεμβρίου του 1957 τέτοια επιτάχυνση της διάβρωσης, ώστε οι μορφολογικές μεταβολές στην περιοχή να γίνουν άμεσα αντιληπτές από τον άνθρωπο. Πρέπει να τονιστεί επίσης, ότι οι μέχρι τώρα αναγκαίες για την επιβίωση του ανθρώπου επιδράσεις στο φυσικό περιβάλλον δημιούργησαν τέτοιες συνθήκες, ώστε η περιοχή να κινδυνεύει εξαιτίας της έντονης επιφανειακής και κατά βάθους διάβρωσης, να καταστεί ακατάλληλη ή ασύμφορη για γεωργική εκμετάλλευση, εάν δεν ληφθούν υπόψη τα απαραίτητα προστατευτικά μέτρα. Κατά την διάρκεια των πλημμύρων του 1957 παρατηρήθηκε πλήρης διακοπή της παροχής ορισμένων κανάτ εξαιτίας των φαινομένων διάβρωσης (**Φωτ. 7**).

Κατά την μακραίωνη παραμονή των κατακτητών δημιουργήθηκαν οι προϋποθέσεις αξιοποίησης της περιοχής με συστήματα Qanat για τους εξής λόγους:

- *Η επί πολλούς αιώνες σταθεροποίηση των συνόρων της οθωμανικής αυτοκρατορίας μακριά από την περιοχή απέκλειε τον κίνδυνο εχθρικής κατάληψής της. Συνεπώς η περιοχή ενδεικνύονταν για την κατασκευή μακροπρόθεσμων μεγάλων έργων υποδομής.*
- *Οι κατακτητές είχαν την δυνατότητα εξεύρεσης ειδικών συνεργείων κατασκευής των Qanat από τις επίσης κατεχόμενες χώρες της Ασίας αλλά και τον απαιτούμενο αριθμό εργατών (δούλων) για δύσκολη και επικίνδυνη εργασία. Σύμφωνα με τον Troll (1963) η κατασκευή των Qanat στοίχιζε και στοιχίζει ακόμα και σήμερα την ζωή πολλών ανθρώπων.*

Τα Qanat έχουν το πλεονέκτημα, έναντι των άλλων υδρομαστευτικών συστημάτων, της μεταφοράς νερού με ελεύθερη ροή σε μεγάλες αποστάσεις και επιθυμητές θέσεις. Η έξοδος του νερού στην επιφάνεια με τα συστήματα αυτά, χωρίς την δαπάνη ενέργειας επιτρέπει την χρησιμοποίησή του και για την άρδευση εκτάσεων. Συνεπώς είναι ιδανικά για την ανάπτυξη της γεωργίας και της κτηνοτροφίας στις περιοχές λειτουργίας τους.

Στον οικισμό της Π. Λευκοθέας διαπιστώθηκε πέτρινο τεχνητό φράγμα και ενεργό σήμερα Qanat, με το οποίο εξασφαλίζουν το απαιτούμενο νερό για την δημιουργία τεχνητής λίμνης. Η παραπάνω διαπίστωση αποδεικνύει ότι ο σκοπός των κατασκευαστών ήταν και η άρδευση εκτάσεων ως επί το πλείστον (**Σχ. 34**). Η πρόσχωση του κεντρικού κανάτ της Π. Λευκοθέας αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση έμμεσης ανθρωπογενούς επίδρασης για την εμφάνιση ή και την ενεργοποίηση ακόμα των φυσικογεωγραφικών παραγόντων της περιοχής.

Στην περιοχή έρευνας τελικά σημεία των Qanat εντοπίζονται όχι μόνο σε οικισμούς οι καλλιεργούμενες εκτάσεις αλλά και κατά μήκος του δρόμου που συνέδεε άλλοτε την πόλη των Σερρών με αυτή της Καβάλας (**Σχ. 37**). Η σκοπιμότητα κατασκευής των Qanat ανά ορισμένη απόσταση κατά μήκος των κεντρικών δρόμων

θα μπορούσε να δικαιολογηθεί, αν ληφθούν υπόψη τα τότε μέσα διακίνησης προϊόντων και πληθυσμού. Η διέλευση επίσης της ατμομηχανής από την περιοχή έρευνας θα ήταν ίσως πολύ δύσκολη, χωρίς την συμβολή των Qanat.

Με βάση επίσης τα μορφολογικά γνωρίσματα των οικισμών που βρίσκονται στους πρόποδες του Παγγαίου διακρίναμε τις εξής κατηγορίες (**Πίν. 18**) :

Α. Οικισμούς που είναι κτισμένοι στις κεφαλές αλλουβιακών ριπιδίων

Β. Οικισμούς κτισμένους στις βάσεις αλλουβιακών ριπιδίων

Γ. Οικισμούς κτισμένους πάνω σε ράχες.

Αν ο οποιοσδήποτε ειδικός ή μη θα ήθελε να αμφισβητήσει την ακρίβεια των στοιχείων του Σχινά εξαιτίας των πολιτικών μεταβολών στην περιοχή έρευνας στις αρχές του εικοστού αιώνα που προκάλεσαν ταυτόχρονα μεταβολές των πληθυσμιακών της δεδομένων, οι μορφολογικές αντιθέσεις των οικισμών που επισημάναμε, είναι αδιάψευστες μόνιμες μάρτυρες του γεγονότος ότι η περιοχή έρευνας μέχρι και μετά την από 540 χρόνια τουρκική κατοχή και αργότερα απελευθέρωσή της, διατήρησε την ελληνική ταυτότητά της.

Τα στοιχεία πολλών υπόγειων συστημάτων ύδρευσης τόσο της Αθήνας όσο και της Θεσ/νίκης ταυτίζονται με αυτά των συστημάτων Qanat της επαρχίας Φυλλίδας. Αν όμως ορισμένα από τα αδρανή συστήματα που περιγράφονται κατασκευάστηκαν από αρχαίους Έλληνες ή Ρωμαίους είναι ένα πρόβλημα, που η επίλυση του θα ήταν δυνατή με συνδυασμένη έρευνα αρχαιολόγων – γεωγράφων – ιστορικών – υδρογεωλόγων και γεωφυσικών. Πρέπει να σημειωθεί, ότι το Ευπαλίνειο όρυγμα της Σάμου, που κατασκευάστηκε στα μέσα του έκτου αιώνα π.Χ., αν και δεν είναι μοιάζει με Qanat. Αν ληφθεί υπόψη ότι η μέθοδος των Qanat είχε ανακαλυφθεί ήδη από τα τέλη του έβδομου αιώνα π.Χ. τότε μπορούμε να κάνουμε την σκέψη ότι θα υπήρχε μια αλληλεπίδραση του αρχαίου περσικού και ελληνικού πολιτισμού.

Από τα στοιχεία που αναφέραμε σχετικά με την εξάπλωση των Qanat διαπιστώνεται, ότι εντοπίζονται αποκλειστικά κατά μήκος των ξηρών και ημίξηρων ζωνών της Γης. Η μεγάλη παγκόσμια εξάπλωση και η χρησιμοποίηση των Qanat για χιλιετίες είναι αναμφισβήτητα στοιχεία που υποδηλώνουν το μοναδικό ρόλο που έπαιζαν και παίζουν στον αγώνα της ανθρωπότητας κατά της ξηρασίας. Με το πνεύμα αυτό πρέπει να εξετάζονται τα συστήματα αυτά ανεξάρτητα από το που βρίσκονται και από ποιους κατασκευάστηκαν.

24. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ Γ.Ε. (1981): «Μελέτη των επιφανειών διάβρωσης καρστικών παγετώδων και περιπαγετώδων μορφών του όρους Μενοικίου στην Α. Μακεδονία από γεωμορφολογικής και μορφογενετικής πλευράς». Διδακτορική διατριβή, Θεσ/νίκη σελ. 1-36, 62, 135-143
- ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ Γ.Ε. (1989): «Μελέτη των συστημάτων Qanat στην επαρχία Φυλλίδας Σερρών από μορφολογική, υδρογραφική και κοινωνικοοικονομική άποψη». Θεσ/νίκη, σελ 1-89.
- ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ Γ.Ε. ΚΑΙ ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ Α. (1994): «Το πρόβλημα της απόθεσης CaCO_3 & MgCO_3 κατά μήκος του ρέματος Αραπίτσας Νάουσας (Κ. Μακεδονία)». Δελτίο Ελλην. Γεωλογ. Εταιρείας, τόμ. XXX/4, σελ. 137-147, Θεσ/νίκη.
- ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ Ε., ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ., ΣΩΤΗΡΙΑΔΗΣ Α. (1984): «Μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις και σχετική χρονολόγηση των νεοτεκτονικών παραμορφώσεων στο όρος Μενοίκιο (Α. Μακεδονία)». Δελτίο Ελλην. Γεωλ. Εταιρείας, τόμ. XXIII/1, σελ. 289-302, Αθήνα.
- ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ Ε., ΣΤΑΝΙΝΟΣ Ε., ΣΤΕΦΟΣ Ν. (1992): «Μελέτη του υδρομαστευτικού συστήματος τύπου Qanat Αγ. Παρασκευής Χορτιάτη Θεσσαλονίκης». Θεσ/νίκη, σελ. 73-87.
- ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ Ε., ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ Α. & ΣΩΤΗΡΙΑΔΗΣ Α. (1986): «Η επιγενετική κοιλάδα του ποταμού Αγγίτη σε σχέση με την εξέλιξη των λεκανών Σερρών και Δράμας». Γεωλ. και Γεωφ. Μελέτες, τόμ. εκτός σειράς, Ι.Γ.Μ.Ε., σελ 5-14, Αθήνα.
- ΓΚΙΩΝΗ Γ., ΜΟΡΦΗΣ Α., ΠΑΓΟΥΝΗΣ Μ. (1997): «Υπόγειο υδατικό δυναμικό Ελλάδας» Τομέας Υδρογεωλογίας, Ι.Γ.Μ.Ε., Υδατικό διαμέρισμα Αν. Μακεδονίας (11), σελ. 11.1-11.10
- ΔΕΡΜΟΣΟΝΟΓΛΟΥ Δ.Θ. (1998): «Μελέτη φυσικών & χημικών παραμέτρων υγειονομικού ελέγχου επιφανειακών & υπόγειων νερών», Τμήμα Ιατρικής, Α.Π.Θ., σελ. 25-100

- ΔΗΜΑΔΗΣ Ε. & ΖΑΧΟΣ Σ. (1989): «Γεωλογική και Τεκτονική δομή του μεταμορφωμένου υποβάθρου της Ελληνικής Ροδόπης» Geol. Rhodocorida, τόμ. 1, σελ. 122-130
- ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ Χ.Γ. (1995): «Έρευνα και Διαχείριση Υδατικών πόρων» Α.Π.Θ. Θεσ/νίκη, σελ. 44-48, 80-99, 110-119
- ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ (1998): «Εκπληκτικά συστήματα ύδρευσης-Υδροδότηση πόλεων και άρδευση αγρών στην αρχαία Ελλάδα». Σελ. 20-21, 04/01/1998
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ.Α. (1986): «Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία» Έκδοση Τ.Ε.Ε., τόμ. Α, Αθήνα
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ.Α. (1986): «Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία» Έκδοση Τ.Ε.Ε., τόμ. Β, Αθήνα
- ΚΑΝΕΛΟΠΟΥΛΟΥ Ε.Α. & ΠΑΓΩΝΗΣ Κ.Α. (1998): «Η Μέση Ραγδαιότητα των Βροχοπτώσεων στην Ελλάδα» σελ. 107-114
- ΛΑΖΑΡΙΔΟΥ Μ. (1993): «Εκθεση- Υ/Γ Έρευνα Λεκάνης Στρυμόνα» Ι.Γ.Μ.Ε., Παράρτημα Θεσ/νίκης, σελ. 1-30
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1985): «Γεωλογία της Ελλάδας», σελ. 27-35
- ΠΑΓΩΝΗΣ Κ.Α. & ΝΑΣΤΟΣ Π.Θ. (1998): «Συμβολή στην μελέτη του αριθμού ημερών υετού στον ελληνικό χώρο» σελ. 271-278
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Γ. & ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ Α. (1981): «Τεκτονική Δομή της Ν. Ροδόπης» Geol. Balc., 11,3 σελ. 13-22
- RON Y.D. ZVI (1985): «Qanat and Spring Flow Tunnels in the Holy Land» pp. 34-58
- ΣΟΥΛΙΟΣ Γ. (1985): «Συμβολή στην υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων του Ελληνικού χώρου». Θεσ/νίκη, σελ. 8-35, 89-96, 132-135, 202-208, 216-220
- ΧΑΤΖΗΠΑΝΑΓΗΣ Κ.Ι. (1991): «Η Γεωλογική Δομή της ευρύτερης περιοχής του όρους Φαλακρού» Περίληψη Διδακτ. Διατριβής, Ε.Μ.Π., σελ. 1-4

- ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ Α.Α & ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ Γ.Ε. (1984): «Το πρόβλημα των επιφανειών επιπέδωσης στο χώρο της Σερβομακεδονικής και της Ροδοπικής μάζας» Θεσ/νίκη, σελ. 182-195

25. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω παραθέτουμε **7 ΧΑΡΤΕΣ** που έγιναν για την ευρύτερη περιοχή μελέτης από τον καθηγητή Ε. Βαβλιάκη στα πλαίσια εκτεταμένων εργασιών κατά τα παρελθόντα έτη, καθώς επίσης και μερικές εικόνες των μελετούμενων συστημάτων από την περιοχή έρευνας (οικισμός Π.Λευκοθέας):

1.ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΑΡΧΙΑΣ ΦΥΛΛΙΔΟΣ ΣΕΡΡΩΝ

2.ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΑΡΧΙΑΣ ΦΥΛΛΙΔΟΣ ΣΕΡΡΩΝ

3.ΔΙΚΤΥΟ QANAT ΕΠΑΡΧΙΑΣ ΦΥΛΛΙΔΟΣ ΣΕΡΡΩΝ

4.ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΝΟΙΚΙΟΥ

5.ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΝΟΙΚΙΟΥ

6.ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΝΟΙΚΙΟΥ

7.ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΤΡΥΜΩΝΑ

Εικ. 1. Ο υδροπερατός σχηματισμός του κροκαλολατυποπαγούς

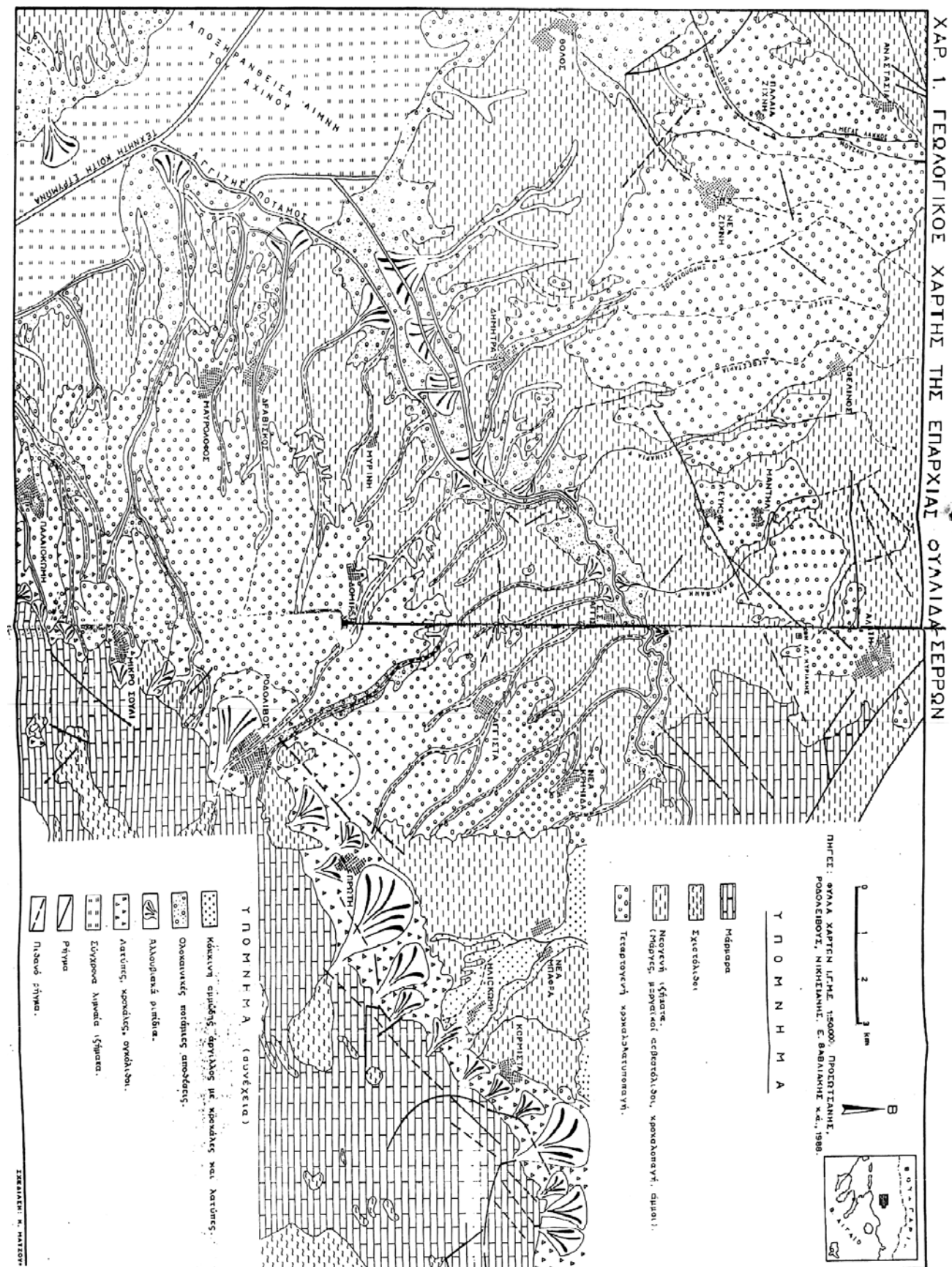
Εικ. 2. Αποσαθρωμένος ο παραπάνω σχηματισμός με το συγκολλητικό υλικό

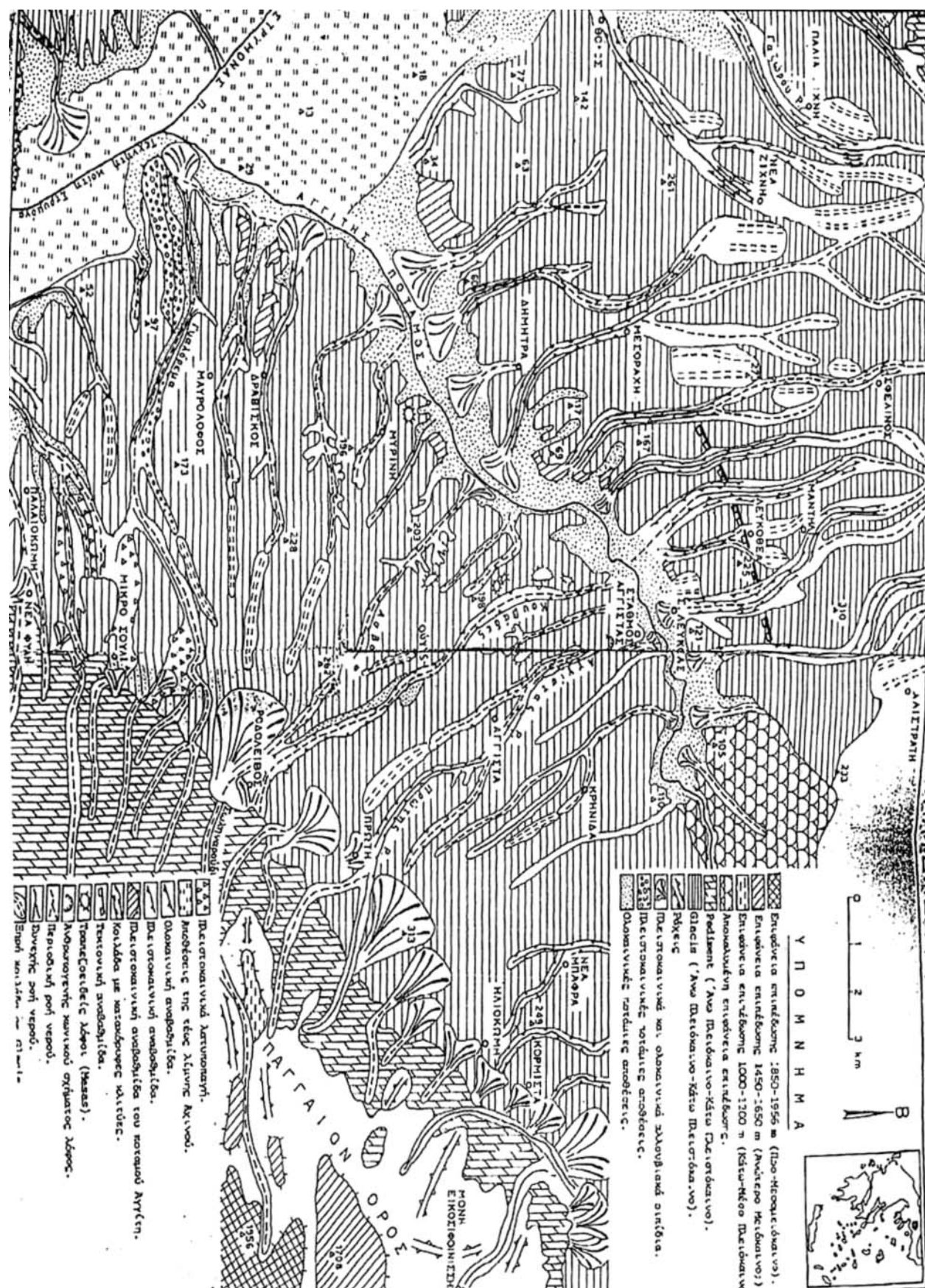
Εικ. 3. Ο ελάχιστα υδροπερατός μαργαϊκός σχηματισμός του Νεογενούς

Εικ. 4. Το φρεάτιο εισόδου του ***QANAT 1***

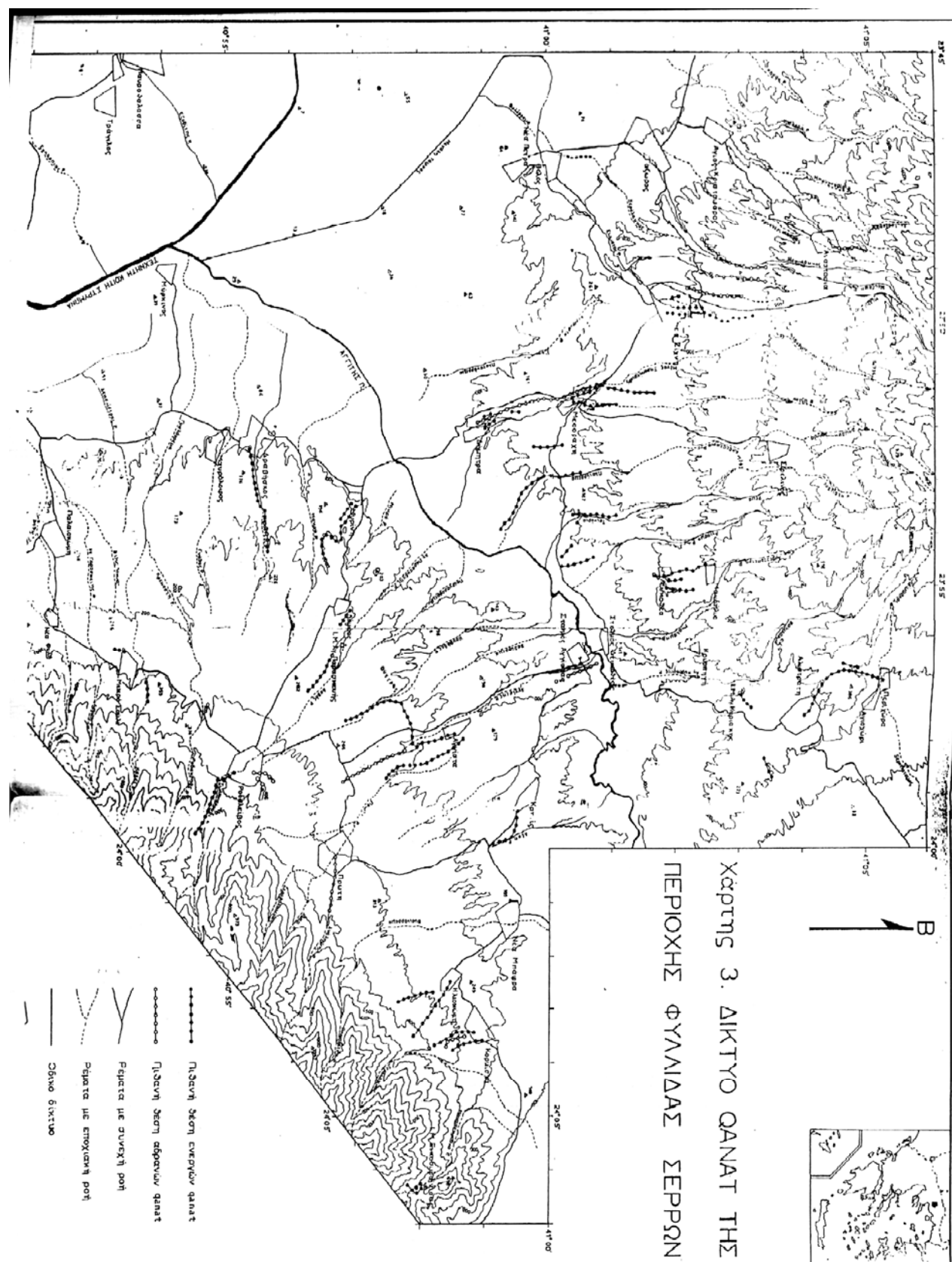
Εικ. 5. Η κατακόρυφη είσοδος του ***QANAT 1 (3,5μ. βάθος)***

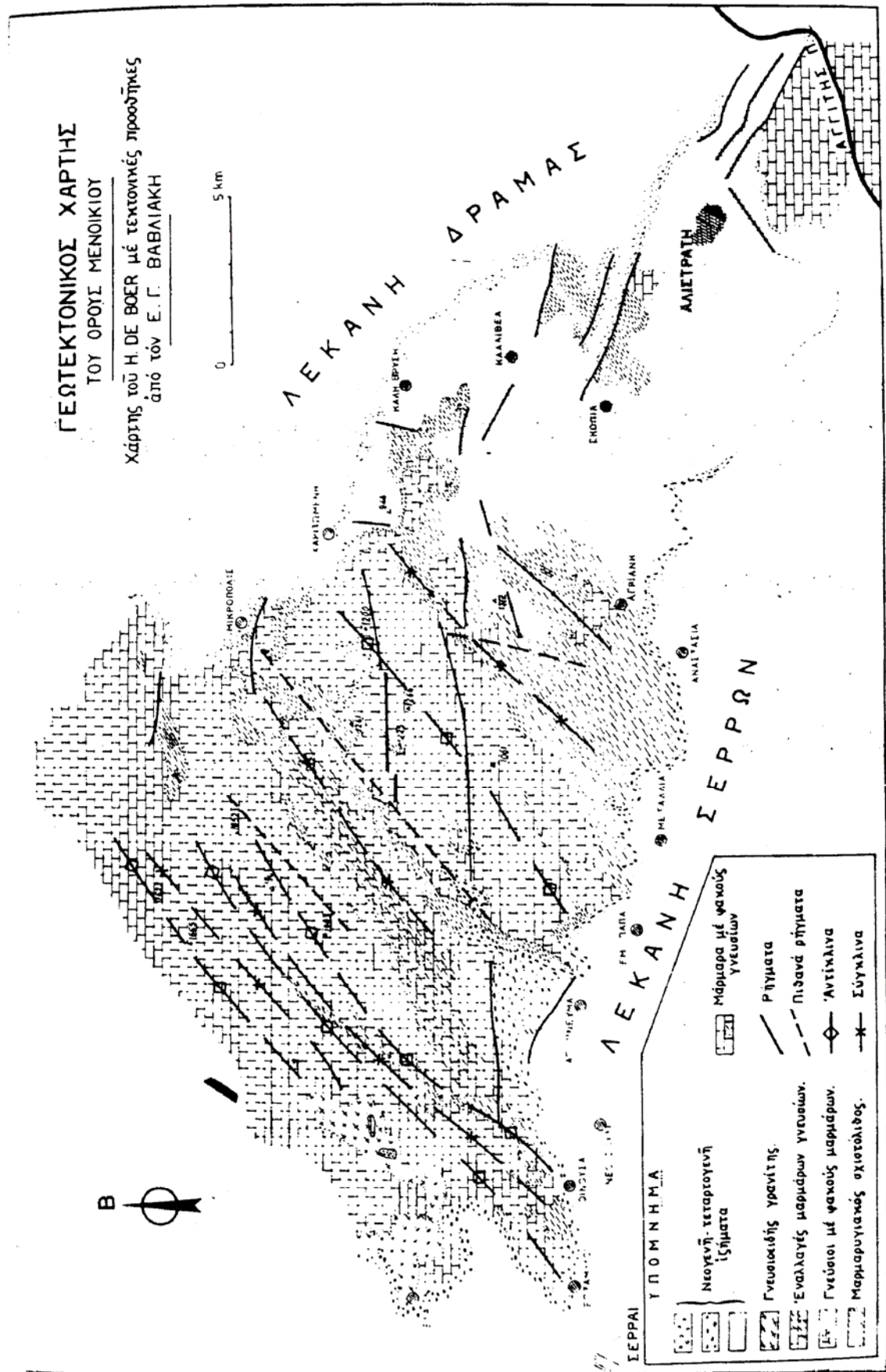
Εικ. 6. Το τελικό σημείο εξόδου του ***QANAT 2*** στη βάση ξηρής κοιλάδας



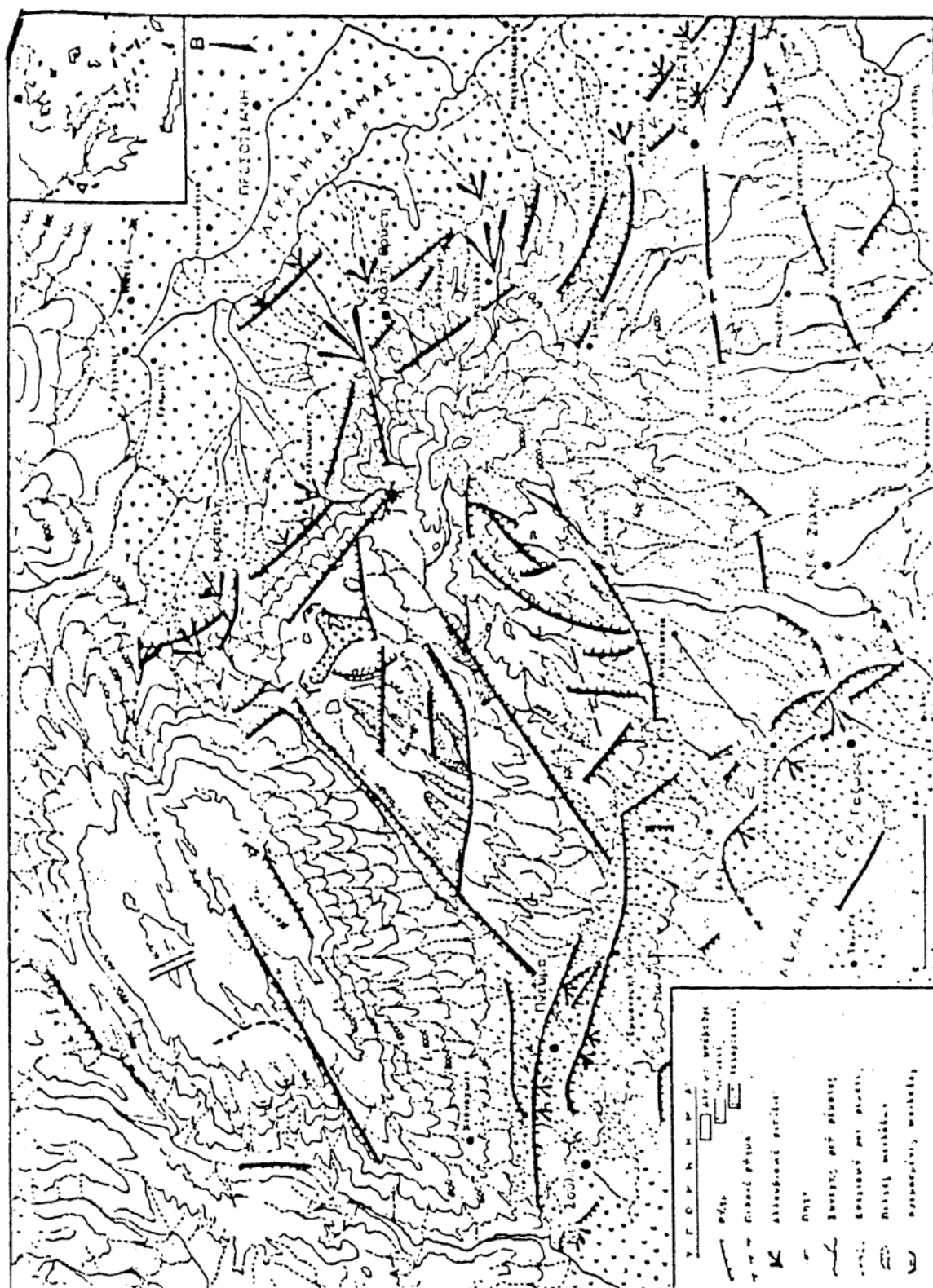


Χαρτ. 2. Μορφολογικός χάρτης επαρχίας Φυλλίδος Σερρών.

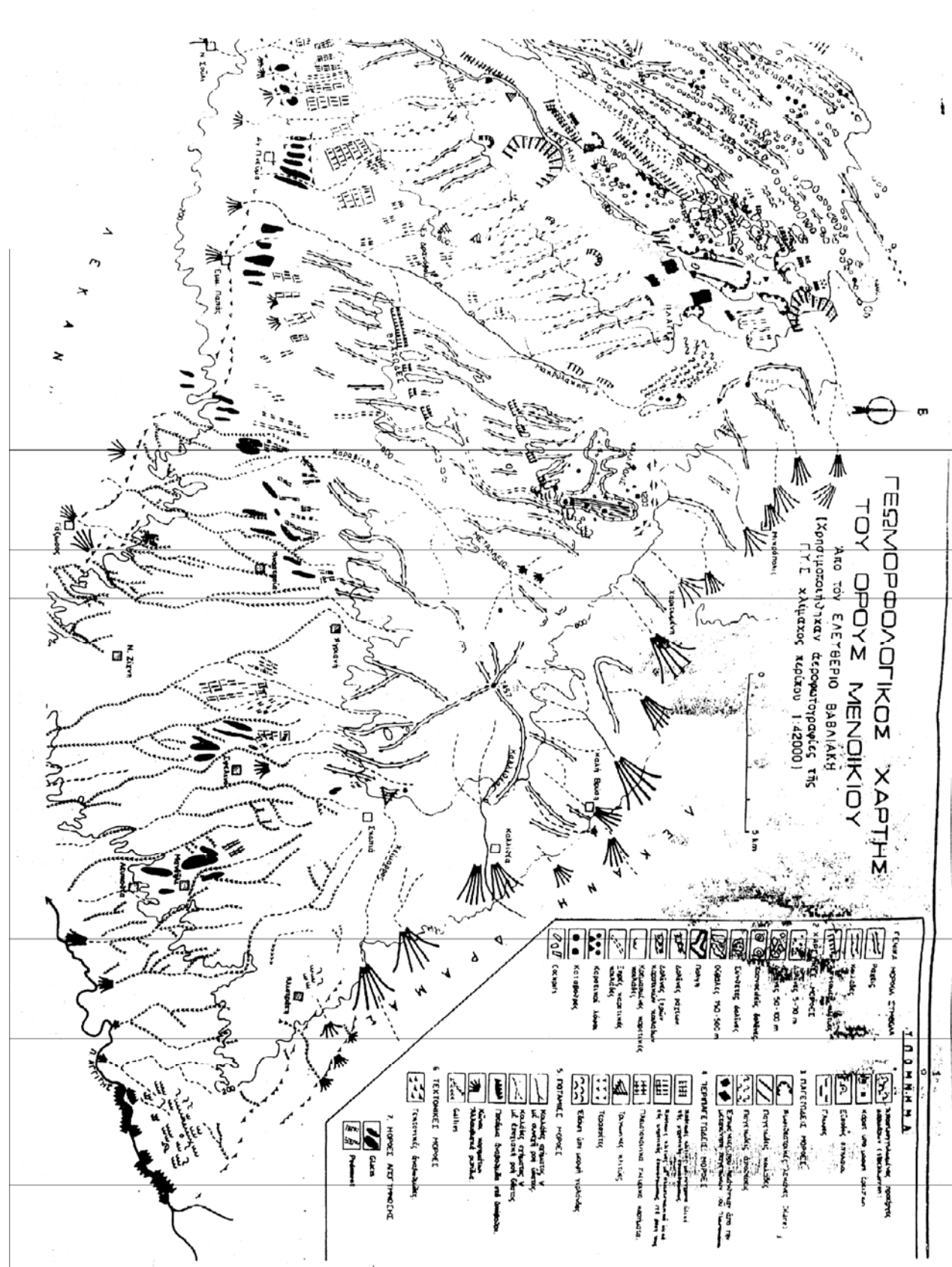


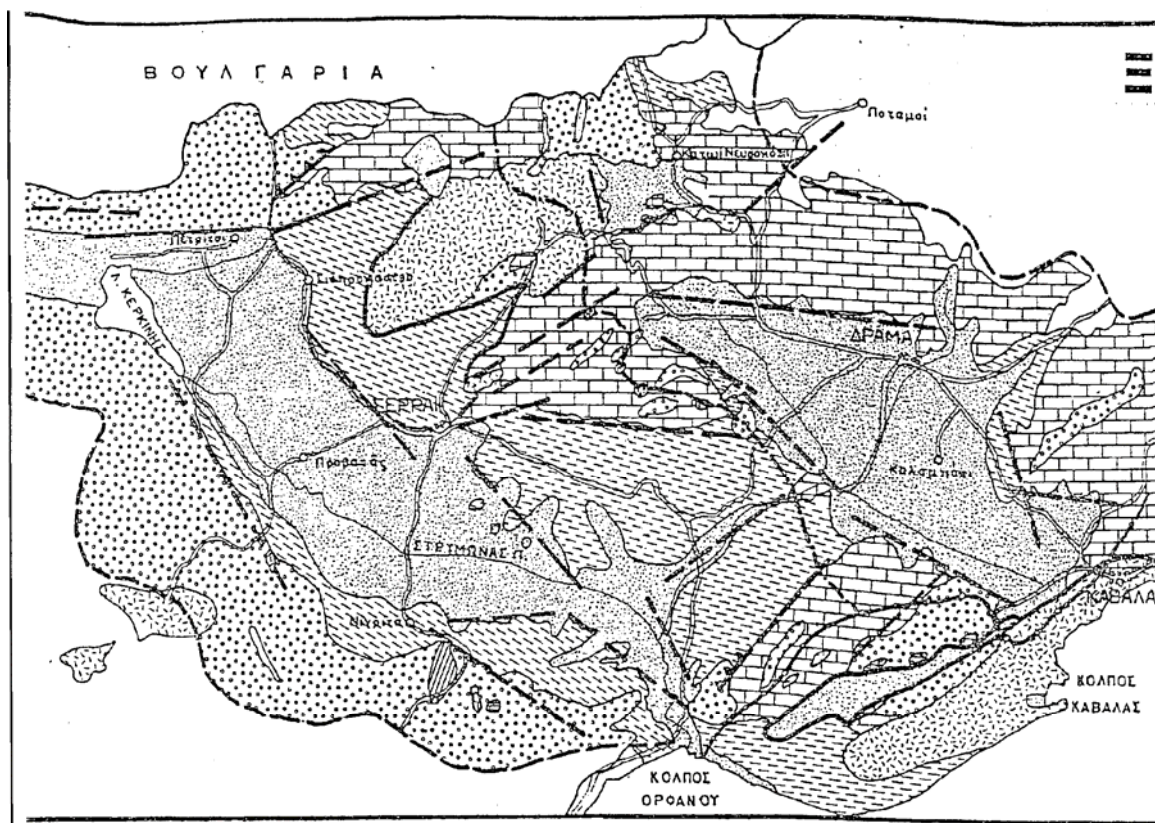


Χάρτης 4. Γεωτεκτονικός χάρτης όρους Μενιοκίου



Χάρτης 5. Μορφοτεκτονικός χάρτης του όρους Μενοικίου





Χάρτης 7

ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΣΤΡΥΜΩΝΑ

(Έκ του Γεωλογικού Χάρτη τής ΕΛΛΑΔΑΣ 1:500 000 Γ.Γ.Ε.Υ. Τροποποιημένος από ΜΑΝ. ΚΝΙΘΑΚΗ)
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:500 000

ΑΛΛΟΤΒΙΑΚΕΣ ΠΡΟΕΧΣΕΙΣ
ΔΙΟΥΤΒΙΑΚΑ ΛΑΤΥΠΟΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ

Εχηματισμοί γενικά ύδροπερατοί με τοπικές διακυμάνσεις ύδροπερατότητας.

ΝΕΟΓΕΝΕΣ

Εχηματισμοί ήμιυδροπερατοί έως μη ύδροπερατοί.

ΜΑΡΜΑΡΑ

Εχηματισμός λίαν ύδροπερατός με έντονη καροτινότητα. Εντός των μαρμαρών, άπαντούν στρώματα ή φακοί σχιστολίθων που συντελούν στην εμφάνιση διαφόρων καροτικών πηγών.

ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ - ΓΝΕΥΣΙΟΙ -
ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ

Εχηματισμοί στο σύνολό τους μη ύδροπερατοί. Σε ώριμες περιοχές τα πετρώματα είναι διαρρηγμένα με αποτέλεσμα να εμφανίζονται πηγές ικανοποιητικής παροχής.

ΓΡΑΝΙΤΕΣ

Πετρώματα κατά βάση μη ύδροπερατά. Σε ώριμες περιοχές τα πετρώματα είναι διαρρηγμένα και εμφανίζονται πηγές ικανοποιητικής παροχής.

ΤΠΕΡΒΑΣΙΚΑ

Πετρώματα κατά βάση μη ύδροπερατά

Ρήγματα

Πιθανά ρήγματα

Όρια ύδρολογικής λεκάνης

Όρια ύδρολογικών λεκανών ΣΕΡΡΩΝ-ΔΡΑΜΑΣ



Εικ.1. Ο υδροπερατός σχηματισμός του κροκαλολατυποπαγούς.



Εικ.2. Ο παραπάνω σχηματισμός αφού έχει κοπεί και εκτεθεί στην αποσάθρωση. Παρατηρούμε και το συγκολλητικό υλικό.



Εικ.3. Ο μη υδροπερατός μαργαϊκός σχηματισμός του Νεογενούς ιδιαίτερα αποσαθρωμένος.



Εικ.4. Το φρεάτιο εισόδου του QANAT 1



Εικ.5. Η κατακόρυφη είσοδος του QANAT 1(Βάθος 3,5μ. από την επιφάνεια).



Εικ.6. Το σημείο εκροής του QANAT Αγίου Γεωργίου στο πυθμένα ξηρής κοιλάδας.