

**ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF ΣΤΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ “ΠΗΓΕΣ ΧΑΡΙΛΑΟΥ”**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :

ΒΑΡΓΕΜΕΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Σαπουντζή Ελένη
ΑΕΜ 3913

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Περιγραφή μεθόδων	2
Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος VLF	2
Γενικά.....	2
Χρήσεις	2
Αρχές λειτουργίας της μεθόδου VLF	3
Ερμηνεία.....	4
Περιορισμοί της μεθόδου VLF	4
Παράδειγμα.....	4
Πρόγραμμα Santos και αντιστροφή δεδομένων VLF.....	7
Ηλεκτρική Τομογραφία.....	8
QANAT.....	10
Ορισμός.....	10
Δομή	10
Χρήσεις.....	12
Ιστορικά στοιχεία	12
Στοιχεία Περιοχής.....	13
Γεωγραφική Θέση	13
Ιστορικά Στοιχεία	14
Γεωλογία	14
Γεωλογικοί Σχηματισμοί.....	14
Τεκτονική	16
Εφαρμογή Μεθόδου VLF.....	17
Προγραμματισμός.....	17
Μετρήσεις και φιλτράρισμα δεδομένων.....	18
Αντιστροφή δεδομένων VLF και ερμηνεία γεωηλεκτρικού μοντέλου	20
Αποτελέσματα.....	22
Βιβλιογραφία	23
Παράρτημα	24
Α - Σταθμοί VLF στην Ευρώπη	24
Β – Σταθμοί VLF στον κόσμο	24
Γ - Δέκτης VLF	25

Δ – Μηχάνημα Ηλεκτρικής Τομογραφίας.....	25
Ε – Κάτοψη από δορυφόρο του συστήματος qanat της πόλης Ansan της Λιβύης	26

Εισαγωγή

Σκοπός της έρευνας αυτής είναι ο καθορισμός της γεωλογικής δομής της περιοχής, καθώς και της δομής του συστήματος υδρομάστευσης (από εδώ και στο εξής Qanat) των Πηγών Χαρίλαου που παρουσιάζουν πλούσιο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Η γεωφυσική έρευνα σε συνδυασμό με την γνώση της τεχνικής κατασκευής των Qanat θα μας οδηγήσει σε ακριβέστερο και λεπτομερέστερο καθορισμό της δομής της περιοχής.

Η γεωφυσική δομή μελετήθηκε κάνοντας χρήση της ηλεκτρομαγνητικής διασκόπησης V.L.F. με στόχο τον εντοπισμό τεκτονικών δομών στις οποίες πραγματοποιείται κυκλοφορία νερού.

Περιγραφή μεθόδων

Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος VLF

Γενικά

Η Γεωφυσική Μέθοδος VLF χρησιμοποιεί πολύ χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά κύματα για να προσδιορίσει τις ηλεκτρικές ιδιότητες των δομών που βρίσκονται στο υπόβαθρο. Η συγκεκριμένη τεχνική είναι ιδιαιτέρως χρήσιμη για την χαρτογράφηση απότομων βυθιζόμενων δομών όπως ρήγματα και ρηγματογενείς ζώνες και περιοχών με μεταλλοφορία. Σαν αναγνωριστικό εργαλείο, τα προφίλ VLF μπορούν να πραγματοποιηθούν γρήγορα και με μικρό κόστος και να αναγνωρίσουν ανομοιογενείς περιοχές που χρήζουν περαιτέρω έρευνας, είτε με γεωφυσικής είτε με διάνοιξη γεώτρησης και δειγματοληψία.

Χρήσεις

Η μέθοδος VLF είναι ένα χρήσιμο διαγνωστικό εργαλείο για χαρτογράφηση γεωλογικών τεκτονικών δομών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε υπάρχει πλευρική αντίθεση ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ των γεωλογικών σχηματισμών. Η χρήση της μεθόδου διενεργείται για: χαρτογράφηση ρηγμάτων, έρευνα για υπόγειο νερό, μεταλλευτική έρευνα κτλ.

Στις ηλεκτρικά αγώγιμες ζώνες συμπεριλαμβάνονται οι ζώνες των ρηγμάτων και οι ζώνες μεταλλοφορίας, οι οποίες τείνουν να είναι πιο αγώγιμες από τα περιβάλλοντα πετρώματα. Επιπλέον, αγώγιμες ζώνες είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί με αυξημένη παρουσία νερού, οι πηλώδεις σχηματισμοί, οι λεπτόκοκκοι και αργιλώδεις σχηματισμοί κτλ. Έτσι, αυτοί οι σχηματισμοί είναι υποψήφιοι “στόχοι” που μπορούν να χαρτογραφηθούν με την μέθοδο VLF.

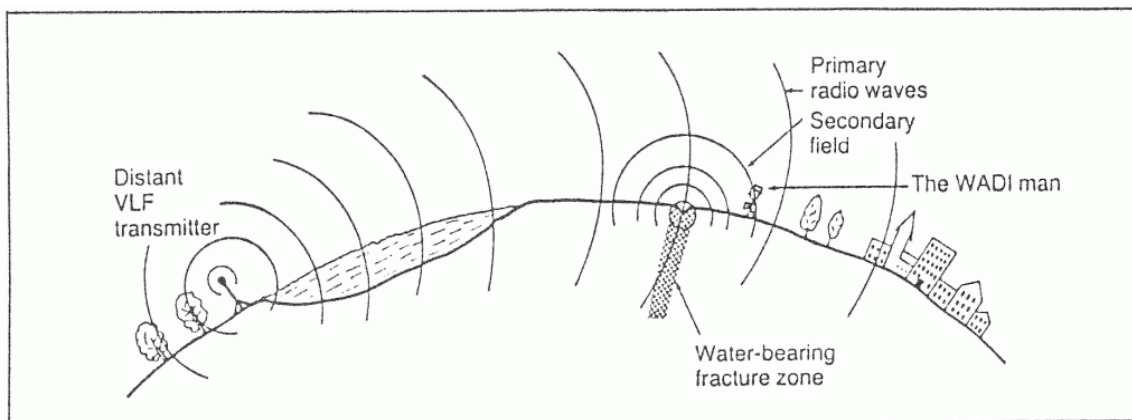
Το βάθος διασκόπησης κυμαίνεται από 40-100 μέτρα σε εδάφη με υψηλή αντίσταση, ενώ σε πολύ αγώγιμα εδάφη κυμαίνεται από 5-10 μέτρα. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτή την μέθοδο είναι φορητά και διαχειρίσιμα από έναν άνθρωπο και η παραγωγικότητα εξαρτάται από την μορφολογία της περιοχής και την βλάστηση. Γενικά πάντως μπορούν να καλυφθούν μερικά χιλιόμετρα διασκόπησης σε μια ημέρα.

Αρχές λειτουργίας της μεθόδου VLF

Η μέθοδος VLF βασίζεται στην μέτρηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται στο φάσμα συχνοτήτων 15 KHz-30 KHz από συγκεκριμένους σταθμούς ανά τον κόσμο (Παράρτημα Α - Σταθμοί VLF στην Ευρώπη και Β – Σταθμοί VLF στον κόσμο).

Το πρωτογενές πεδίο (αυτό που εκπέμπεται από το σήμα των σταθμών) αναγκάζει τις αγώγιμες γεωλογικές δομές και σχηματισμούς να ταλαντωθούν λόγω των κυμάτων eddy. Η αρχή του Faraday για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή ορίζει πως κάθε παλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο και αντίστοιχα ένα ηλεκτρικό ρεύμα στα αγώγιμα μέσα. Τα κύματα eddy με την σειρά τους δημιουργούν ένα δευτερεύον μαγνητικό πεδίο (<http://magnmat.physics.auth.gr/documents/Brakes2005.pdf>, n.d.) το οποίο μετράται από το δέκτη VLF (Εικόνα 1).

Το δευτερεύον (διαταραγμένο) πεδίο είναι σε διαφορετική φάση από το πρωτογενές και εξαρτάται από τη δομή, τη γεωμετρία και τον προσανατολισμό του αγωγού, ενώ η διαφορά στην αγωγιμότητα εξαρτάται από το περιβάλλον πέτρωμα. Το μηχάνημα (Παράρτημα Γ - Δέκτης VLF) μετράει και το πρωταρχικό και το δευτερεύον πεδίο ταυτόχρονα.



Εικόνα 1. Πρωτογενές και δευτερογενές πεδίο (<http://techwatertrust.se/en/vlf-metoden/>, n.d.)

Όλα τα μηχανήματα VLF μετράνε δύο συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου, τη γωνία κλίσης και την ελλειπτικότητα του. Μερικά μηχανήματα μετράνε επιπλέον την Τρίτη μαγνητική συνιστώσα ή/και το ηλεκτρικό πεδίο. Το ηλεκτρικό πεδίο μετράται τοποθετώντας δύο αισθητήρες (ηλεκτρόδια) στο έδαφος με απόσταση περίπου 5 μέτρων μεταξύ τους, οι οποίοι μετράνε την διαφορά δυναμικού. Το ηλεκτρικό πεδίο παρέχει επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικά με το πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων και την αγωγιμότητα. (<http://www.nga.com/>, n.d.)

Ερμηνεία

Η ερμηνεία της μεθόδου VLF είναι γενικά ποιοτική και έχει υποκειμενικό χαρακτήρα. Οι ανώμαλες περιοχές εντοπίζονται και ο καθορισμός τους γίνεται σε συνάρτηση με τη μορφολογία της ανωμαλίας. Απλά μοντέλα μας υποδεικνύουν τις απλές γεωμετρικές δομές των ανωμαλιών.

Περιορισμοί της μεθόδου VLF

Η μέθοδος VLF χρησιμοποιείται πρωταρχικά ως αναγνωριστικό εργαλείο που εντοπίζει της περιοχές με ανωμαλία και υποδεικνύει που πρέπει να γίνει περαιτέρω έρευνα, είτε με γεωφυσικές μεθόδους είτε με γεωτρήσεις. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι τα εξής:

- Οι μετρήσεις VLF είναι ευαίσθητες σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις όπως σωληνώσεις, φράχτες και άλλες γραμμικές αγωγίμες δομές.
- Η ερμηνεία της μεθόδου έχει υποκειμενικό χαρακτήρα, για ποσοτική μοντελοποίηση χρειάζεται μεγάλος όγκος δεδομένων και καλά δομημένο μοντέλο.
- Το “τοπογραφικό αποτέλεσμα” μπορεί να στρεβλώσει τα δεδομένα, είναι δύσκολο να αφαιρεθεί και εξαρτάται από το μοντέλο.
- Οι δέκτες VLF μπορεί να διακόψουν τη λειτουργία τους για προγραμματισμένη ή μη συντήρηση.
- Δυσμενείς ιονοσφαιρικές συνθήκες μπορεί να αλλοιώσουν την ποιότητα των δεδομένων.

Παράδειγμα

Η συγκεκριμένη έρευνα (Hutchinson, Barta, Anderson, & Spence, 2001) έλαβε χώρα για να βρεθούν θέσεις πιθανών γεωτρήσεων μέσα σε συμπαγές υπόβαθρο Τριαδικού, ώστε να προταθεί τμηματοποίηση του υπόγειου υδροφορέα στην επαρχία Wake Forest της N. Carolina. Οι ρωγματοώσεις προσέφεραν υδροπερατότητα και αποθήκευση του υπόγειου νερού μέσα στο αδιαπέρατο υπόβαθρο και προσδιορίστηκαν μέσω έρευνας VLF με χρήση οργάνου WADI (ABEM AB, Bromma, Σουηδία). Το σήμα των 23,9 kHz από το μεταδότη του Cutler στο Main χρησιμοποιήθηκε ως πηγή.

Τα δεδομένα VLF μετρούνταν ανά 10 μέτρα πάνω σε 4 οδεύσεις μεταξύ των δύο κορυφογραμμών που βρίσκονταν σε διεύθυνση Ανατολή – Δύση. Οι άξονες των κορυφογραμμών ορίστηκαν με αεροφωτογραφικές μεθόδους ώστε να απαλειφθεί η τοπογραφία. Το φίλτρο Fraser είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος εφαρμόστηκε στο πραγματικό κομμάτι των δεδομένων του VLF ώστε να μεγεθύνει τις ενδείξεις ανωμαλιών.

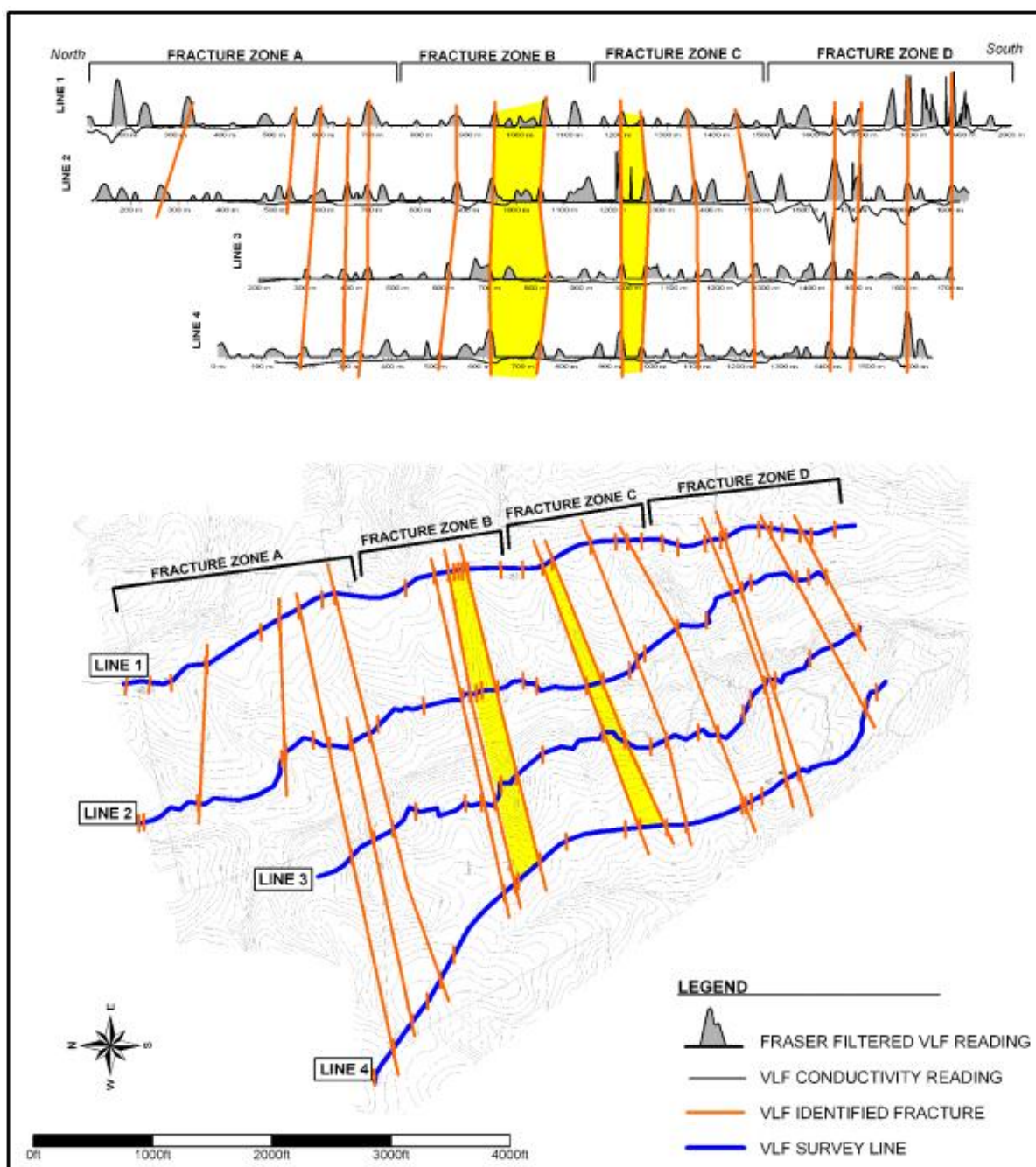
Το φίλτρο του Fraser που εφαρμόστηκε μετασχηματίστηκε από τους Karous και Hjelt (1983):

$$F_0 = K(0.102 H_{-3} + 0.059 H_{-2} - 0.561 H_{-1} + 0.561 H_1 - 0.059 H_2 + 0.102 H_3)$$

Όπου F_0 είναι το φιλτραρισμένο αποτέλεσμα, H_{-3} έως H_3 είναι τα πρωταρχικά VLF δεδομένα και K είναι η σταθερά που αντιπροσωπεύει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων.

Ερμηνεία:

Η έρευνα VLF πραγματοποιήθηκε σε ρωγματομένο τμήμα του Wake Country της N.Carolina το οποίο όταν έγιναν γεωτρήσεις παρείχε σημαντικούς όγκους νερού. Οι ρωγματώσεις κατηγοριοποιήθηκαν σε 4 ρηματογενείς ζώνες βάσει των παρακάτω παραμέτρων: Μέγεθος της (φιλτραρισμένης με Fraser) ανωμαλίας, πλασματικής VLF ανωμαλίας, πλευρικών ασυνεχειών, εγγύτητα σε άλλες ρωγματώσεις, χαρακτηριστικά εδάφους και χαρακτηριστικά μέσω αεροφωτογραφιών. Τα πλασματικά δεδομένα είναι μετρήσεις της αγωγιμότητας του υπόγειου νερού, ένα χρήσιμο στοιχείο στην αναζήτηση του. Περαιτέρω έρευνα έδειξε πως τα μεγάλα ρήγματα συνδέονται ευκολότερα με μεγαλύτερη ποσότητα υπόγειου νερού (Kulander, et al., 1980) συνεπώς, μεγαλύτερα ρήγματα κατατάχθηκαν υψηλότερα από ότι τα μικρότερα. Οι ομάδες των ρωγματώσεων είναι ένας εξαιρετικός παράγοντας που μας δείχνει την ρωγματώση του υποβάθρου και μπορεί να δείξει καλή παροχή υπόγειου νερού. Οι ρωγματώσεις χωρίστηκαν σε 4 ρηματογενείς ζώνες βάση ιδίων φυσικών χαρακτηριστικών. Η ζώνη A (Fracture Zone A) έχει λιγότερα ρήγματα και μεγαλύτερη αγωγιμότητα, η ζώνη B και Γ (Fracture Zone B και C) έχουν περισσότερα ρήγματα και μικρότερη αγωγιμότητα ρευστών και η ζώνη Δ (Fracture Zone D) έχει ακόμα περισσότερα ρήγματα με υψηλές τιμές αγωγιμότητας ρευστών (Εικόνα 2). Η παραγωγή των πηγαδιών που τελικώς διατρήθηκαν στις ζώνες B και Γ παρήγαγαν πάνω από 100 γαλόνια (378,5 lt) πόσιμου νερού το λεπτό (με αγωγιμότητα κάτω από 100 milliSiemens/meter).



Εικόνα 2. Ερευνητικές VLF οδεύσεις με φίλτρο Fraser δείχνουν ρήγματα (πάνω από τον χ-άξονα), αγωγιμότητα υγρών (κάτω από τον χ-άξονα) και την ερμηνεία του ρωγματωμένου μοντέλου στον τοπογραφικό χάρτη.

Πρόγραμμα Santos και αντιστροφή δεδομένων VLF

Μέσω του προγράμματος Santos (Inv2DVLF) μπορούμε να αποδώσουμε το γεωηλεκτρικό μοντέλο σε τομή αντίστοιχη με την όδευση VLF, τεχνική ιδιαίτερα χρήσιμη όταν δεν υπάρχει δυνατότητα επιπλέον οδεύσεων για τον ακριβή καθορισμό του (Προγραμματισμός).

Το Inv2DVLF (Santos, 2006) είναι μια 2-D κανονικοποιημένη αντιστροφή των VLF δεδομένων, η οποία αναπτύχθηκε με χρήση της μαθηματικής μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Ο σκοπός της αντιστροφής είναι να αποκτήσουμε την κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, μέσω της οποίας δημιουργούμε το γεωηλεκτρικό μοντέλο της περιοχής. Τα δεδομένα εισόδου είναι η πραγματική και η φανταστική συνιστώσα του *tipper* (της γεωμαγνητικής συνάρτησης μεταφοράς) (Gürer, Bayrak, & Gürer, 2009).

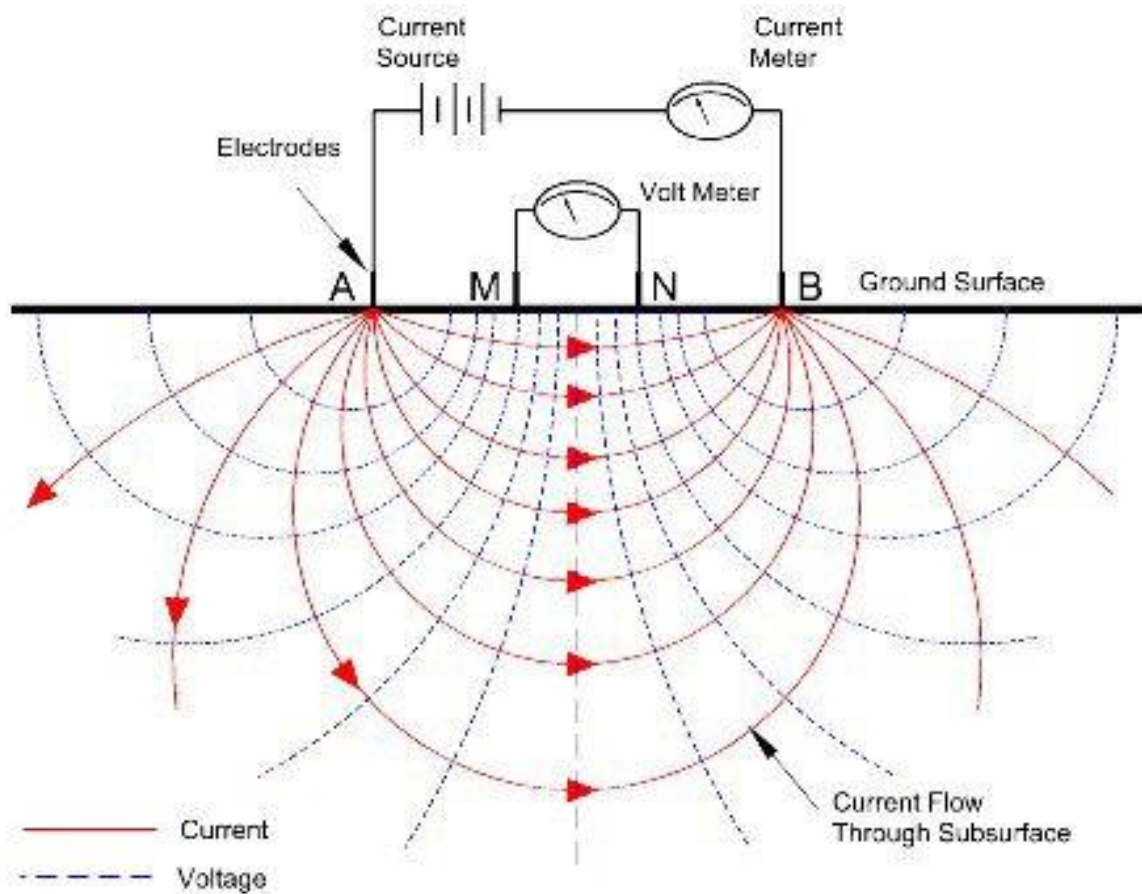
Ηλεκτρική Τομογραφία

Η Ηλεκτρική Τομογραφία είναι μια τεχνική γεωφυσικής διασκόπησης των δομών του υπεδάφους μέσω μετρήσεων της ηλεκτρικής αντίστασης που διενεργούνται από την επιφάνεια, ή με ηλεκτρόδια μέσω γεωτρήσεων. Αν τα ηλεκτρόδια αιωρούνται στις γεωτρήσεις μπορούν να διερευνηθούν βαθύτερες περιοχές. Συνδέεται στενά με την ιατρική τεχνική της Τομογραφίας.

Τα πειράματα της τρισδιάστατης Ηλεκτρικής Τομογραφίας χρησιμοποιούν μοντέλα της ηλεκτρικής ανομοιογένειας της γης μέσω μετρήσεων του ηλεκτρικού δυναμικού συνεχόμενου ρεύματος. Η μέθοδος της Ηλεκτρικής Τομογραφίας έχει αποδειχθεί πως είναι ένα χρήσιμο εργαλείο απεικόνισης υδροθερμικών μεταβολών, ποσότητας υγρασίας, ρωγμών πληρωμένων με νερό, υδραυλικών φραγμάτων και δυναμικών διαδικασιών όπως η ροή των νερών στις ζώνες πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα.

Η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας βασίζεται στην αρχή ότι η κατανομή του ηλεκτρικού δυναμικού στο έδαφος γύρω από ένα ηλεκτροφόρο ηλεκτρόδιο εξαρτάται από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις και την κατανομή τους στα γύρω εδάφη και πετρώματα. Η συνήθης πρακτική στο πεδία (ύπαιθρο) είναι να τοποθετείται ένα συνεχόμενο ηλεκτρικό ρεύμα μεταξύ δύο ηλεκτροδίων που έχουν εισαχθεί στο έδαφος και να μετράται η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο πρόσθετων ηλεκτροδίων που δεν έχουν ρεύμα. Συνήθως, τα ηλεκτρόδια δυναμικού βρίσκονται ανάμεσα από τα ηλεκτρόδια ρεύματος αλλά δυνητικά θα μπορούσαν να βρίσκονται οπουδήποτε (Εικόνα 3). Το ηλεκτρικό ρεύμα που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο χαμηλής συχνότητας (συνήθως περίπου στα 20 Hz). Η ανάλυση και ερμηνεία βασίζονται στα άμεσα κύματα. Η κατανομή του δυναμικού, στις απλές περιπτώσεις, μπορεί να συσχετίζεται θεωρητικά με τις αντιστάσεις του υπεδάφους και την κατανομή τους, όπως στην περίπτωση οριζόντιων στρωμάτων και ομογενών μαζών διαχωρισμένων από κάθετα ρήγματα. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις κατανομής αντιστάσεων, η ερμηνεία συνήθως γίνεται με ποιοτική σύγκριση των παρατηρήσεων με αντίστοιχες υποθετικών μοντέλων ή βάση εμπειρικών μεθόδων.

Για το βάθος της διασκόπησης δεν υπάρχει απλή σχέση μεταξύ αυτού και της απόστασης των ηλεκτροδίων. Ο κανόνας είναι πως το βάθος θα είναι πάντα μικρότερο από την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Συνήθως, μια απόσταση ηλεκτροδίων τριπλάσια ή και παραπάνω από το βάθος της έρευνας που θέλουμε να κάνουμε είναι αναγκαία για να παρθούν επαρκή δεδομένα.



Εικόνα 3. Κατανομή ηλεκτροδίων.

Λόγω της δυσκολίας προσαρμογής της συγκεκριμένης μεθόδου στην περιοχή, χρησιμοποιήθηκε γεωηλεκτρικό μοντέλο μέσω των δεδομένων της μεθόδου VLF (Αντιστροφή δεδομένων VLF και ερμηνεία γεωηλεκτρικού μοντέλου).

Ορισμός

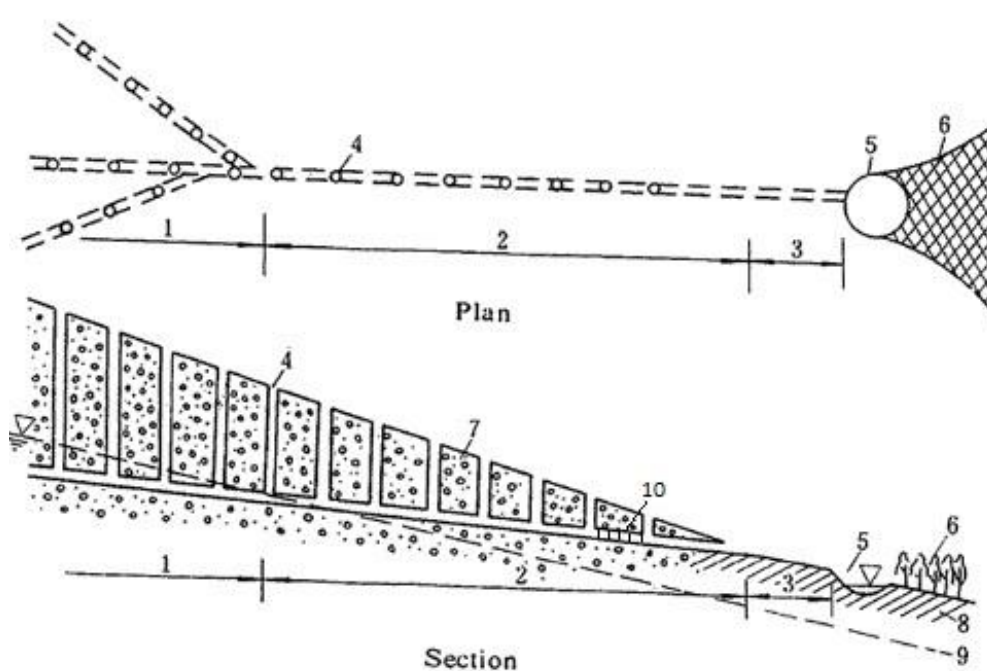
Το qanat είναι ένα σύστημα υπόγειων στοών και αγωγών, με τη βοήθεια των οποίων υδρομαστεύεται ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, το νερό του οποίου μεταφέρεται στην επιφάνεια με τη βοήθεια της φυσικής κλίσης. Απαιτείται δηλαδή ο οικισμός να βρίσκεται κοντά σε φυσική πλαγιά, αλλά και να υπάρχει η ευνοϊκή για το έργο γεωμορφολογία, που είναι τα πετρώματα με υδροπερατά συστατικά. Στο ανώτερο τμήμα της πλαγιάς κατασκευάζεται το λεγόμενο μητρικό ή ερευνητικό πηγάδι για τον εντοπισμό του υδροφόρου ορίζοντα. Το βάθος του φρέατος αυτού μπορεί να κυμαίνεται από 5 μέχρι και 300 μ. Από αυτό το ψηλότερο σημείο του qanat, όπου βρίσκεται η πηγή του νερού που θα μεταφερθεί, ξεκινούν οι σήραγγες και (κατόπιν, σε μεγαλύτερα βάθη) οι κλειστοί αγωγοί του νερού, που καταλήγουν στον υποχρεωτικά χαμηλότερα ευρισκόμενο οικισμό. Η κλίση τους – οπωσδήποτε μικρότερη από αυτήν της πλαγιάς, ώστε κάποια στιγμή να φτάνουν στην επιφάνεια – κατά κανόνα δεν υπερβαίνει το 5‰. Το νερό συχνά ρέει σε ένα ρεϊθρο, ενώ όλος ο υπόλοιπος χώρος εξυπηρετεί την ανάγκη της πρόσβασης από τον άνθρωπο για λόγους συντήρησης. Στην αρχή της πορείας των σηράγγων, οι οποίες μπορεί να είναι απλώς ανοιγμένες στο υπέδαφος ή να φέρουν τοιχοποιία, διανοίγονται και άλλα φρεάτια ποικίλου βάθους, με σκοπό την εκχωμάτωση και τον εξαερισμό του συστήματος όταν κατασκευάζεται και τη συντήρησή του για όσο καιρό λειτουργεί. (Μανωλεδάκης-Ανδρούδης, 2008)

Δομή

Για την κατασκευή ενός qanat χρειαζόνταν μεγάλος αριθμός εργατών. Μια τροχαλία τοποθετούνταν στην επιφάνεια και το υλικό της εκσκαφής εξέρχονταν με κουβάδες. Το έδαφος έπρεπε να είναι υγρό στο άνοιγμα του πηγαδιού ώστε να σχηματίζει ένα μικρό ανάχωμα. Αυτό το ανάχωμα υποστήριζε το άνοιγμα ώστε να μην εισέρχονται στο πηγάδι λάσπη και άλλα μολυσμένα υλικά. Αρχικά γινόταν η εκσκαφή ενός κάθετου πηγαδιού διαμέτρου 1μ και έπειτα κατασκευαζόταν ένα τούνελ με ελαφριά κλίση, το οποίο μετέφερε το νερό με υπόγειο φρεάτιο σε κάποια απόσταση στην επιφάνεια. Τα κάθετα αυτά τούνελ μπορεί να είχαν μήκος από 20-200 μέτρα ενώ το φρεάτιο είχε μέσο μήκος περίπου 5 χμ (μερικά έφταναν και τα 70 χμ όπως το qanat της επαρχίας Κοροσάν του Ιράν). Αν το έδαφος δεν ήταν σταθερό χρειαζόταν και εσωτερική επένδυση από ενισχυτικούς κρίκους που τοποθετούνταν κατά διαστήματα για να αποτρέψουν πιθανές πτώσεις υλικών. Αυτοί οι κρίκοι συνήθως φτιάχνονταν από καμένο πηλό. Μεταλλικά στοιχεία, άλατα και άλλα ιζήματα που συσσωρεύονταν στο κανάλι έκριζαν περιοδικής συντήρησης και καθαρισμού.

Σχηματική απόδοση συστήματος qanat (Εικόνα 4):

1. Περιοχή φιλτραρίσματος των φρεατίων
2. Τμήμα μεταφοράς του νερού των φρεατίων
3. Ανοιχτό φρεάτιο
4. Κάθετα πηγάδια
5. Μικρή λίμνη αποθήκευσης
6. Περιοχή άρδευσης
7. Αμμοχάλικο
8. Εδαφικά στρώματα
9. Επιφάνεια υπόγειου νερού
10. Ενισχυτικοί κρίκοι



Εικόνα 4. Σύστημα Qanat. (<http://www.waterhistory.org/>, n.d.)

Χρήσεις

Το νερό που ρέει μέσα από το σύστημα των qanat χρησιμοποιούνταν κυρίως για να παρέχει πόσιμο νερό στα χωριά για την εξυπηρέτηση των καθημερινών αναγκών τους (άρδευση καλλιεργειών, πότισμα των ζώων κλπ). Σε συνδυασμό με κάποιον ανεμόμυλο δημιουργούσαν ένα είδος ψυκτικού μηχανισμού για αποθήκευση τροφών και πάγου για τους καλοκαιρινούς μήνες. (Ward)

Ιστορικά στοιχεία

Τα qanat πρωτοεμφανίστηκαν στα βουνά του Κουρδιστάν στο δυτικό Ιράν, στην ανατολική Τουρκία και στο βόρειο Ιράκ πριν από 2,500 και πλέον χρόνια παράλληλα με πρωτόγονες μεταλλευτικές εργασίες. Η παλαιότερη καταγραφή ενός συστήματος qanat εξιστορεί την καταστροφή των qanat που παρείχαν νερό στην πόλη Ulu (σημερινή Ula) που βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της πόλης Urmia, από τον Sargon II το 714 π.Χ. Μετέπειτα πόλεις της Ασσυρίας, ειδικά αυτές που βρίσκονταν στο άνω τμήμα του ποταμού Τίγρη, βασιζόνταν στα qanat για πόσιμο νερό με συνεργασία πολλών κοινωνιών μαζί για τη δημιουργία τους (Παράρτημα Ε – Κάτοψη από δορυφόρο του συστήματος qanat της πόλης Ansan της Λιβύης). (Mohammad Reza Balali & Keulartz)

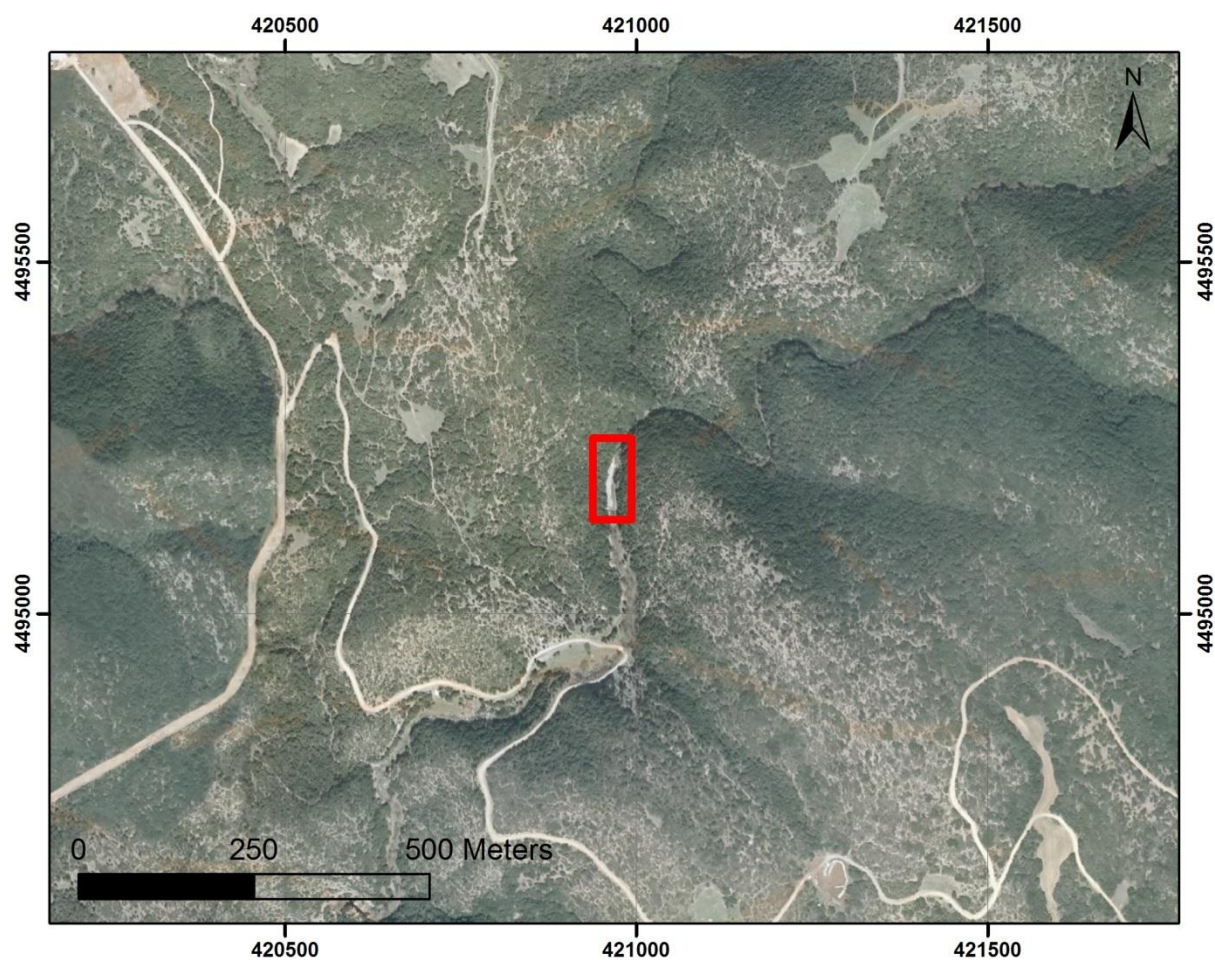
Στοιχεία Περιοχής

Γεωγραφική Θέση

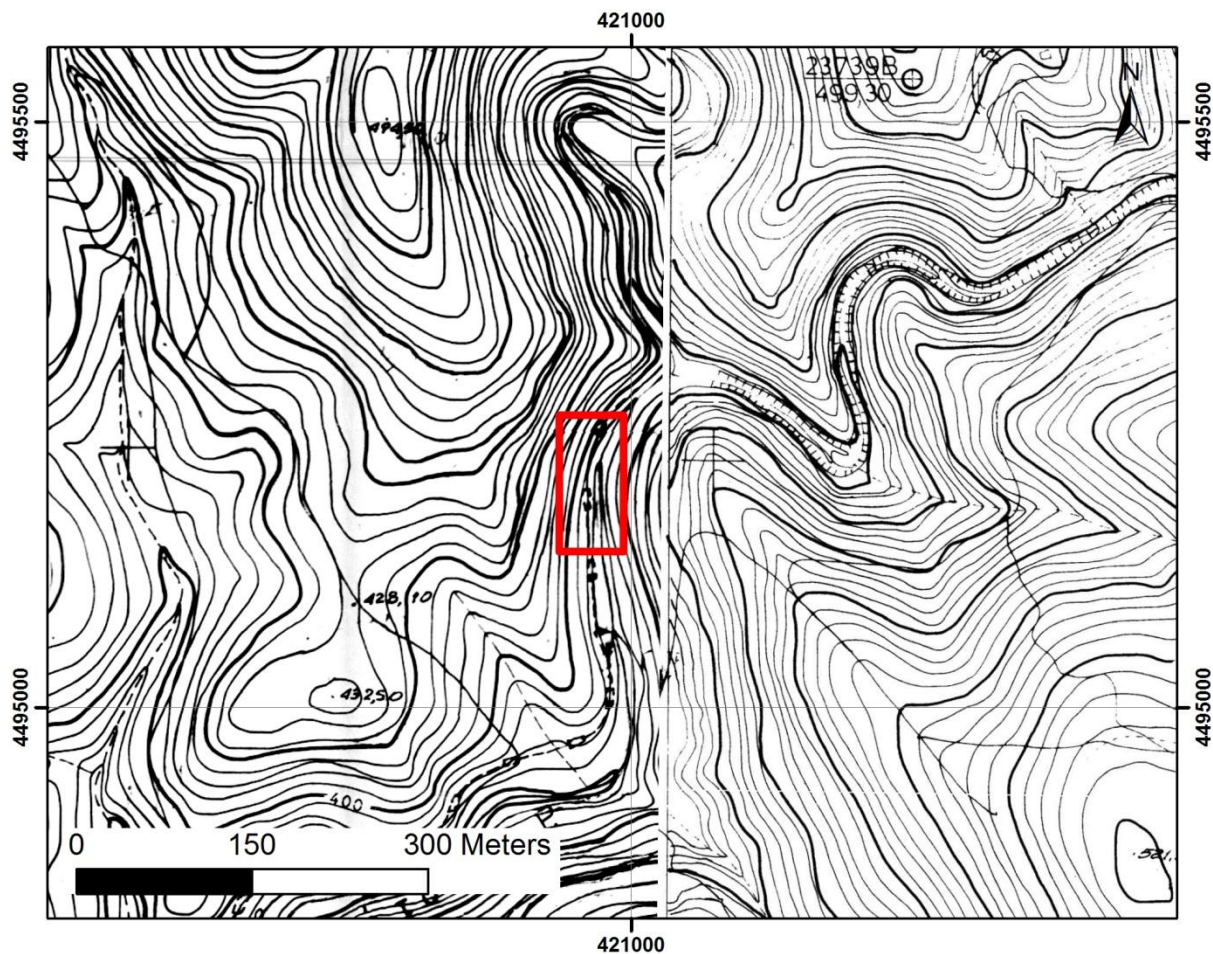
Οι πηγές Χαρίλαου βρίσκονται ΒΔ του Πανοράματος Θεσσαλονίκης, με συντεταγμένες ΕΓΣΑ '87

X 420557, Y 4495463

Διοικητικά ανήκει στον Δήμο Πυλαίας-Χορτιάτη, Νομού Θεσσαλονίκης.



Εικόνα 5. Τοπογραφικός χάρτης περιοχής.



Εικόνα 6. Υψομετρικός χάρτης της περιοχής

Ιστορικά Στοιχεία

Το ραπανάκι των πηγών Χαρίλαου χτίστηκε το 1918 από τον Γαλλικό στρατό για την ύδρευση του Ωραιοκάστρου.

Γεωλογία

Γεωλογικοί Σχηματισμοί

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συγκροτούν την γεωλογική δομή της περιοχής είναι οι εξής (Εικόνα 7):

Ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα
(Τριαδικό – Μ. Ιουρασικό)

Ομάδα Σβούλας

Χαλαζίτες (T-Jm.st) : κοκκινοκάσταντοι, λεπτοί έως μεσόκοκκοι, λεπτοστρωματώδεις, σιδηρούχοι και σκοτεινότεφροι, χαλαζιτικοί ψαμμίτες με ενστρώσεις από σκοτεινότεφρους φυλλίτες, τοπικά γραφιτικούς σχιστόλιθους και σκοτεινότεφρες ταινίες από ψαμμιτικού; Ασβεστόλιθους.

Ασβεστόλιθοι ανακρυσταλλωμένοι (T-Jm.mr) : λευκοί ή γαλαζωποί, παχυστρωματώδεις έως λεπτοστρωματώδεις, χαλαζιακά – σερικιτικά μάρμαρα και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι με ενστρώσεις μαύρων φυλλιτών.

Μεταμορφωμένα και Σχιστώδη

Μεσοζωικό

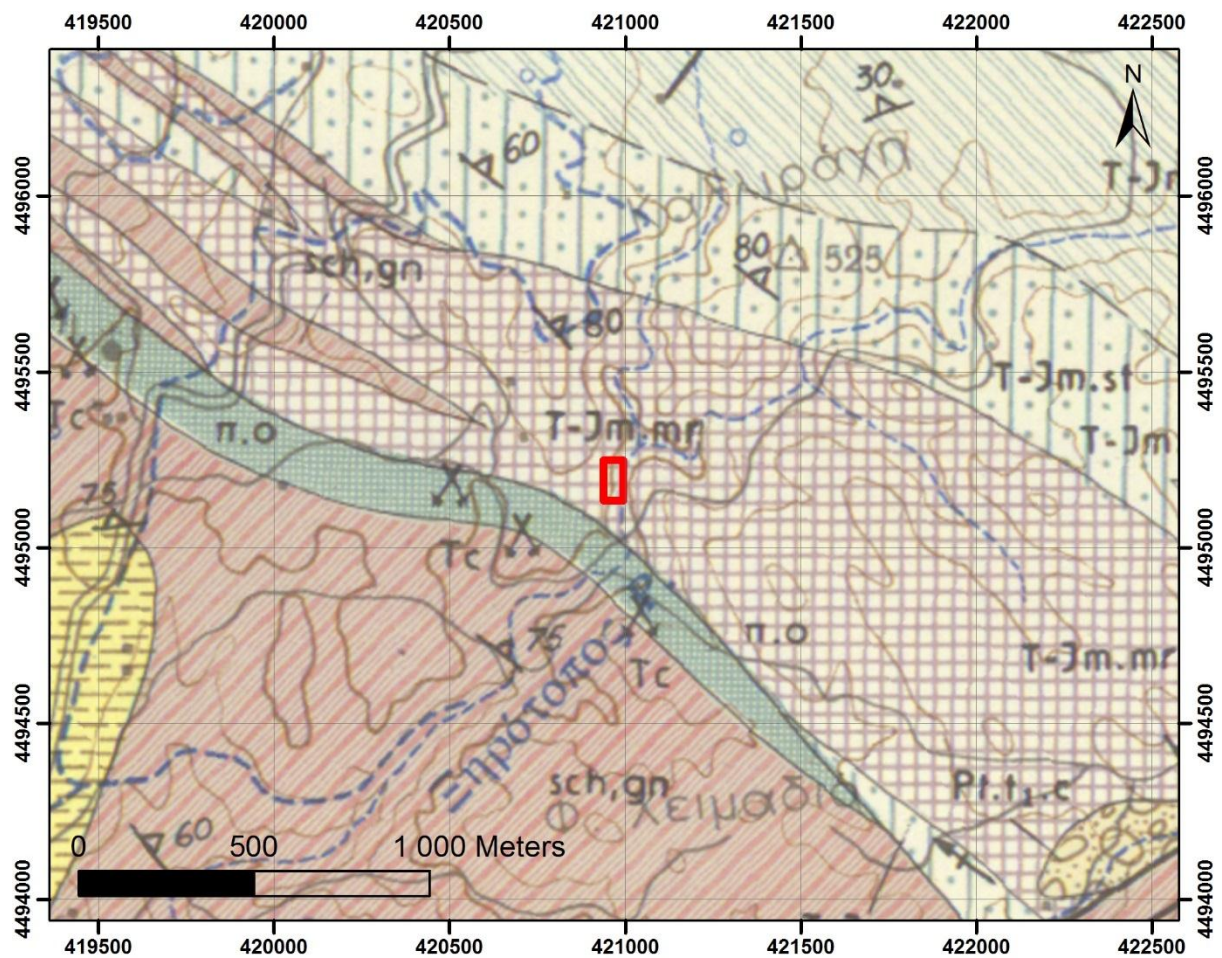
Μαγματική σειρά Χορτιάτη

Λευκοκρατικός αλβιτικός - σερικιτικός – μικροκλινικός γνεύσιος (sch.gn) : (αλβίτης μικροκλινής, μοσχοβίτης και επουσιώδη ορυκτά), με γνευσιακό ή οφθαλμοειδή ιστό, παράλληλα προς τον s, στρωμένος μέσα στα μεταιζήματα.

Δουνίτες και Περιδοτίτες (π.ο) : κυρίως βερλίτης, μερικώς λερζόλιθος (ολιβίνης, διαλλαγής, βρονζίτης), επουσιώδης μεταπεριδοτίτης. Φακοί και ταινίες χρωμίτη κυρίως μέσα σε δουνίτες, πολύ εξαπλωμένη αλλοίωση σε περιοχές μεταλλοφορίας λευκόλιθου. Μέσα στα σχιστώδη σώματα, σχηματισμός αντιγοριτικού σχιστολίθου, τάλκη και αμιάντου.

Ηλικία: παλαιότερη από τους γάββρους Λαναριού και από τη μαγματική σειρά Χορτιάτη και νεότερη από το Ανώτερο Τριαδικό.

Πλέγμα φλεβιδίων λευκολίθου και φλέβες αξιόλογης μεταλλοφορίας.



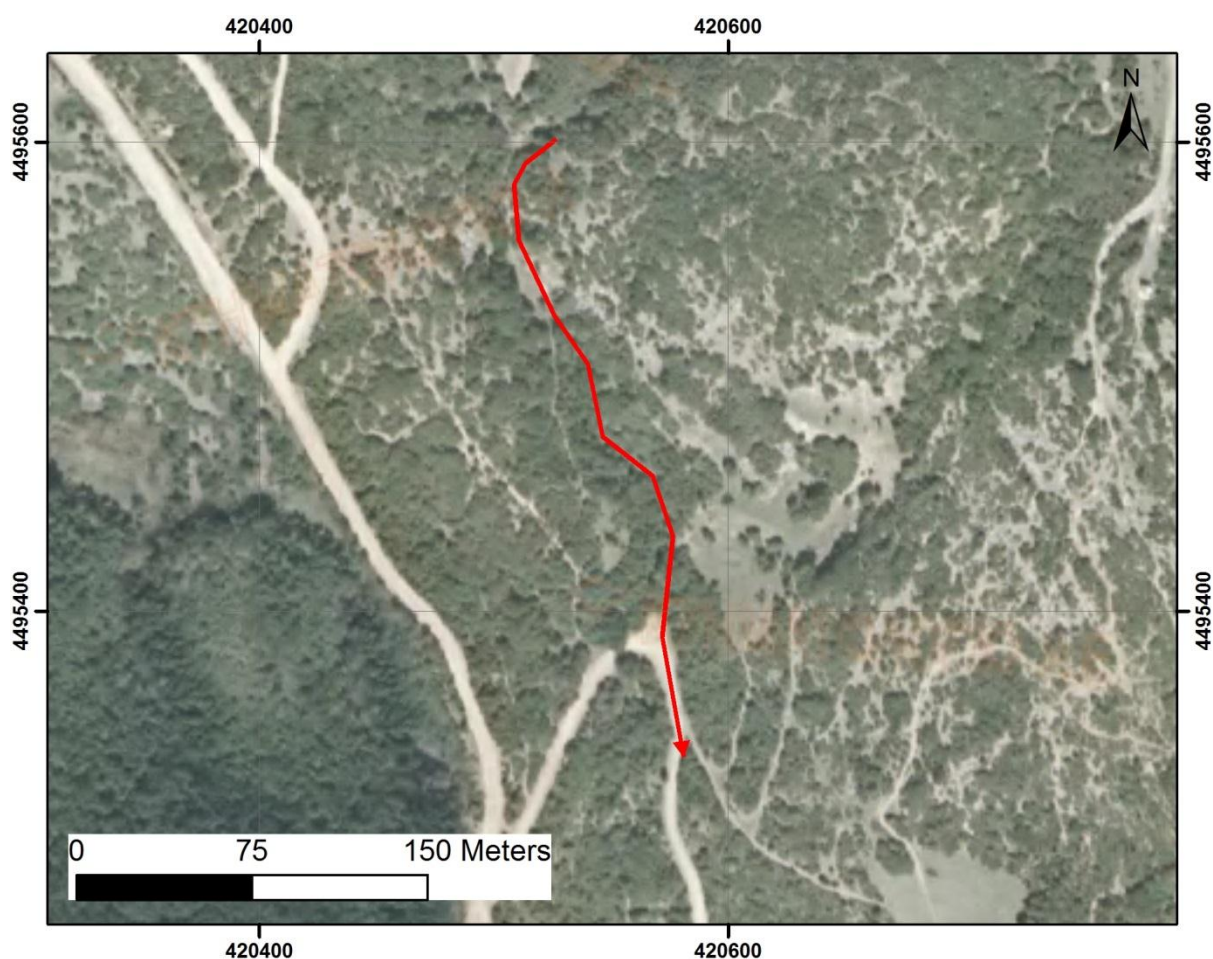
Εικόνα 7. Απόσπασμα Χάρτη ΙΓΜΕ - Ενότητα Μελισσοχωρίου - Χολομώντα

Τεκτονική

Στον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ δεν σημειώνονται χαρτογραφημένες ρηξιγενείς ζώνες.

Εφαρμογή Μεθόδου VLF

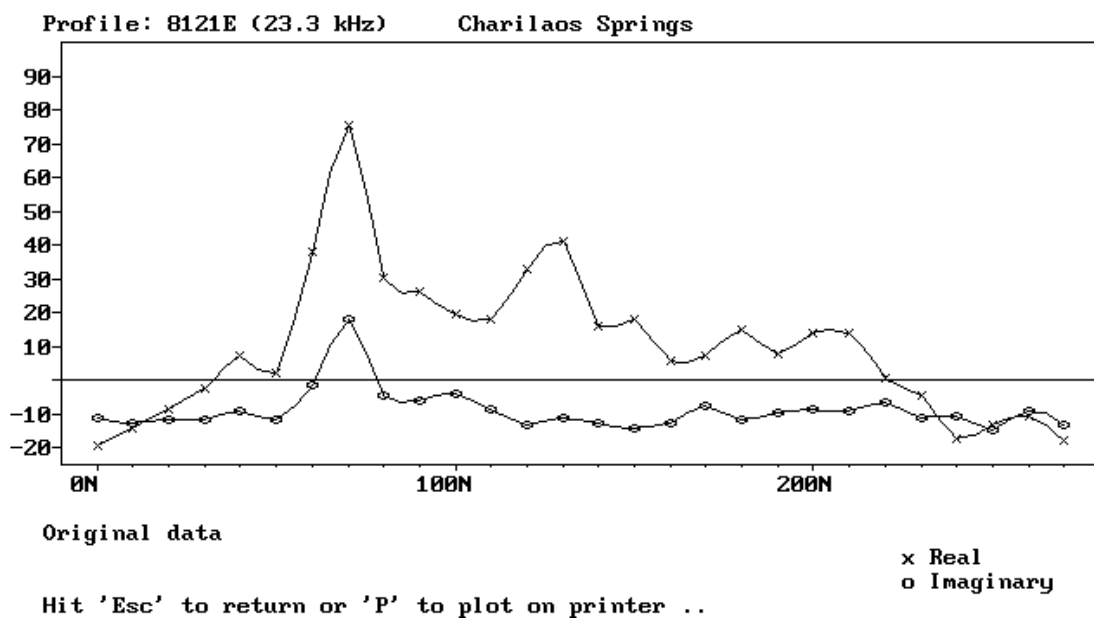
Προγραμματισμός



Εικόνα 8. Όδευση VLF

Πραγματοποιήθηκε μία όδευση VLF μήκους 270 μέτρων και κατεύθυνση BBD-NNA. Στην συγκεκριμένη περιοχή η βλάστηση είναι πάρα πολύ πυκνή με απουσία άλλων πιθανών μονοπατιών για επιπρόσθετες ερευνητικές οδεύσεις. Βρίσκεται επί της περιοχής ενδιαφέροντος του Qanat και παράλληλα με την ροή της ύδρευσης. Η όδευση πραγματοποιήθηκε πάνω στους Χαλαζίτες Τριαδικού – Μ. Ιουρασικού. Οι μετρήσεις έγιναν με το WADI της εταιρείας ABEM που ανήκει στο Εργαστήριο Γεωφυσικής του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

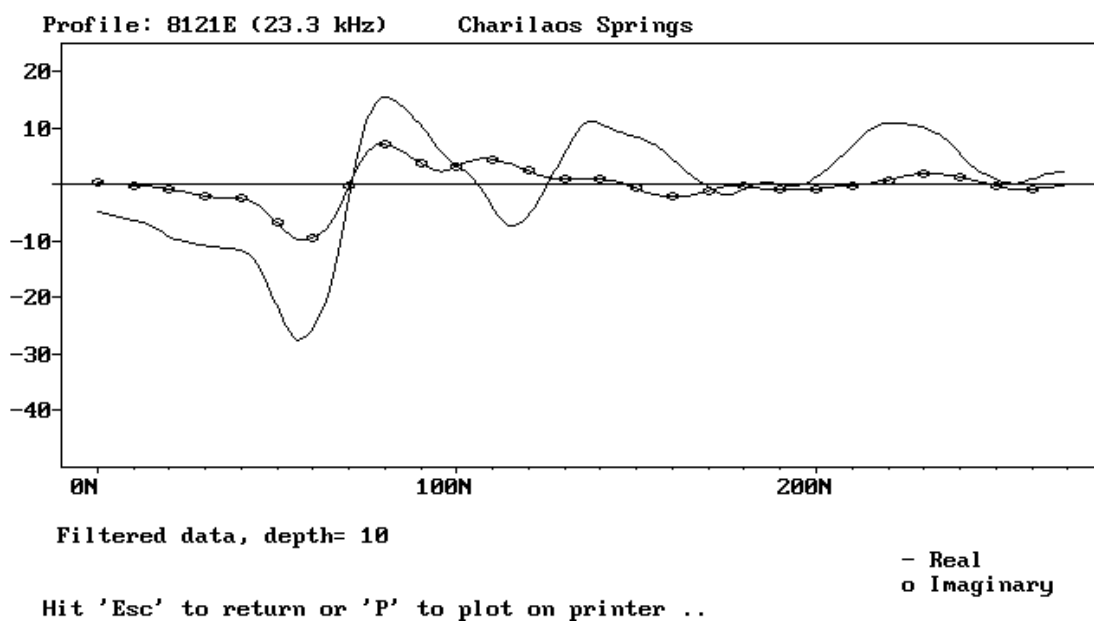
Μετρήσεις και φιλτράρισμα δεδομένων



Εικόνα 9. Αρχικές Μετρήσεις

Οι μετρήσεις έγιναν στα 23,3 KHz. Με 'x' παρουσιάζονται οι μεταβολές της πραγματικής και με 'o' οι μεταβολές της φανταστικής συνιστώσας του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου.

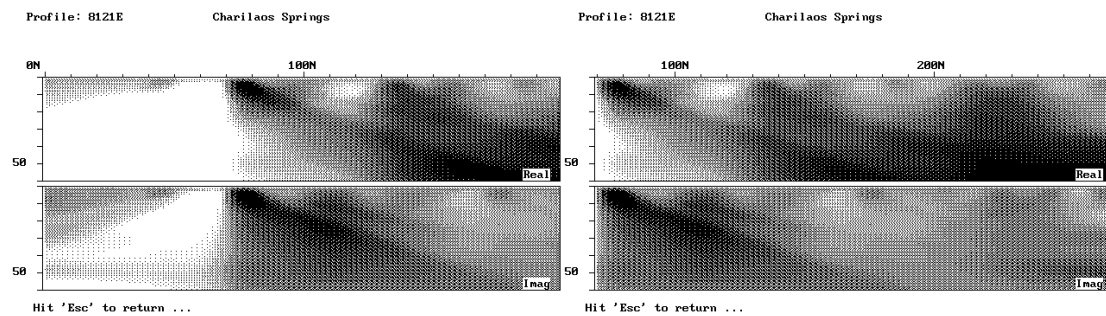
Φίλτρο Fraser



Εικόνα 10. Μετρήσεις φιλτραρισμένες με φίλτρο Fraser

Η φιλτραρισμένη έκδοση των μετρήσεων με φίλτρο Fraser.

Φίλτρο Karous-Hjelt



Εικόνα 11. Μετρήσεις με φίλτρο Karous-Hjelt

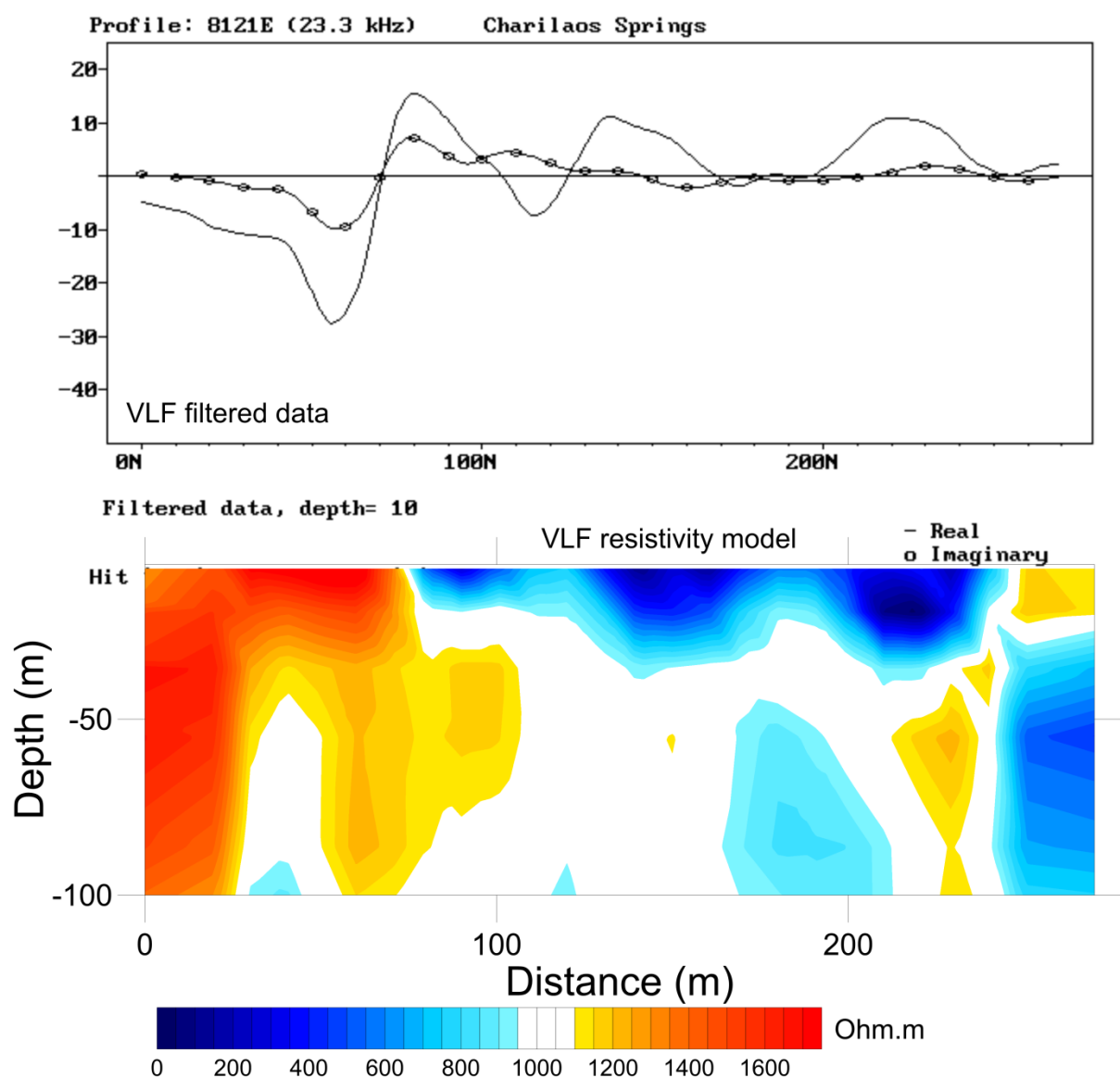
Η κατανομή της πυκνότητας ρεύματος που προκύπτει τόσο από την πραγματική όσο και από τη φανταστική συνιστώσα φαίνεται με εφαρμογή του φίλτρου Karous-Hjelt.

Αντιστροφή δεδομένων VLF και ερμηνεία γεωηλεκτρικού μοντέλου

Έγινε αντιστροφή δεδομένων με την χρήση του προγράμματος του Santos (Santos, 2006).

Η διαδικασία αυτή αποδίδει το γεωηλεκτρικό μοντέλο σε τομή αντίστοιχη με την όδευση VLF.

Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 12. Πάνω: φιλτραρισμένες με φίλτρο Fraser τιμές. Κάτω: γεωηλεκτρικό μοντέλο όπως προκύπτει από την αντιστροφή δεδομένων VLF

Η αντίσταση ημιχώρου που χρησιμοποιήσαμε είναι 1000 Ohm.m και φαίνεται στο παραπάνω σχήμα με λευκό χρώμα. Αντίστοιχα οι πιο αγώγιμες δομές φαίνονται με τις αποχρώσεις του μπλε, ενώ οι λιγότερο αγώγιμες (πιο συμπαγείς) δομές με τις αποχρώσεις του κίτρινου-κόκκινου.

Στα πρώτα 70 μέτρα της τομής παρατηρούμε στο γεωηλεκτρικό μοντέλο μια (σημειωμένη με έντονο πορτοκαλί) συμπαγή δομή πολύ υψηλών αντιστάσεων άνω των 1400 Ohm.m.

Στα υπόλοιπα 230 μέτρα της τομής παρατηρούμε τρεις θετικές κορυφές στο ανώτερο σχήμα των φιλτραρισμένων με φίλτρο Fraser μετρήσεων που συσχετίζονται με την επιφανειακή και διάσπαρτη στο γεωηλεκτρικό μοντέλο του κατώτερου σχήματος δομή, που σημειώνεται με μπλε σκούρο χρώμα, με εύρος αντιστάσεων 0-600 Ohm.m.

Με βάση το ανώτερο σχήμα των μετρήσεων με φίλτρο Fraser, προσεγγιστικά μπορούμε να προσδιορίσουμε τις ανωμαλίες (τις πιο αγώγιμες δομές) σε βάθος 15, 25 και 25 μέτρων αντίστοιχα, όπως μας επιβεβαιώνει και το γεωηλεκτρικό μοντέλο.

Μέσω του γεωηλεκτρικού μοντέλου, παρατηρούμε στα 190 μέτρα της τομής και σε βάθος που ξεκινάει λίγο πριν τα 50 μέτρα, βαθύ ρήγμα που ξεπερνάει τα 100 μέτρα βάθος απεικόνισης του γεωηλεκτρικού μοντέλου με αντιστάσεις περίπου 800 Ohm.m.

Αποτελέσματα

Η έρευνα VLF αποκάλυψε μια εξαιρετικά συμπαγή δομή, τρεις αγώγιμες επιφανειακές ζώνες και μία σε βάθος .

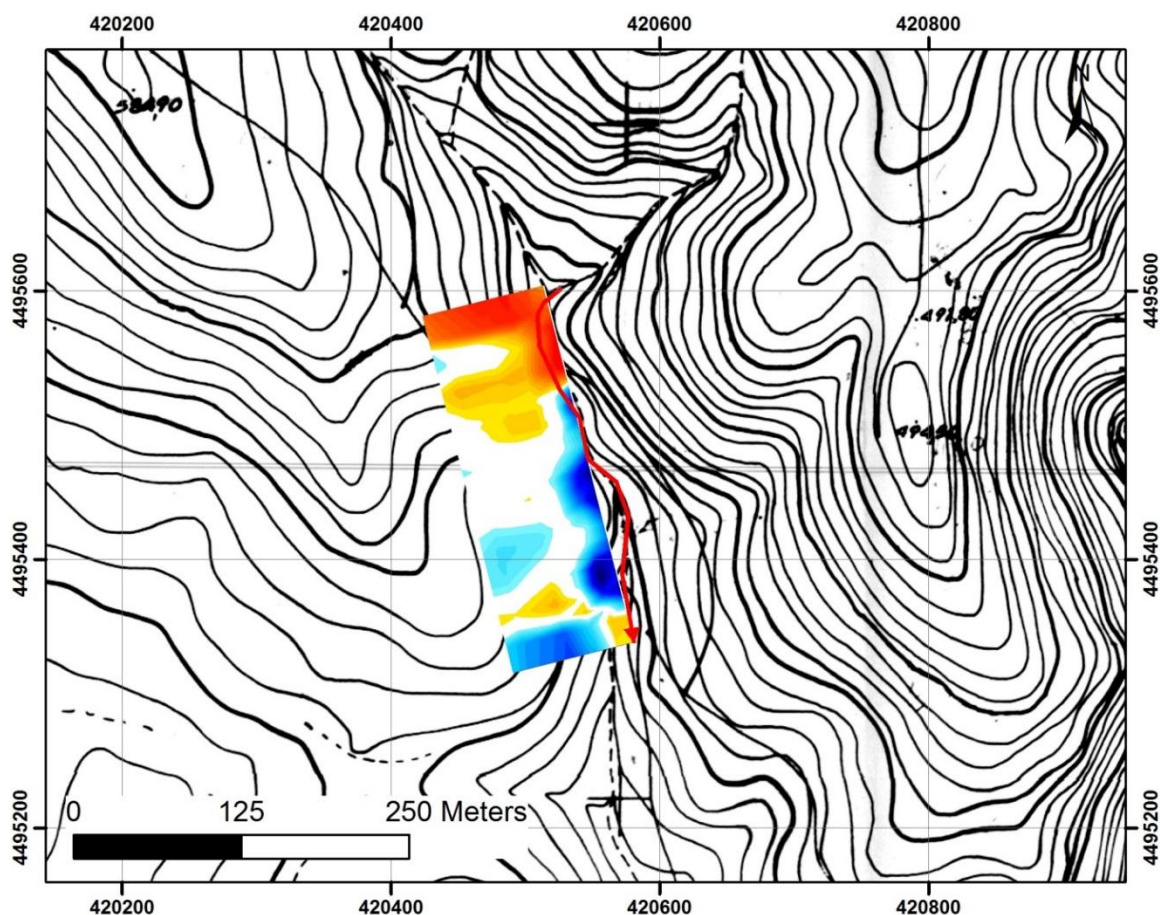
Συγκεκριμένα:

- Μια συμπαγή δομή από την αρχή της ερευνητικής τομής μέχρι τα 70 μέτρα μήκος, που πιθανών να οφείλεται στο ανώτερο κομμάτι της στην κατασκευαστική δομή του Qanat.

- Από το 70ό μέτρο της τομής και μέχρι το 230ό έχουμε τρεις επιφανειακές αγώγιμες ζώνες που πιθανών συνδέονται με το υπόγειο νερό της παροχής του Qanat. Η πρώτη με κέντρο το 90ό μέτρο της τομής και βάθος περίπου 15 μέτρων, η δεύτερη με κέντρο το 150ό μέτρο της τομής και βάθος περίπου 25 μέτρων και η τρίτη με κέντρο το 210ό μέτρο της τομής και βάθος περίπου 25 μέτρων.

- Μια αγώγιμη ζώνη που πιθανώς είναι ρήγμα, στο 190ό μέτρο της τομής η οποία ξεκινάει σε βάθος 40 μέτρων.

Προτείνεται ερευνητική γεώτρηση στα 190 μέτρα, ώστε να διερευνηθεί η αγώγιμη ζώνη, και οι πιθανές διαφυγές υδάτων από το Qanat μέσω αυτής.



Εικόνα 13. Συνδυασμένη απεικόνιση γεωηλεκτρικού μοντέλου με τοπογραφία

Βιβλιογραφία

- Gürer, A., Bayrak, M., & Gürer, Ö. (2009). A VLF survey using current gathering phenomena for tracing buried faults of Fethiye–Burdur Fault Zone, Turkey. *Journal of Applied Geophysics*, 437–447.
- <http://magnmat.physics.auth.gr/documents/Brakes2005.pdf>. (n.d.).
- <http://sidstation.loudet.org/stations-list-en.xhtml>. (n.d.).
- <http://techwatertrust.se/en/vlf-metoden/>. (n.d.).
- <http://terraplus.ca/>. (n.d.).
- <http://www.livius.org/>. (n.d.).
- <http://www.nga.com/>. (n.d.).
- <http://www.waterhistory.org/>. (n.d.).
- Hutchinson, P. J., Barta, L. S., Anderson, D. M., & Spence, C. P. (2001). Geophysical Applications to Groundwater Resources. Pittsburg, Pennsylvania: Groundwater Foundation and Groundwater Guardian Designation.
- McNeill, J. a. (1992). Geological mapping using VLF radio fields: in Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. *Society of Exploration Geophysicists*.
- Mohammad Reza Balali, R. B., & Keulartz, J. (n.d.). *Technology and ReligionThe Qanat underground irrigation system*.
- Santos, F. A. (2006). *Instructions for Running PrepVLF and Inv2DVLF 2-D Inversion of VLF-EM single frequency programs*.
- Ward, P. (n.d.). Qanats and Lifeworlds in Iranian Plateau Villages. *Yale F&ES Bulletin*.
- Wright, J. 1. (1988). *VLF interpretation manual: EDA Instruments (now Scintrex)*. Toronto. www.surfacesearch.com/. (n.d.).
- Μανωλεδάκης-Ανδρούδης. (2008). Το αρχαιολογικό έργο στη Μακεδονία και τη Θράκη. Παπαγιάννης, Γ. (n.d.). <http://www.hortiatiss70.gr/environment/item/77-piges-xortiati>.
- Παπαζάχος, Β. Κ. (1996). *Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ.

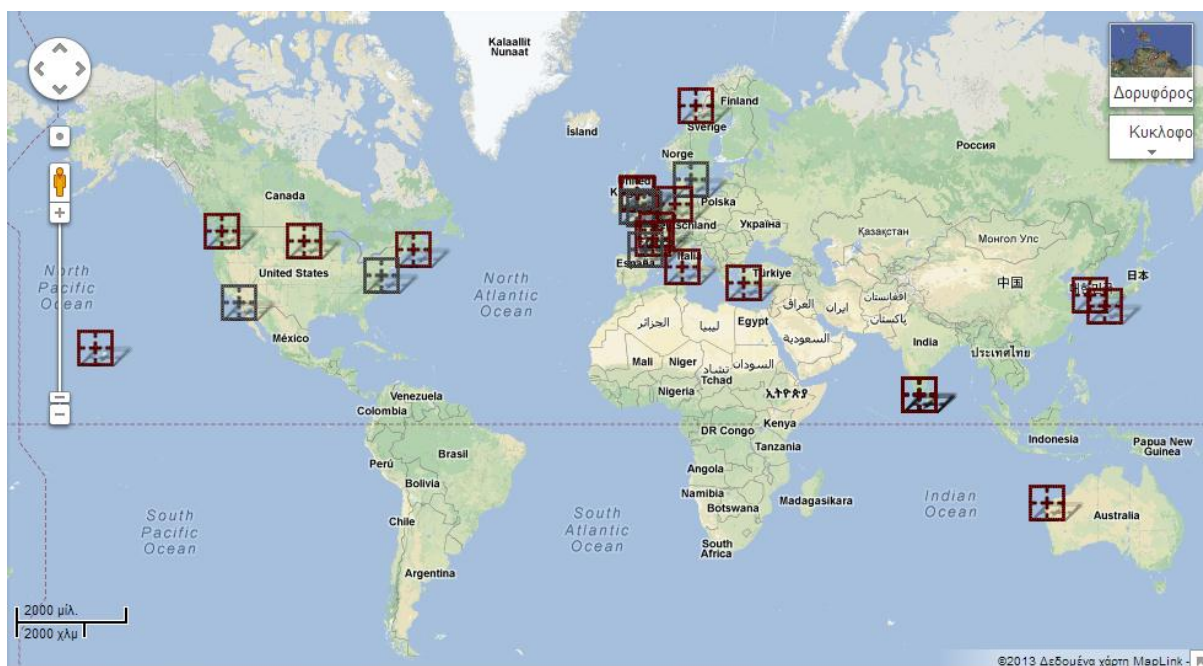
Παράρτημα

Α - Σταθμοί VLF στην Ευρώπη



<http://sidstation.loudet.org/stations-list-en.xhtml>

Β – Σταθμοί VLF στον κόσμο



<http://sidstation.loudet.org/stations-list-en.xhtml>

Γ - Δέκτης VLF



(<http://terrafogdestam.se/wp-content/uploads/2012/01/birger-vlf4.jpg>)

Δ – Μηχάνημα Ηλεκτρικής Τομογραφίας



(www.surfacesearch.com/, n.d.)

Ε – Κάτοψη από δορυφόρο του συστήματος qanat της πόλης Ansan της Λιβύης



(<http://www.livius.org/>, n.d.)