

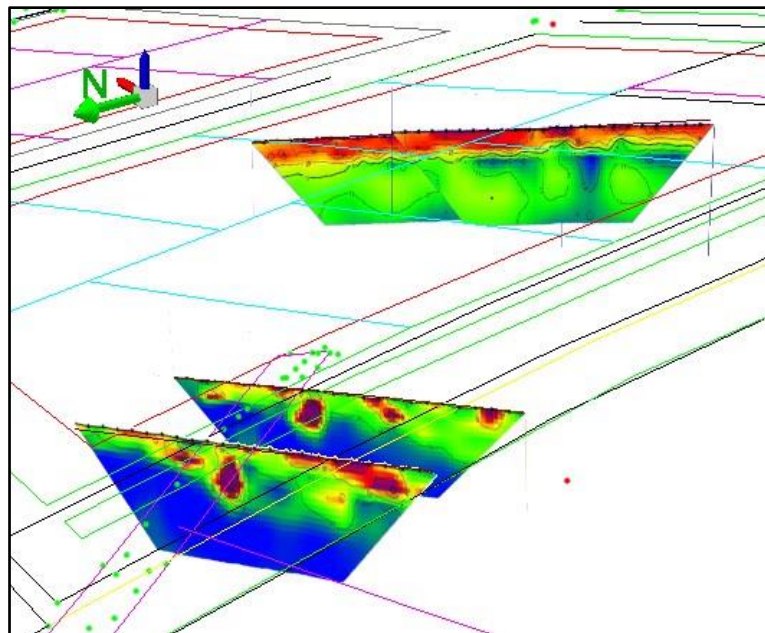
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



ΙΩΑΝΝΑ Ν. ΚΑΦΕΤΖΗ

«ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ (QANAT) ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΟΥ, ΚΙΛΚΙΣ
ΜΕ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2018

ΙΩANNA N. ΚΑΦΕΤΖΗ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 4787

«ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ (QANAT) ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΟΥ, ΚΙΛΙΚΙΑΣ
ΜΕ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ»

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωφυσικής,
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

Επιβλέποντες καθηγητές

Γρηγόριος Τσόκας, Καθηγητής

Παναγιώτης Τσούρλος, Καθηγητής

Γεώργιος Βαργεμέζης, Αναπληρωτής Καθηγητής

© Ιωάννα Ν. Καφετζή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2018 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος -ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ (QANAT) ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΟΥ, ΚΙΛΚΙΣ ΜΕ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ– Διπλωματική Εργασία

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

*Στην ιερή μνήμη των γιαγιάδων μου Σουλτάνας και Φεβρωνίας
και των παππούδων μου Ιωάννη και Μιχαήλ.*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	6
1. Αντικείμενο της Διπλωματικής εργασίας.....	8
2. Περιοχή Μελέτης – Έρευνας.....	9
3. Τα Συστήματα QANAT	13
4.1. Ηλεκτρική Μέθοδος Γεωφυσικής Διασκόπησης.....	17
4.2 Τρόποι Διάταξης των Ηλεκτροδίων	18
5. Ηλεκτρική Τομογραφία.....	22
5.1 Ερμηνεία των Μετρήσεων με τη Μέθοδο της Αντιστροφής.....	23
6. Εφαρμογή της Ηλεκτρικής Τομογραφίας στην Περιοχή - Έρευνας	26
6.1 Επεξεργασία των Δεδομένων των Ηλεκτρικών Τομογραφιών	28
6.2 Ερμηνεία των Ηλεκτρικών Τομογραφιών	30
Τομογραφία EQ1.....	30
Τομογραφία EQ2.....	32
Τομογραφία EQ3.....	33
Τομογραφία EQ4.....	34
7. Συμπεράσματα.....	36
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	40

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών στο τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης είχα τη δυνατότητα μέσω της διδασκαλίας των καθηγητών μου να έρθω σε επαφή με τις ερευνητικές δραστηριότητες του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, του Τομέα Γεωφυσικής.

Από τον καθηγητή μου κ. Γρηγόριο Τσόκα, προτάθηκε ως θέμα για την πτυχιακή μου εργασία, η εφαρμογή των Γεωφυσικών Μεθόδων, για την απεικόνιση των υπόγειων αγωγών (QANAT) στην Ευρωπό του Νομού Κιλκίς που είναι και ο τόπος καταγωγής μου.

Η παρούσα εργασία μου οφείλει πολλά σε πολλούς ανθρώπους. Πρώτα πρώτα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους τρεις επιβλέποντες καθηγητές μου, τον κ. Γρηγόριο Τσόκα, τον κ. Παναγιώτη Τσούρλο και τον κ. Γεώργιο Βαργεμέζη και να τους εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη για την ανάθεση του θέματος, για τις πολύτιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια της εργασίας αυτής. Εκείνο που θέλω να τονίσω είναι ότι ενθάρρυναν με τη συμπεριφορά τους τη συνέχιση της εργασίας μου, που είχα διακόψει για μεγάλο χρονικό διάστημα για λόγους επαγγελματικούς.

Επίσης, επιθυμώ να ευχαριστήσω τον τοπογράφο κ. Λάμπρου Γεώργιο, καθώς και την αρχαιολόγο κ. Σαββοπούλου Θωμάη, οι οποίοι μου παρείχαν το συμπληρωματικό υλικό που χρειαζόμουν για τη σύνθεση της εργασίας.

Τέλος, δε θα μπορούσα να μην αναφερθώ στην οικογένεια μου και στον καθένα ξεχωριστά όπως τους αξίζει. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και θα οφείλω πάντοτε στους γονείς μου, αναγνωρίζοντας τους κόπους και τις θυσίες που έχουν κάνει για εμένα καθώς και για την συμπαράσταση τους καθόλη τη διάρκεια της μέχρι τώρα πορείας μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον πατέρα μου Νικόλαο Καφετζή, ο οποίος με τη βοήθεια του στη λήψη των μετρήσεων για τη διπλωματική μου εργασία, απέδειξε για άλλη μια φορά πως είναι παρών σε κάθε μου βήμα, από τα προσχολικά ακόμη χρόνια μου, δίνοντας μου τις πολύτιμες συμβουλές του. Στην μητέρα μου Νίκη που αποτελεί για εμένα έναν ακοίμητο φρουρό που βρίσκεται πάντα δίπλα μου και με προστατεύ-

ει και με ενθαρρύνει για να μπορώ να συνεχίσω. Τέλος, στην αδερφή μου Τάνια θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, την ευγνωμοσύνη μου και τον θαυμασμό μου στο πρόσωπο της για τις παντός είδους συμβουλές της και τις θυσίες που έχει κάνει για εμένα.

1.Αντικείμενο της Διπλωματικής εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο εντοπισμός του υπόγειου αγωγού (Qanat) στην περιοχή της Ευρωπού του Νομού Κιλκίς με επιφανειακές μεθόδους έρευνας. Στόχος δηλαδή είναι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου γεωφυσικής έρευνας και η εφαρμογή της στο πεδίο μελέτης.

Στη διπλωματική εργασία, αρχικά παρουσιάζεται η περιοχή έρευνας με την αναφορά χρήσιμων ιστορικών στοιχείων τα οποία και οριοθετούν την περιοχή μελετάται, βοηθώντας στον εντοπισμό του υπόγειου αγωγού.

Στη συνέχεια, αναλύεται η μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα.

Τέλος, με γνώμονα τα παραπάνω, επιχειρείται να αποτυπωθεί η θέση του υπόγειου αγωγού καθώς και η πιθανή πορεία που ακολουθεί.

2. Περιοχή Μελέτης – Έρευνας

Στους πρόποδες του Όρους Πάικου, στην επαρχία Παιονίας του νομού Κιλκίς βρίσκεται η Ευρωπός, σε απόσταση 44 km από τη πόλη του Κιλκίς και 55 km από τη Θεσσαλονίκη. Η αρχαία πόλη της Ευρωπού εντοπίζεται σε μια λοφοσειρά, περίπου 1000m ΒΔ από το σημερινό χωριό, στη θέση Αμπέλια, όπως έχει ονομαστεί. Εκεί, με την εφαρμογή της πρώτης γεωφυσικής διασκόπησης που έγινε στην Ελλάδα τη δεκαετία του 1980, από το εργαστήριο της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του ΑΠΘ, έχει αποτυπωθεί ο πολεοδομικός ιστός της αρχαίας πόλης και με τις μετέπειτα αρχαιολογικές ανασκαφές έχουν εντοπιστεί λιθόχτιστα τείχη σπιτιών. Από την ανασκαφή προκύπτουν στοιχεία για τη κεραμική τεχνογνωσία της εποχής με την ανεύρεση ενός κεραμικού κλιβάνου, καθώς και της μεταλλευτικής δραστηριότητας. Ο εντοπισμός όχι μόνο των Μακεδονικών τάφων και των ανεκτίμητης αξίας κτερισμάτων, αλλά και των πιο απλοϊκών σε μορφή ταφικών κατασκευών πιστοποιεί την οικονομική ευμάρεια των κατοίκων της αρχαίας πόλης (Σαββοπούλου, 1988).

Ο αρχαιολογικός χώρος που δημιουργήθηκε στα νεκροταφεία της Ευρωπού αποδίδει τιμή στους πρώτους «Ευρωπαίους» πολίτες, τους κατοίκους της Ευρωπού αλλά και στην ίδια τη πόλη και στη σπουδαιότητα της.

Η Ευρωπός στην αρχαιότητα αποτελούσε μια από τις ισχυρότερες πόλεις της Μακεδονίας. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται από τις αναφορές συγγραφέων της εποχής στη πόλη της Ευρωπού. Ο Θουκυδίδης, παρουσιάζει την επίθεση που δέχθηκαν οι πόλεις της Μακεδονίας το 429 π.Χ. από το βασιλιά της Θράκης, Σιτάλκη, ο οποίος με την υποστήριξη των Αθηναίων και για αντίποινα στους Μακεδόνες, προσπάθησε να καταλάβει τις πόλεις της Μακεδονίας. Χαρακτηριστικά ο Θουκυδίδης αναφέρει: *«Εἰδομένη μὲν κατὰ κράτος, Γορτυνία δὲ καὶ Ἀταλάντην καὶ ἄλλα ἄττα χωρία ὁμολογία διὰ τὴν Ἀμύντου φιλίαν προσχωροῦντα τοῦ Φιλίππου νείεος παρόντος. Εὐρωπὸν δὲ ἐπολιόρκησαν μὲν ἐλεῖν δὲ οὐκ ἐδύναντο»*. (Θουκυδίδης II,100,3)

Διαπιστώνεται λοιπόν από το παραπάνω χωρίο πως η πόλη είχε ισχυρά αμυντικά τείχη και αποτελεί μια επιπλέον απόδειξη της ισχυρής της θέσης.

Η Ευρωπός είναι ο τόπος καταγωγής του στρατηγού Σέλευκου, συνομήλικου και φίλου του Μεγάλου Αλεξάνδρου. Ο Αρριανός τον χαρακτηρίζει ως τον ισχυρότερο άνδρα ανάμεσα στους διαδόχους του βασιλιά, ο δε Πανσανίας επαινεί την δικαιοσύνη και την ευσέβειά του. Ως ιδρυτής της δυναστείας των Σελευκιδών, ο στρατηγός Σέλευκος ίδρυσε τρεις πόλεις με το όνομα της ιδιαίτερης πατρίδας του, την Ευρωπό (Δούρα της Άνω Συρίας), την Ευρωπό της Μεσοποταμίας και την Ευρωπό της Μηδίας (Λάμπρου, 1997).

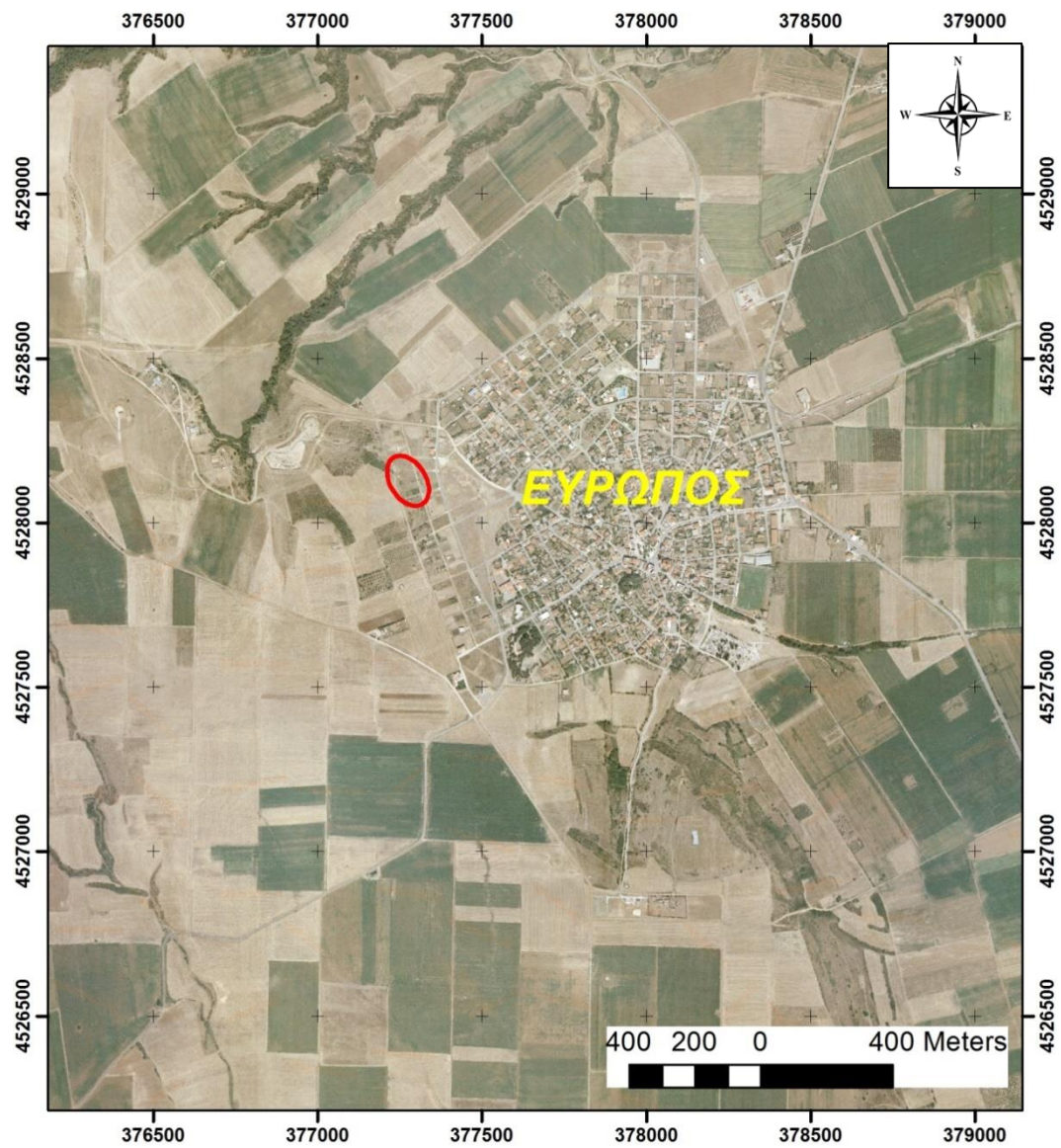
Μια από τις μεγάλες ευεργεσίες που δέχτηκε η αρχαία Ευρωπός αποτέλεσε η υδροδότηση της από τον βασιλιά Φίλιππο, τον πατέρα του Μεγάλου Αλεξάνδρου, πράγμα το οποίο επιβεβαιώνεται από τμήμα μαρμάρινου επιτύμβιου ή τιμητικού βάθρου που έχει βρεθεί και σώζεται μέχρι και σήμερα. Στη μια όψη της στήλης αυτής αναγράφεται η εξής τιμητική επιγραφή: «Φίλιππος Αλεξάνδρου τό υδραγώγιν τῇ πόλει» (Εικόνα 1). Οι διαστάσεις της στήλης είναι 0,77 m επί 0,26 m επί 0.18 m. Οι κάτοικοι της Ευρωπού για να δείξουν την ευγνωμοσύνη τους σ' αυτήν την ζωτικής σημασίας ευεργεσία, τοποθέτησαν την επιγραφή σε εμφανές σημείο (πιθανολογείται σε κάποιο από τα τείχη ή την αγορά).



Εικόνα 1: Η μαρμάρινη στήλη με τη τιμητική επιγραφή για την υδροδότηση της πόλης. (Σαββοπούλου, 1988)

Στον αγροτικό δρόμο που εκτείνεται δίπλα στο νεκροταφείο έχουν εντοπιστεί πήλινοι σωλήνες, οι οποίοι πολύ πιθανόν να ανήκουν σε κάποιο τμήμα αυτού του δικτύου ύδρευσης. Πέραν αυτού, υπάρχουν σύγχρονες μαρτυρίες, όπως αυτή του πρώην υδραυλικού της κοινότητας, Γεώργιου Καφετζή, ο οποίος έλεγε ότι οι σωληνώσεις που μεταφέρουν το νερό στη κεντρική πλατεία της κρύας βρύσης φτάνουν μέχρι τη θέση λόφος, ΝΔ της κεντρικής πλατείας. Ο λόφος αυτός είναι χαρακτηρισμένος από την εφορία αρχαιοτήτων ως προϊστορικός οικισμός. Στη συνέχεια σύμφωνα με τη μαρτυρία ο αγωγός φαίνεται να ήταν πήλινος και να χάνεται μέσα σε ένα τούνελ.

Κατά μαρτυρίες λοιπόν, υπήρχαν ευρήματα στην επέκταση του παλαιού οικισμού προς την Δυτική πλευρά (Εικόνα 2), στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι γεωφυσικές διασκοπήσεις στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 2: Με κόκκινη ένδειξη σημειώνεται το ΒΔ τμήμα του χωριού στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις.

3. Τα Συστήματα QANAT

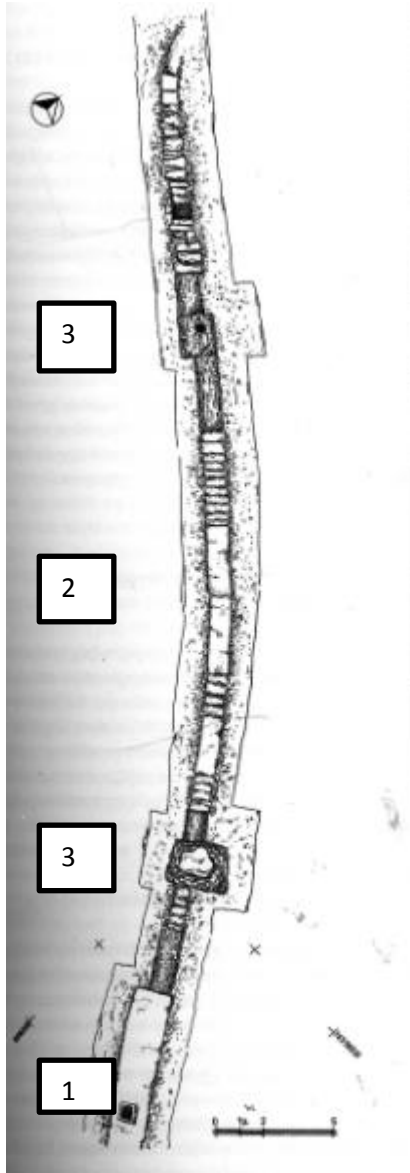
Η υδροδότηση μιας περιοχής αποτελούσε διεργασία πολύ σημαντική, ήδη, από την αρχαιότητα. Ο τρόπος μεταφοράς του νερού και η συνεχής υδροδότηση στους αρχαίους λαούς ήταν θέμα ζωτικής σημασίας. Από ιστορικούς και αρχαιολόγους έχει γίνει γνωστό πως κατά καιρούς οι λαοί επινόησαν τρόπους και συστήματα ύδρευσης και άρδευσης τα οποία όμως δεν άντεξαν στον χρόνο.

Εξαίρεση αποτελούν τα συστήματα Qanat που παρά την χιλιάδων ετών ηλικία τους χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα, προσαρμοσμένα όσο γίνεται στις ανάγκες της σύγχρονης εποχής. Χρήση ενός τέτοιου συστήματος έχει εντοπιστεί σε ένα χωριό των Σερρών, τη Νέα Ζίχνη, το οποίο υδροδοτείται με τα Qanat που είχαν κατασκευαστεί επί Τουρκοκρατίας.

Με τον όρο Qanat περιγράφεται ένα σύστημα υπόγειων αγωγών και στοών το οποίο συγκεντρώνει και μεταφέρει το νερό στην επιφάνεια με τη βοήθεια της φυσικής κλίσης. Για να συμβεί αυτό, θα πρέπει η περιοχή να βρίσκεται κοντά σε φυσική πλαγιά και από υδρογεωλογικής άποψης ν' αποτελείται από πετρώματα υδροπερατά, που θα διευκολύνουν τη ροή του νερού. Πρώτο στάδιο για την κατασκευή του συστήματος αυτού είναι ο εντοπισμός και η συγκέντρωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, με τη δημιουργία ενός μητρικού ή αλλιώς ερευνητικού πηγαδιού, στο υψηλότερο τμήμα της πλαγιάς. Από αυτό το ανώτερο σημείο, ξεκινούν οι σήραγγες, οι οποίες συνεχίζονται σε μεγαλύτερα βάθη με σκοπό να καταλήξουν στην χαμηλότερη υψομετρικά περιοχή που πρόκειται να υδροδοτηθεί. Μεταξύ των σηράγγων διανοίγονται και άλλα φρεάτια που σκοπό έχουν τον εξαερισμό του συστήματος αλλά και τη διευκόλυνση για τις μετέπειτα συντηρήσεις και τις ανθρώπινες παρεμβάσεις που πιθανόν να χρειαστούν (Βαβλιάκης, 1989; Tsourlos et al., 2001).

Στην Ευρώπη, η αρχαιολογική υπηρεσία έπειτα από την αποκάλυψη της αρχαίας πόλης, τον εντοπισμό πήλινων αγωγών όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και με τη βοήθεια ορισμένων μαρτυριών, αποτύπωσε σχεδιαστικά την μορφή που θα μπορούσε να είχε το Qanat στην αρχαία Ευρώπη (Εικόνα 3), στην επέκταση του προϊστορικού οικισμού όπου έγιναν οι μετρήσεις της παρούσας εργασίας. Από την αποτύπωση αυτή, μπορούμε να διακρίνουμε, την μητρική πηγή και το σύστημα σηράγγων που ακολουθεί αυτής, καθώς και να εντοπίσουμε δύο ακόμη φρεάτια τα οποία

πιθανόν να ήταν αυτά που βοηθούσαν στον εξαερισμό και στη πρόσβαση των ανθρώπων όποτε ήταν απαραίτητο (Σαββοπούλου, 2004).

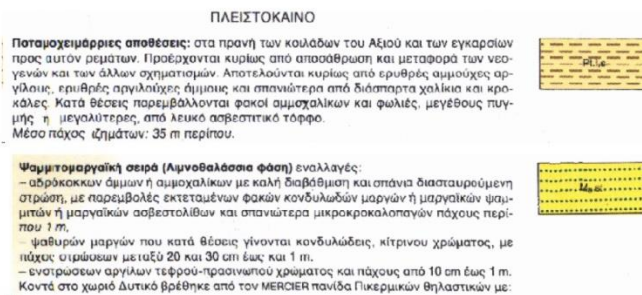
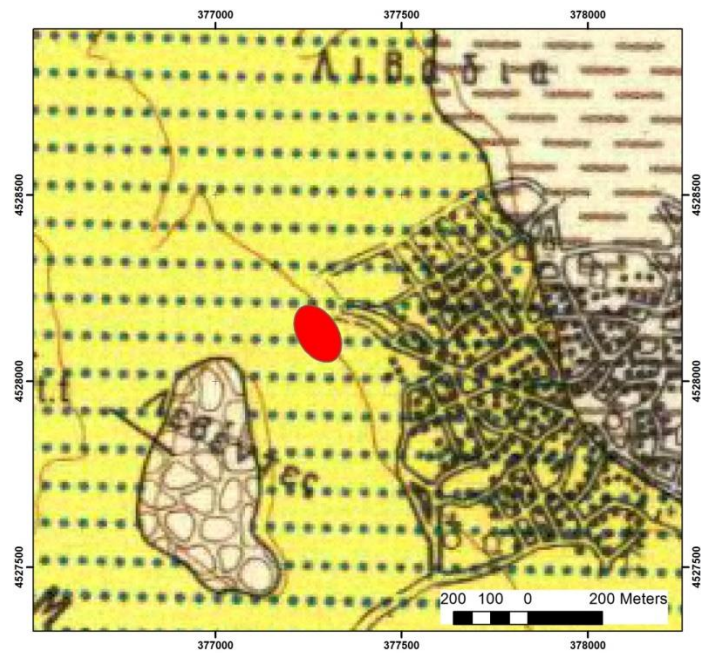


Εικόνα 3: Σχεδιαστική αποτύπωση του συστήματος Qanat από την Αρχαιολογική Υπηρεσία όπου φαίνονται η 1. Μητρική πηγή 2. Σύστημα σηράγγων 3. Βοηθητικό φρεάτιο (Σαββοπούλου Θωμά, 2004).

4. Γεωφυσικές Διασκοπήσεις

Η γεωφυσική έρευνα στόχο έχει τον εντοπισμό και τη μελέτη των δομών που είναι δύσκολο να παρατηρηθούν άμεσα. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των γεωφυσικών διασκοπήσεων, οι οποίες με τη βοήθεια των νόμων της φυσικής και της μέτρησης των γεωφυσικών μεγεθών, αποδίδουν τις μεταβολές της δομής του φλοιού της γης και οδηγούν στον εντοπισμό του εκάστοτε στόχου.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης, χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτρική μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης η οποία δίνει πληροφορίες για τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους. Η επιλογή της μεθόδου αυτής οφείλεται στο δομικό υλικό του στόχου τον οποίο θέλουμε να εντοπίσουμε αλλά και στη γεωλογία της περιοχής που μελετάμε, η οποία σύμφωνα με το Γεωλογικό Φύλλο Κουφαλίων του Ι.Γ.Μ.Ε. (Εικόνα 4), αποτελείται από τεταρτογενή ιζήματα μαργαϊκής κυρίως σύστασης. Έτσι οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως ο στόχος μας δεν παρουσιάζει μαγνητικές ιδιότητες αλλά ηλεκτρικές, που μπορούν να προσδιορισθούν με τη χρήση των ηλεκτρικών αυτών μεθόδων, η παρουσίαση των οποίων ακολουθεί παρακάτω.



Εικόνα 4: Μέρος του «Γεωλογικού Φύλλου Κουφαλίων» του Ι.Γ.Μ.Ε. που απεικονίζεται η γεωλογία της περιοχής μελέτης (κόκκινη ένδειξη) (ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, 1986)

4.1. Ηλεκτρική Μέθοδος Γεωφυσικής Διασκόπησης

Η ηλεκτρική μέθοδος επιδιώκει να καθορίσει τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους, χαρτογραφώντας την κατανομή των ηλεκτρικών αντιστάσεων.

Η βασική διαδικασία καταγραφής των ηλεκτρικών αντιστάσεων είναι η εξής:

Χρησιμοποιούνται τέσσερα ηλεκτρόδια που συνήθως είναι μεταλλικοί πάσσαλοι, τα οποία εισάγονται στο έδαφος, σε βάθος μερικών εκατοστών έχοντας από μερικά μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα, απόσταση μεταξύ τους.

Αφού τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια, με τη χρήση οργάνου μέτρησης εισάγεται συνεχές ρεύμα (I) μέσα στο έδαφος, μέσω ενός ζεύγους ηλεκτροδίων (A,B). Η διαφορά δυναμικού (V) που προκύπτει μετράται σε διάφορες θέσεις, σε ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων (M,N) (Εικόνα 5). Η διαφορά δυναμικού αντικατοπτρίζει τη δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα στο υπεδάφος, δίνοντας μια πρώτη ένδειξη για την ηλεκτρική αντίσταση του υπεδάφους. Υπολογίζεται έτσι για κάθε μέτρηση η ηλεκτρική αντίσταση R από τη σχέση $R = \frac{V_{MN}}{I_{AB}}$.

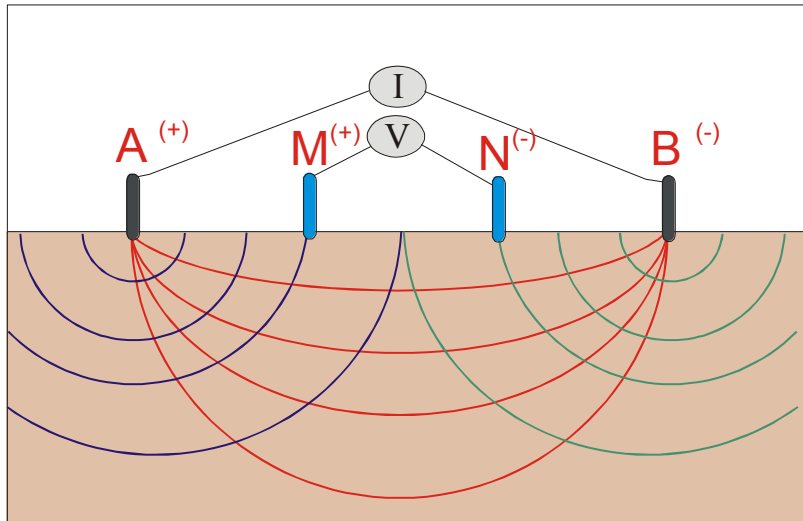
Μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων, SI, είναι το 1Ω .

Όμως, η ηλεκτρική αντίσταση R περιγράφει την ιδιότητα του υλικού χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις διαστάσεις του, γι' αυτό και εισάγεται ο όρος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ , που ορίζεται από τη σχέση $\rho = \frac{RS}{l}$, όπου η αντίσταση τώρα αφορά ένα κομμάτι πετρώματος, κυλινδρικού σχήματος με διατομή S και μήκος l .

Μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων, SI, είναι το $1\Omega m$.

Η Γ όμως δεν είναι ομοιογενής ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η πραγματική ειδική αντίσταση. Για το λόγο αυτό, και λαμβάνοντας υπόψη πως η κάθε μετρούμενη ηλεκτρική αντίσταση είναι συνάρτηση, της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους και της απόστασης των ηλεκτροδίων, εισάγεται ο όρος της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης ρ_a , που δίνεται από τον τύπο $\rho_a = \frac{V_{MN}}{I_{AB}} K$, όπου K είναι ο λεγόμενος γεωμετρικός παράγοντας που εξαρτάται από τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων. Στην πράξη, η

φαινόμενη αντίσταση ρ_a , αποτελεί ένα είδος «μέσου όρου» των ηλεκτρικών αντιστάσεων του ανομοιογενούς υπεδάφους. Συνεπώς, δε δίνει ακριβώς την πραγματική αλλά μια παραμορφωμένη εικόνα της γεωηλεκτρικής δομής. Η πραγματική αντίσταση μπορεί να βρεθεί μόνο μετά από κατάλληλη επεξεργασία (Παπαζάχος, 1985).



Εικόνα 5: Η βασική διάταξη των ηλεκτροδίων για τη καταγραφή των ηλεκτρικών αντιστάσεων.

4.2 Τρόποι Διάταξης των Ηλεκτροδίων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους διατάσσονται τα ηλεκτρόδια ρεύματος (A,B) και δυναμικού (M,N). Έχουν προταθεί πολλές διατάξεις με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αλλά στη πράξη χρησιμοποιούνται αυτές που διευκολύνουν τις μετρήσεις στο ύπαιθρο. Οι πιο γνωστές από τις διατάξεις αυτές είναι η διάταξη Wenner, η διάταξη Schlumberger και η διάταξη Διπόλου-Διπόλου, οι οποίες φαίνονται και στην Εικόνα 6.

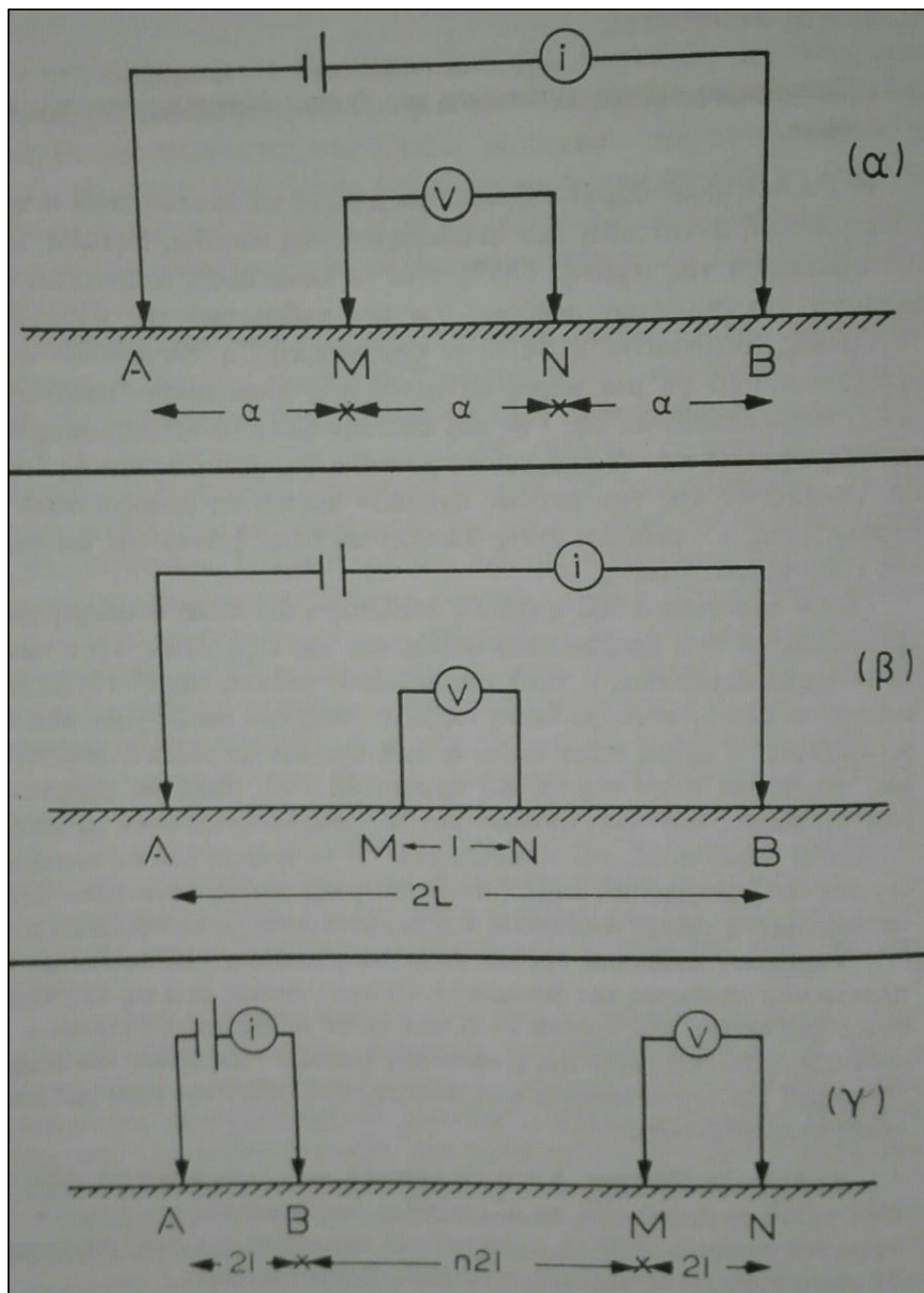
Στη διάταξη Wenner (Εικόνα 6α), τα ηλεκτρόδια δυναμικού MN εμπεριέχονται στα ηλεκτρόδια ρεύματος AB. Παρά τη γεωμετρική της αυτή απλότητα, η διάταξη αυτή παρουσιάζει δυσκολίες στις μετρήσεις αφού θα πρέπει για κάθε νέα μέτρηση να μετακινούνται τα ηλεκτρόδια. Επίσης, δεν παρουσιάζει καλή διακριτική ικανότητα στις

πλευρικές μεταβολές της αντίστασης, αλλά εμφανίζει πολύ καλή κατακόρυφη ανάλυση.

Η διάταξη Schlumberger (Εικόνα 6β) είναι χαρακτηριστική, καθώς η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού MN είναι πολύ μικρότερη από τη απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος AB. Τα ηλεκτρόδια δυναμικού MN παραμένουν σταθερά, ενώ η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος AB αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά σε σχέση με το κέντρο της διάταξης. Αυτό κάνει τη διάταξη να πλεονεκτεί αφού περιορίζει τις ανεπιθύμητες μετρήσεις που προκαλούνται από τυχόν γεωλογικές ασυνέχειες παρουσιάζοντας ικανοποιητικά τις μεταβολές της αντίστασης.

Στη διάταξη Διπόλου-Διπόλου (Εικόνα 6γ) τα ηλεκτρόδια ρεύματος AB είναι απομακρυσμένα από τα ηλεκτρόδια δυναμικού MN, έχοντας όμως μεταξύ τους την ίδια μικρή απόσταση. Το πλεονέκτημα της διάταξης αυτής είναι πως η απόσταση των δύο ζευγών ηλεκτροδίων μπορεί να αυξηθεί χωρίς να χρειάζονται μεγάλα μήκη καλωδίων για τη μετακίνησή τους, όπως συμβαίνει στις δύο προαναφερθείσες διατάξεις. Παρουσιάζει πολύ καλή διακριτική ικανότητα στις πλευρικές μεταβολές της αντίστασης, γι' αυτό και είναι πιο δημοφιλής για τον εντοπισμό δισδιάστατων στόχων. Ο μόνος περιορισμός είναι ο εδαφικός θόρυβος που είναι λογικό ν' αναπτύσσεται.

(Παπαζάχος, 1985)



Εικόνα 6: Οι τρεις τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων: (α) διάταξη Wenner (β) διάταξη Schlumberger (γ) διάταξη Διπόλου-Διπόλου (Παπαζάχος, 1985)

4.3 Μέθοδοι Έρευνας των Ηλεκτρικών Μεθόδων Διασκόπησης –

Επιλογή Μεθόδου

Τρεις τρόποι μέτρησης χρησιμοποιούνται συνήθως για την καταγραφή των δεδομένων της αντίστασης, η βυθοσκόπηση, η οριζοντιογραφία ή όδευση και η ηλεκτρική τομογραφία (Παπαζάχος, 1985).

- Η βυθοσκόπηση καθορίζει τη κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος (μονοδιάστατη διασκόπηση).
- Η οριζοντιογραφία ή αλλιώς όδευση μελετά τις πλευρικές μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η ηλεκτρική τομογραφία τέλος, αποτελεί συνδυασμό των δύο παραπάνω μεθόδων και παρέχει πληροφορίες τόσο για τη πλευρική όσο και για την κατακόρυφη μεταβολή της αντίστασης (δισδιάστατη διασκόπηση). Αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδο γεωφυσικής διασκόπησης για τον εντοπισμό των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης, τις λεγόμενες «ρηχές» δομές. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας εφαρμόστηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας διότι ο στόχος που ήταν ο εντοπισμός υπόγειων αγωγών, έχει δύο διαστάσεις και η μέθοδος αυτή είναι η κατάλληλη και πιο αξιόπιστη για τις κάθετες και οριζόντιες μεταβολές. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και η μέθοδος της όδευσης-οριζοντιογραφίας όμως η ηλεκτρική τομογραφία αναπαριστά καλύτερα το βάθος σε συνδυασμό με τις πλευρικές μεταβολές, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο. Λόγω των αναμενόμενων μεταβολών της αντίστασης επιλέχθηκε η διάταξη Διπόλου-Διπόλου αφού όπως προαναφέρθηκε παρουσιάζει καλύτερη απόκλιση στις πλευρικές μεταβολές και αποδίδει καλύτερα την απεικόνιση του εκάστοτε στόχου, στη συγκεκριμένη περίπτωση του αρχαίου Qanat.

5. Ηλεκτρική Τομογραφία

Η ηλεκτρική τομογραφία αποτελεί εξέλιξη των κλασικών ηλεκτρικών μεθόδων και πραγματοποιεί μετρήσεις στην επιφάνεια της Γης απευθείας μέσα σ' αυτή είτε μέσω των γεωτρήσεων. Περιγράφει έναν τρόπο μέτρησης της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης ο οποίος αποτελεί συνδυασμό των μεθόδων της βυθοσκόπησης και της οριζοντιογραφίας-όδευσης. Θα μπορούσε δηλαδή να περιγραφεί ως μια σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος μιας γραμμής έρευνας ή ως μια σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων, δίνοντας έτσι πληροφορίες τόσο για τη κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης στη περιοχή μελέτης.

Αρχικά, η ερμηνεία της δισδιάστατης διασκόπησης (των μεταβολών της ηλεκτρικής αντίστασης) γινόταν με τη μέθοδο της «ψευδοτομής» (αποτελεί η μέθοδος της «ψευδοτομής») η οποία χρησιμοποιήθηκε αρκετά στην χαρτογράφηση μεταλλευμάτων (Edwards 1977) αλλά και σε άλλες διάφορες εφαρμογές όπως για παράδειγμα σε υδρογεωλογικές. Διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην διαδικασία της ψευδοτομής η οποία όμως δίνει μια παραμορφωμένη εικόνα της πραγματικής γεωηλεκτρικής αντίστασης. Η ηλεκτρική τομογραφία από την άλλη περιλαμβάνει μετρήσεις και με μη συμβατικές διατάξεις καθώς επίσης και μετρήσεις που λαμβάνονται με ηλεκτρόδια μέσα σε γεωτρήσεις και αποδίδει πιο αξιόπιστα την αντίσταση κάτω από την επιφάνεια και κατά συνέπεια το γεωλογικό μοντέλο της περιοχής (Αθανασίου, 2009).

Κύριο χαρακτηριστικό της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελεί ο μεγάλος αριθμός μετρήσεων που μπορεί να καταγραφεί. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και η ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Παράλληλα όμως, λόγω του μεγάλου αριθμού μετρήσεων είναι δύσκολη η λήψη μετρήσεων με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων. Το πρόβλημα αυτό βρήκε λύση μετά τη δεκαετία του 1990 όπου δημιουργήθηκαν όργανα μέτρησης που επέτρεπαν την αυτοματοποιημένη συλλογή δεδομένων. Ένα τέτοιο όργανο χρησιμοποιήθηκε και στη λήψη των μετρήσεων σε αυτήν την διπλωματική, η παρουσίαση του οποίου περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο.

5.1 Ερμηνεία των Μετρήσεων με τη Μέθοδο της Αντιστροφής

Η ηλεκτρική τομογραφία που δίνει μια πιο αξιόπιστη και ακριβή αναπαράσταση της αντίστασης χρησιμοποιεί τη τεχνική της αντιστροφής, για την αποκατάσταση της πραγματικής εικόνας. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο τιμών αντίστασης που να δίνει μετρήσεις οι οποίες να είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στις πραγματικές και να μη διαφέρουν πολύ από τις αντιστάσεις που έχουν μετρηθεί.

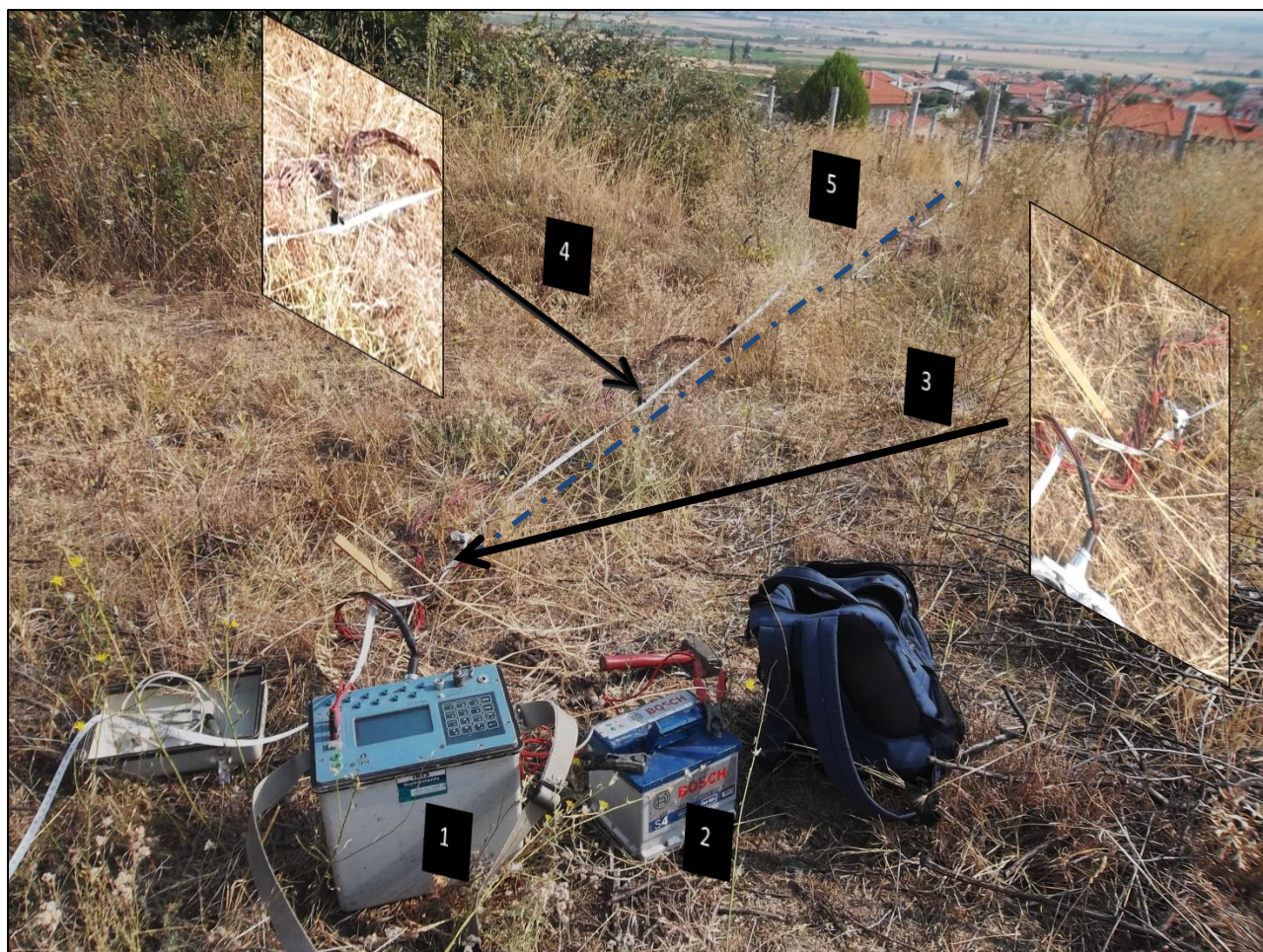
Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό και στη παρούσα μελέτη, αποτελείται από έναν αλγόριθμο πεπερασμένων στοιχείων, ο οποίος λύνει τις διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ανομοιογενή Γη. Η αντιστροφή μπορεί να γίνει σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

Οι αλγόριθμοι αντιστροφής λοιπόν είναι μια αυτοματοποιημένη επαναληπτική διαδικασία η οποία ξεκινά αποδίδοντας μια αρχική τιμή αντίστασης στο δίκτυο της περιοχής που έχει διακριτοποιηθεί. Μέσω μιας διαδικασίας αντιστροφής πινάκων, το μοντέλο αυτό αλλάζει και σε κάθε αλλαγή προσπαθεί να πλησιάσει όσο γίνεται τα δεδομένα, τα οποία αρχικά μετρήθηκαν. Όταν δεν μπορεί να υπάρξει άλλη βελτίωση και αφού η πλήρης ταύτιση δεν είναι εφικτή, το τελικό μοντέλο αντίστασης της επαναλαμβανόμενης αυτής διαδικασίας θεωρείται και το πιο προσεγμένο στη προσέγγιση της πραγματικής κατανομής των γεωηλεκτρικών αντιστάσεων και με βάση τις υπάρχουσες γεωλογικές συνθήκες ερμηνεύεται ώστε οι αντιστάσεις να μετατραπούν σε λιθολογικές και τεκτονικές τομές του υπεδάφους (Ψωμιάδης, 2005).

5.2 Εξοπλισμός των Μετρήσεων της Ηλεκτρικής Τομογραφίας

Η εκτέλεση των γεωφυσικών διασκοπήσεων και η λήψη των μετρήσεων, στη περιοχή έρευνας έγινε με τη χρήση του οργάνου SYSCAL PRO (V11.44++) της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS. Πρόκειται για ένα πλήρως αυτοματοποιημένο όργανο μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, σχεδιασμένο για έρευνα με τη μέθοδο συνεχούς ρεύματος. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου αυτού περιλαμβάνουν αρχικά την ύπαρξη 10 καναλιών ταυτόχρονης καταγραφής της διαφοράς δυναμικού, μειώνοντας έτσι τον χρόνο της διαδικασίας της μέτρησης. Επιπλέον, η προβολή του σφάλματος που προσφέρει το συγκεκριμένο όργανο εξασφαλίζει μετρήσεις υψηλής ακρίβειας. Η παροχή του ρεύματος γίνεται από δύο εσωτερικές μπαταρίες τάσης 12V, είτε από μια εξωτερική ίδιας τάσης μπαταρία, η οποία και χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες των μετρήσεων συνδεδεμένη με το όργανο όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7. Το συγκεκριμένο όργανο επιτυγχάνει τη δημιουργία ρεύματος με ένταση που φτάνει τα 500mA ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις αγγίζει σημαντικά μεγαλύτερες εντάσεις ηλεκτρικού ρεύματος έως 1200 mA. Τέλος έχει τη δυνατότητα να εκτελεί συμπληρωματικά μετρήσεις επαγόμενης πόλωσης (Καμνιάτσος, 2013).

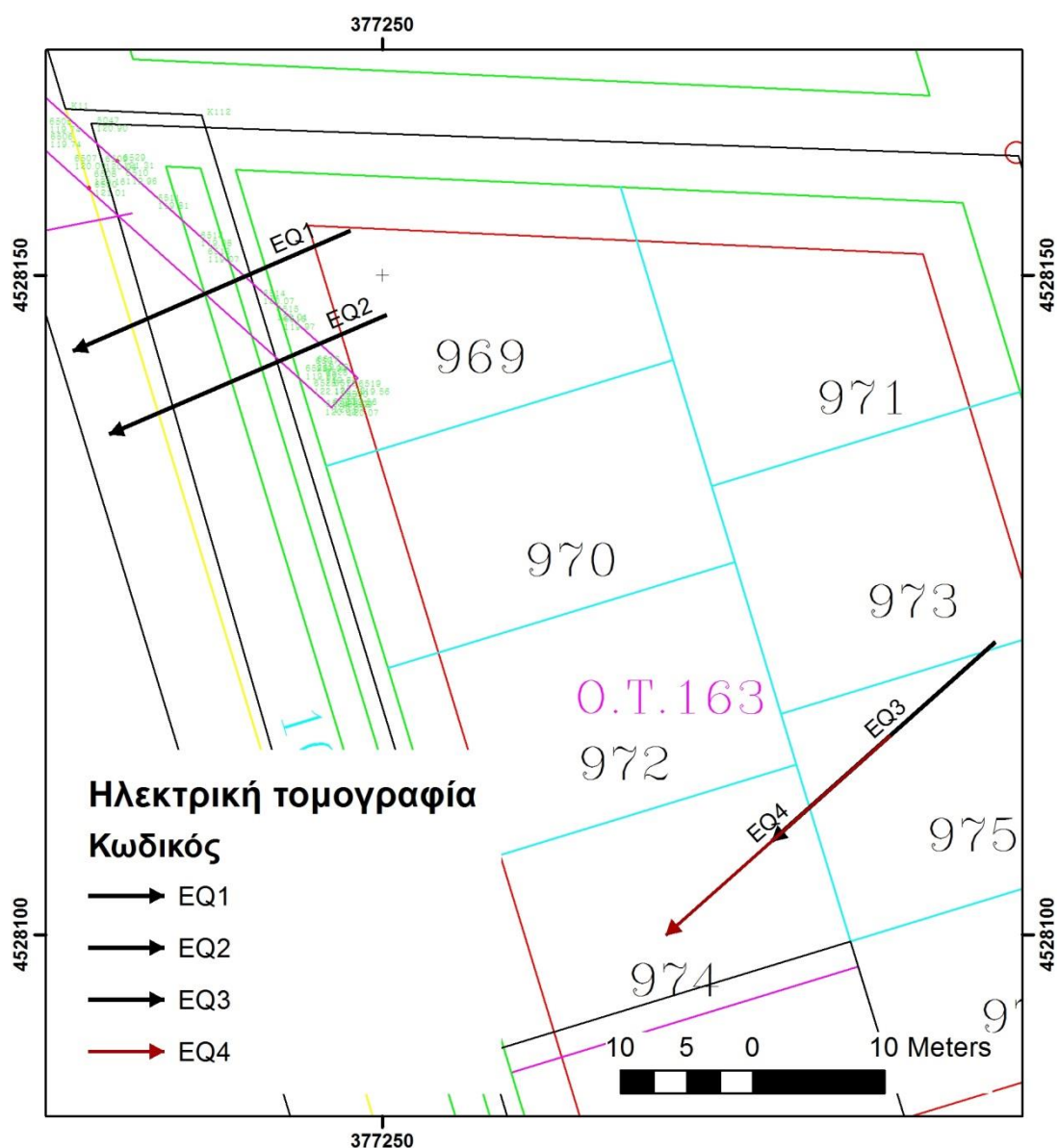
Για τη λήψη των μετρήσεων της τομογραφίας χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα πολυκαναλικά καλώδια και 24 ειδικά ηλεκτρόδια ατσαλιού (υψηλής μηχανικής αντοχής και υψηλής αγωγιμότητας).



Εικόνα 7: Ο εξοπλισμός για τη εφαρμογή της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελείται από: 1. Το Όργανο μέτρησης Syscal Pro, 2. Την εξωτερική μπαταρία, 3. Το πολυκάναλο καλώδιο, 4. Τα ηλεκτρόδια ατσαλιού.

6. Εφαρμογή της Ηλεκτρικής Τομογραφίας στην Περιοχή Έρευνας

Η περιοχή μελέτης όπως προαναφέρθηκε βρίσκεται στο ΒΔ τμήμα της Ευρωπού, στη φημολογούμενη θέση επέκτασης του αρχαίου Qanat. Η θέση αυτή αποτυπώνεται στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής, ο οποίος δίνεται στην ακόλουθη Εικόνα 8 και αποτελεί τη βάση στην οποία έγινε ο αρχικός σχεδιασμός της έρευνας.

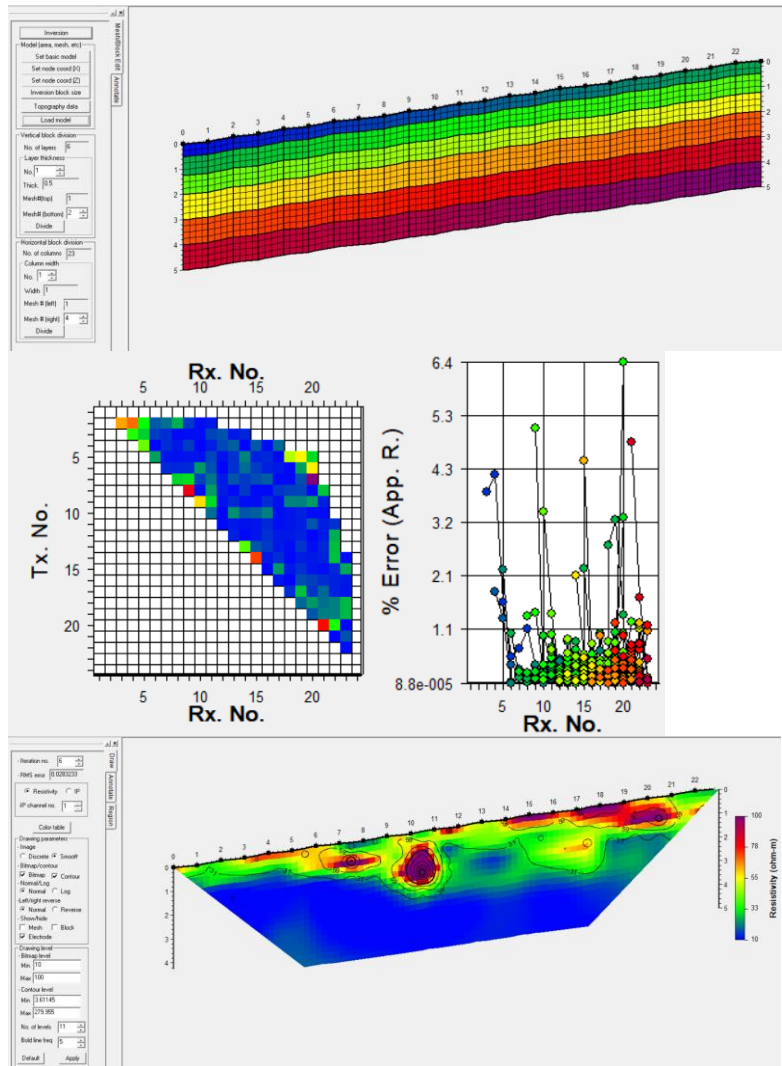


Εικόνα 8: Ο τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας στην Ευρωπό και οι θέσεις πραγματοποίησης των ηλεκτρικών τομογραφιών.

Για τη χαρτογράφηση λοιπόν της εν λόγω περιοχής όπως φαίνεται και από την εικόνα πραγματοποιήθηκαν 4 ηλεκτρικές τομογραφίες (EQ1, EQ2, EQ3, EQ4) εκ των οποίων οι EQ1 και EQ2 είναι παράλληλες μεταξύ τους και EQ3 με EQ4 τομογραφίες εντοπίζονται πιο ανατολικά στη νοητική προέκταση του Qanat, έχοντας όλες διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

6.1 Επεξεργασία των Δεδομένων των Ηλεκτρικών Τομογραφιών

Αφού έγινε η λήψη των μετρήσεων και η καταγραφή των αντιστάσεων και στις 4 θέσεις, στη συνέχεια, τα δεδομένα υπέστησαν την δισδιάστατη αντιστροφή που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (Tsourlos et al.1998) με τη χρήση του προγράμματος DC2DPR0 (Kim 2010). Η διαδικασία αντιστροφής παρουσιάζεται συγκεντρωτικά στην ακόλουθη Εικόνα 9.



Εικόνα 9: (Επάνω) Αρχικό γεωηλεκτρικό μοντέλο, (μέσο αριστερά) Στατιστική κατανομή μετρήσεων (μέσο δεξιά) σφάλμα διαφορών φαινόμενων αντιστάσεων και (κάτω) τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο.

Αποτέλεσμα της επεξεργασίας των ηλεκτρικών τομογραφιών που υπέστησαν την διαδικασία της αντιστροφής είναι η παραγωγή εικόνων σε κατακόρυφες τομές που δείχνουν την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους.

Στις τομές αυτές αποτυπώνονται τα πραγματικά βάθη και οι πραγματικές υπεδάφειες αντιστάσεις οι οποίες και παρουσιάζονται με χρωματική κλίμακα, με τα πράσινα και μπλε χρώματα να αντιστοιχούν σε χαμηλές αντιστάσεις και με τα κόκκινα και μωβ χρώματα να αντιστοιχούν σε σχετικά μεγάλες αντιστάσεις.

Η κλίμακα των τομογραφιών τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια διάσταση είναι σε μέτρα.

6.2 Ερμηνεία των Ηλεκτρικών Τομογραφιών

Στην συνέχεια παρατίθενται οι γεωηλεκτρικές δισδιάστατες τομογραφίες με σειρά που αντιστοιχεί στις θέσεις που σχεδιάστηκαν στον τοπογραφικό χάρτη για να μπορέσει να γίνει συγκριτική αξιολόγηση των τομογραφιών.

Τομογραφία EQ1

Οι αντιστάσεις στη πρώτη τομογραφία (Εικόνα 10) ξεκινούν από 4 Ohm.m και φτάνουν μέχρι τα 10 Ohm.m (μπλε -πράσινο χρώμα) και αποτελούν καθαρή ένδειξη αργιλικού στρώματος, το οποίο αποτελεί τη βάση όλων των στρωμάτων. Το αργιλικό αυτό στρώμα, που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως «υπόβαθρο» για τη περιοχή μελέτης και δε παρουσιάζει κανένα αρχαιολογικό ενδιαφέρον.

Πάνω σε αυτό και συγκεκριμένα στα 119m απόλυτο υψόμετρο εντοπίζεται το εδαφικό κάλυμμα με αντιστάσεις πάνω από 20 Ohm.m (κίτρινο - κόκκινο χρώμα), το οποίο αναμένεται και να φιλοξενεί το οποιοδήποτε στρώμα αρχαιολογικής καταστροφής που υπάρχει εκεί. Σε αυτές τις αντιστάσεις που φτάνουν μέχρι τα 40 Ohm.m είναι επίσης αναμενόμενη η παρουσία αδρόκοκκων υλικών (άμμων, κροκάλων).

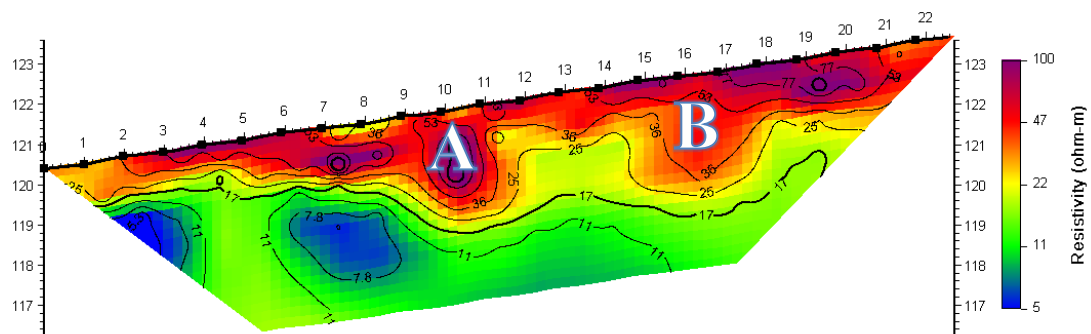
Τα στρώματα λοιπόν αρχαιολογικού ενδιαφέροντος που αναζητούμε θα παρουσιάζουν αντιστάσεις μεγαλύτερες από τα 45 Ohm.m , λόγω και της κατασκευής του Qanat, το οποίο θέλουμε και να εντοπίσουμε, που όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο φέρεται να είναι πήλινος. Μεταξύ των 9 με 11 μέτρων και σε 1 με 1,5 μέτρα βάθος, λοιπόν, στη τομογραφία, παρατηρείται υψηλή ηλεκτρική αντίσταση, πάνω από 60 Ohm.m (Εικόνα 10, περιοχή Α). Με βάση λοιπόν τις διαστάσεις που προαναφέρθηκαν καθώς και την υψηλή αντίσταση που παρατηρείται, η θέση αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως η θέση του αρχαίου αυτού αγωγού νερού.

Επιπλέον, μέσα σε αυτό το εδαφικό κάλυμμα παρουσιάζονται κατά τόπους υψηλές αντιστάσεις που μπορεί να αντιπροσωπεύουν γεωλογικούς σχηματισμούς, χωρίς όμως να αποκλείεται το ενδεχόμενο να υπάρχει στρώμα αρχαιολογικής καταστροφής.

Συγκεκριμένα, στη θέση από τα 15 μέχρι τα 17 μέτρα και σε βάθος 2 μέτρων διακρίνεται ένας χώρος που πέραν των υψηλών αντιστάσεων παρουσιάζει μια γεωμετρία

που δεν αποκλείει το ενδεχόμενο να είναι αρχαιολογικής προέλευσης (Εικόνα 10, περιοχή B).

Έχει πιθανότητες λοιπόν, να είναι στρώμα καταστροφής αρχαιολογικού ενδιαφέροντος χωρίς να αποκλείεται όμως να είναι και αυτό εδαφικό κάλυμμα.



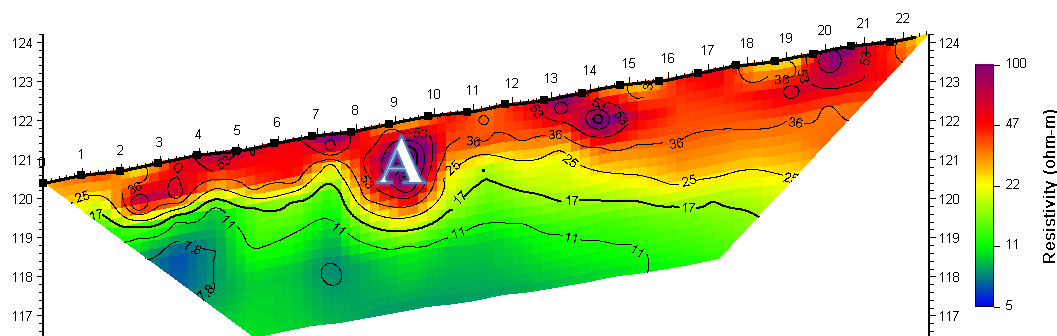
Εικόνα 10: Αποτέλεσμα της αντιστροφής των γεωηλεκτρικών δεδομένων της EQ1 Ηλεκτρικής τομογραφίας

Τομογραφία EQ2

Παράλληλα στην πρώτη τομογραφία και στην ίδια διεύθυνση, η δεύτερη ηλεκτρική τομογραφία EQ2 (Εικόνα 11) παρουσιάζει την ίδια γεωηλεκτρική δομή που χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση του αργιλικού στρώματος και του εδαφικού καλύμματος. Η θέση του Qanat εντοπίζεται και εδώ στα 9 με 11 μέτρα, έχοντας παρόμοιες διαστάσεις (Εικόνα 11, περιοχή Α).

Στη δεύτερη τομογραφία υπάρχει μια ξεκάθαρη εικόνα που δείχνει πως η επιφάνεια του αργιλικού στρώματος είναι οριζόντια και ότι το Qanat έχει σκαφτεί μέσα σ' αυτόν τον αργιλικό σχηματισμό, πάνω από τον οποίο εντοπίζεται το στρώμα κορημάτων. Τα κορήματα αυξάνουν το πάχος εμφάνισης τους, καθώς προχωρά η γραμμή της μέτρησης σε υψηλότερο υψόμετρο και χαρακτηρίζονται από μεγάλες αντιστάσεις της τάξεως των 80 Ohm.m και πάνω.

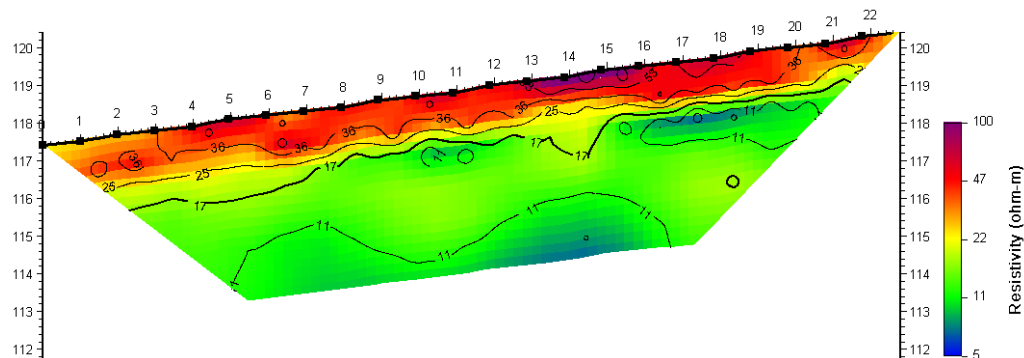
Όσον αφορά τη θέση μεταξύ των 15 με 17 μέτρων, η γεωμετρία που εντοπίστηκε στη πρώτη τομογραφία δεν φαίνεται να συνεχίζεται και αυτό που παρατηρείται είναι πως ο εδαφικός σχηματισμός παρουσιάζει μεγαλύτερη έκταση και πάχος.



Εικόνα 11: Αποτέλεσμα της αντιστροφής των γεωηλεκτρικών δεδομένων της EQ2 Ηλεκτρικής τομογραφίας

Τομογραφία EQ3

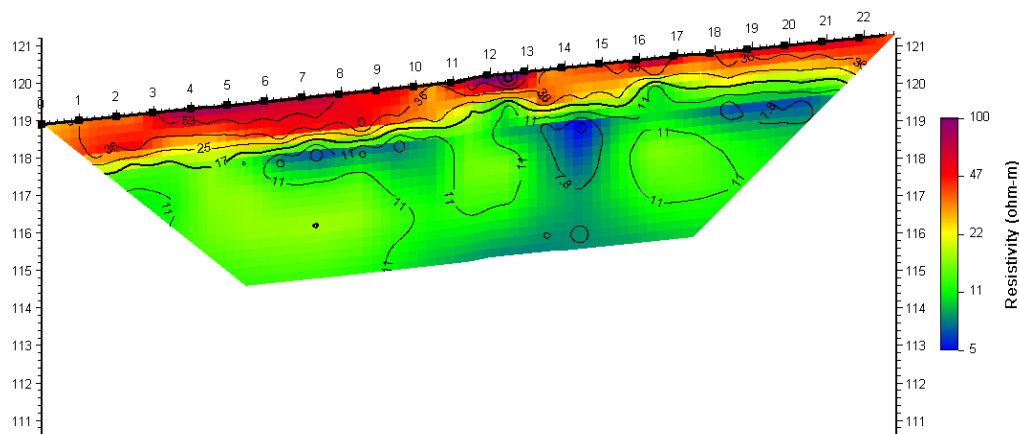
Η τρίτη σε σειρά ηλεκτρική τομογραφία (Εικόνα 12) έγινε στη προέκταση του Qanat σύμφωνα με το τοπογραφικό χάρτη (Εικόνα 8). Η εικόνα που δίνει αυτή η τομογραφία παρουσιάζει την ίδια γεωηλεκτρική δομή σε σχέση με τις προηγούμενες τομογραφίες, με την παρουσία του εδαφικού σχηματισμού και έχοντας ως υποκείμενο τον αργιλικό σχηματισμό. Μέσα όμως στον εδαφικό σχηματισμό δεν εντοπίζονται αντιστάσεις που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως κάποιο υπόλειμμα αρχαιολογικής καταστροφής. Το Qanat επομένως χάνεται σε αυτή την τομογραφία δείχνοντας πως δε συνεχίζει προς εκείνη την κατεύθυνση και ακολουθεί άλλη πορεία.



Εικόνα 12: Αποτέλεσμα της αντιστροφής των γεωηλεκτρικών δεδομένων της EQ3 Ηλεκτρικής τομογραφίας

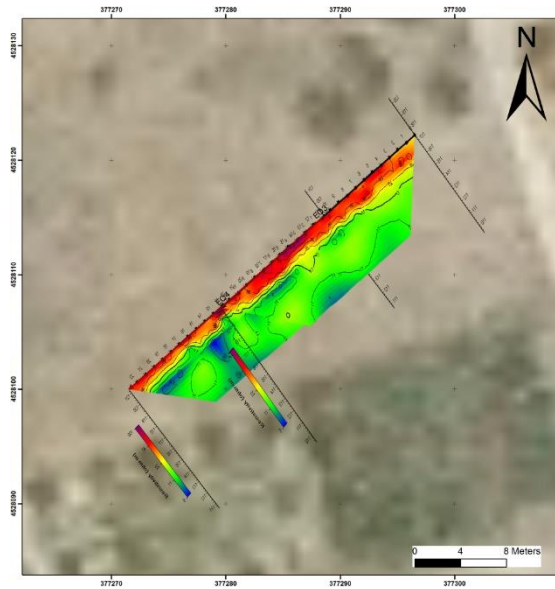
Τομογραφία EQ4

Προέκταση της τομογραφίας EQ3 αποτέλεσε η τελευταία τομογραφία EQ4 (Εικόνα 13) που διεξάχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας. Η τελευταία αυτή τομογραφία έδωσε μια εικόνα παρόμοιας κατά πολύ δομής με την EQ3 χωρίς τη παρουσία και εδώ του Qanat.

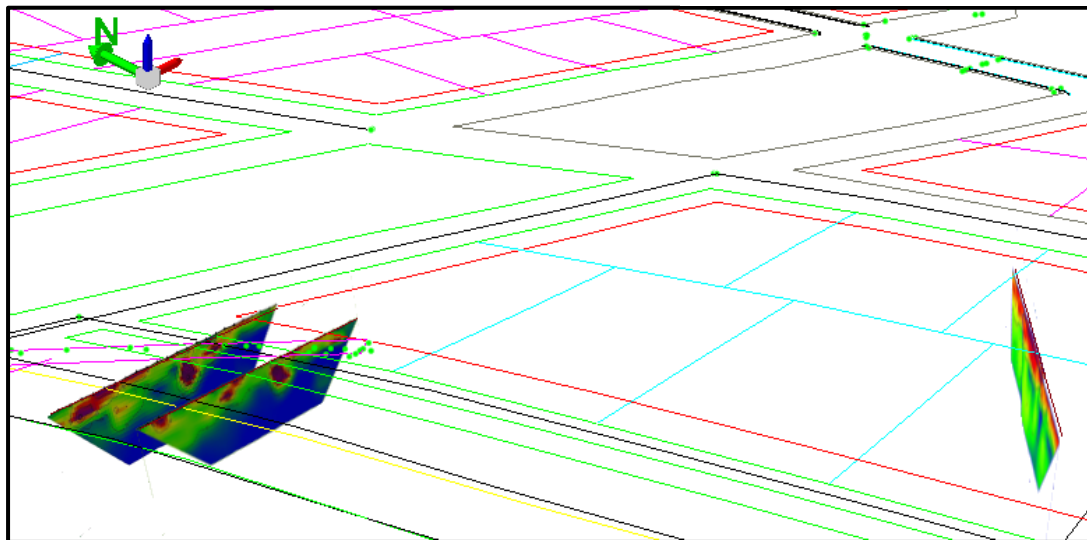


Εικόνα 13: Αποτέλεσμα της αντιστροφής των γεωηλεκτρικών δεδομένων της EQ4 Ηλεκτρικής τομογραφίας

Τοποθετώντας τη μία τομή ως συνέχεια της άλλης, έχουμε μια γενική εικόνα του συγκεκριμένου τμήματος έρευνας στο οποίο όπως προαναφέρθηκε το Qanat δεν εντοπίζεται και διακρίνονται μόνο ο εδαφικός και αργιλικός σχηματισμός. (Εικόνα 14)



Εικόνα 14: Απεικόνιση των EQ3 και EQ4 των γεωηλεκτρικών τομογραφιών με την τελευταία ως προέκταση της EQ3.



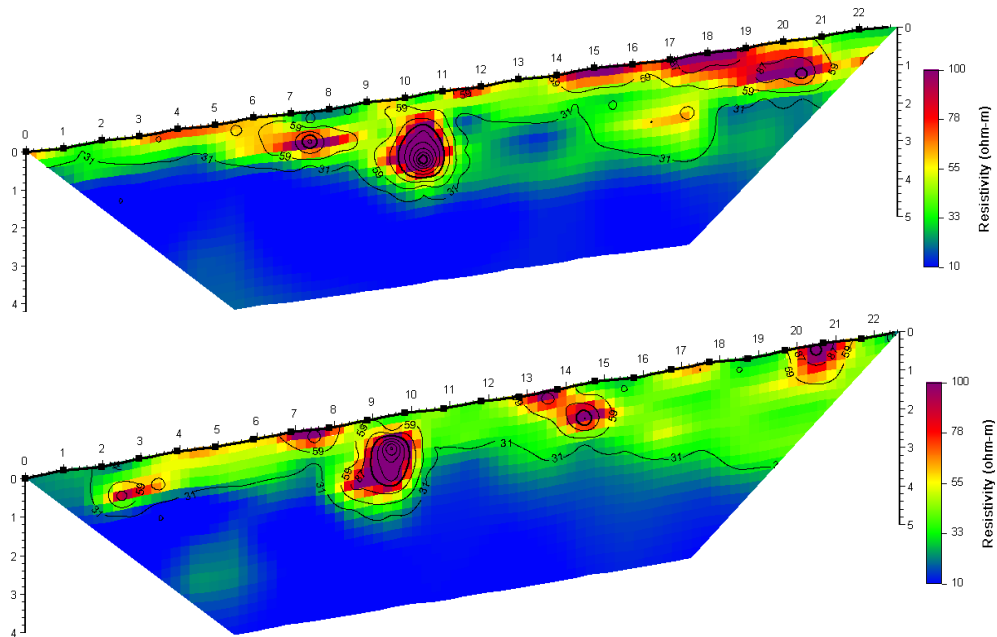
Εικόνα 15: Παρουσίαση των τεσσάρων ηλεκτρικών τομογραφιών και του Qanat στο χώρο.

7. Συμπεράσματα

Από την γεωφυσική έρευνα που έγινε στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας, η μέθοδος και τα αποτελέσματα της οποίας αναλύθηκαν εκτενώς στα προηγούμενα κεφάλαια, καθώς και από τη συλλογή ιστορικών πληροφοριών για τη περιοχή έρευνας, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

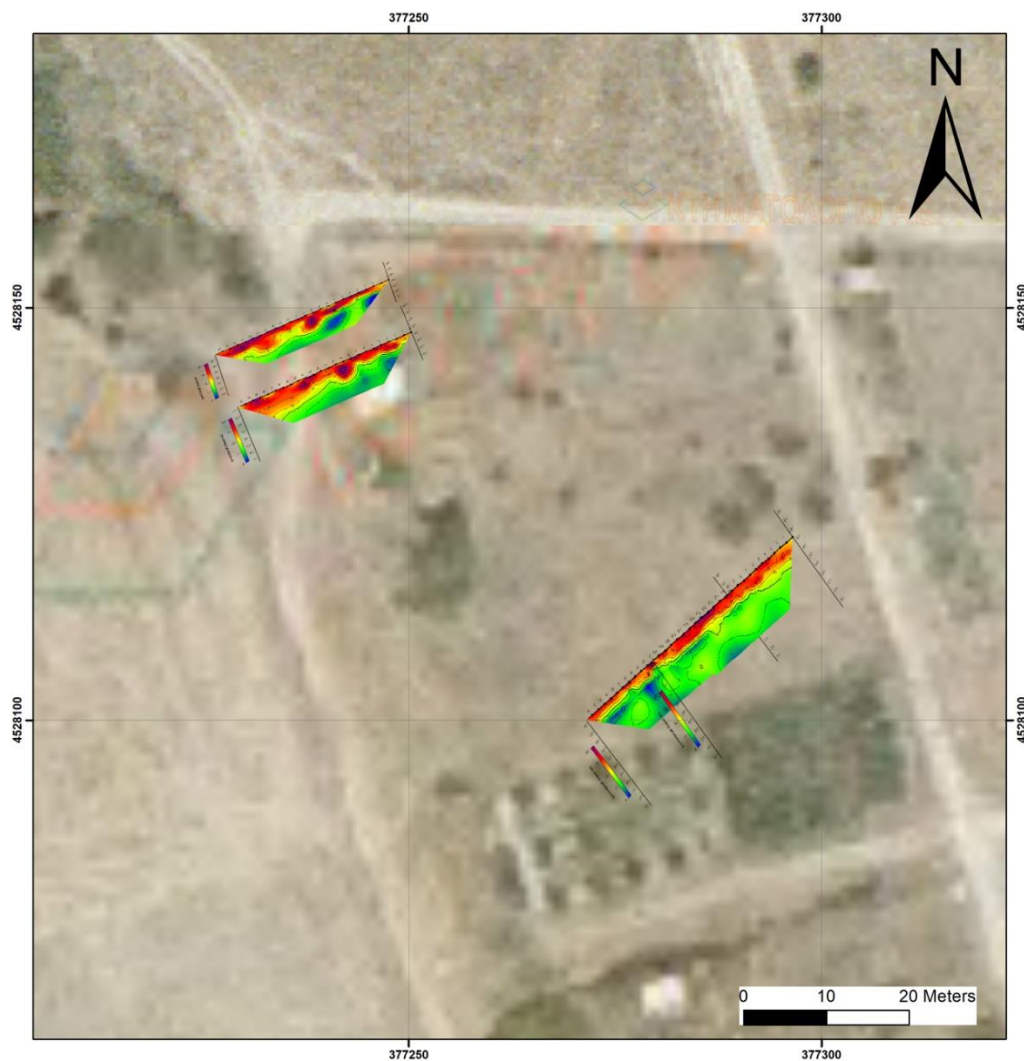
Η Ευρωπός, η περιοχή μελέτης κατείχε ισχυρή θέση στην αρχαιότητα. Η αρχαία Μακεδονική πόλη της Ευρωπού, έχει εντοπιστεί από το εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής Διασκόπησης του ΑΠΘ, σε λοφοσειρά που βρίσκεται 1000 μέτρα ΒΔ του σημερινού χωριού και με την αρχαιολογική ανασκαφή που ακολούθησε δημιουργήθηκε η νεκρόπολη της πόλης σε χώρο επισκέψιμο μέχρι και σήμερα. Ένδειξη της ισχυρής της θέσης αποτελούν οι ευεργεσίες που δεχόταν η πόλη αυτή, μια από τις οποίες αποτελεί και η υδροδότηση της από τον βασιλιά Φίλιππο. Το σύστημα λοιπόν μεταφοράς νερού, το λεγόμενο Qanat, σύμφωνα και με μαρτυρίες, ακολουθεί πορεία επέκτασης προς τα ΒΔ τμήματα του σημερινού χωριού καθώς χάνεται μέσα σε τούνελ και υπόγειες σήραγγες.

Για τον εντοπισμό αυτής της επέκτασης του υπόγειου αγωγού νερού εφαρμόστηκε η μέθοδος Ηλεκτρικής Τομογραφίας των Γεωφυσικών Διασκοπήσεων και διεξήχθησαν τέσσερις ηλεκτρικές τομογραφίες στη θέση επέκτασης σύμφωνα με τον τοπογραφικό χάρτη. Στις δύο πρώτες τομογραφίες EQ1 και EQ2, στην ίδια θέση, παρατηρούνται τοπικά υψηλές αντιστάσεις μέσα στον εδαφικό σχηματισμό και στις θέσεις όπου προβλέπεται το Qanat.



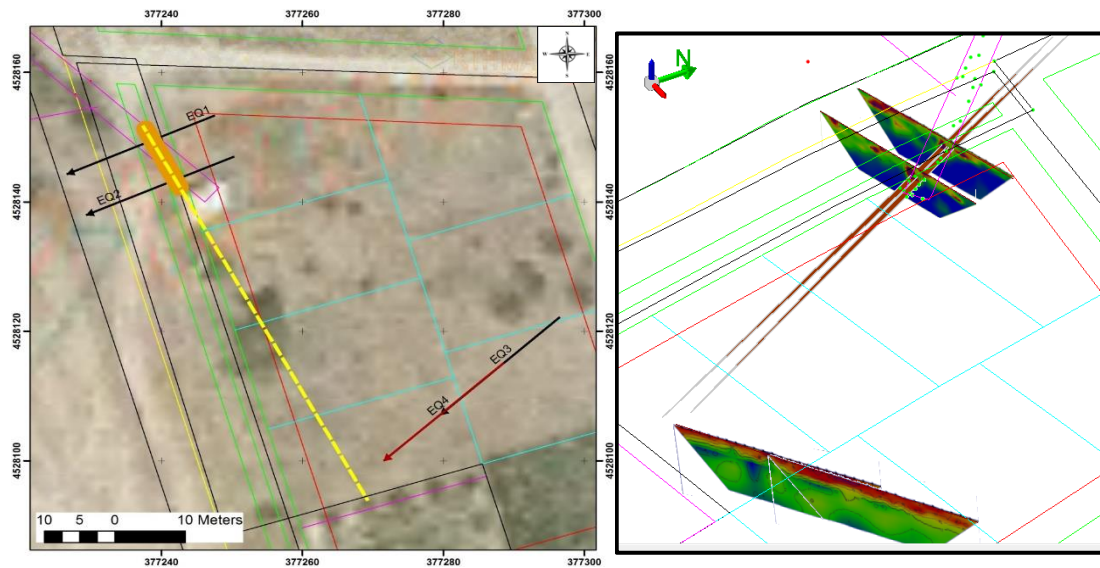
Εικόνα 16: Παρουσίαση των ηλεκτρικών τομογραφιών EQ1 και EQ2 με γραμμική χρωματική κλίμακα τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Αντίστοιχες παρατηρήσεις δεν προκύπτουν στις επόμενες δύο τομογραφίες EQ3 και EQ4, στην νοητή επέκταση του Qanat με βάση τον τοπογραφικό χάρτη, στις οποίες δεν εντοπίζεται κάποιο στρώμα αρχαιολογικού ενδιαφέροντος και έτσι πιθανολογείται πως ο υπόγειος αυτός αγωγός νερού αλλάζει πορεία.



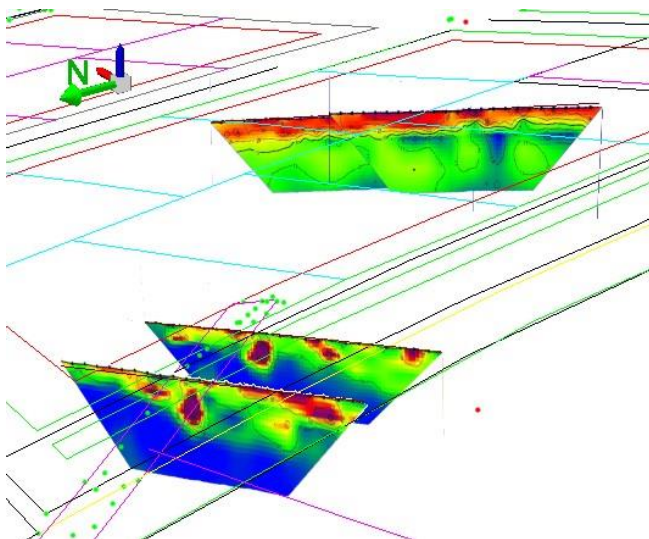
Εικόνα 17: : Οι τέσσερις γεωηλεκτρικές τομές τοποθετημένες στις προσχεδιασμένες θέσεις στον τοπογραφικό χάρτη

Στην εικόνα αυτή (Εικόνα 17) παρουσιάζονται οι τομές που προέκυψαν και στις τέσσερις θέσεις. Εάν λοιπόν αποτυπωνόταν το Qanat, στη θέση όπως εντοπίστηκε στις δύο τομογραφίες, κάτι το οποίο φαίνεται στην ακόλουθη Εικόνα 18, η νοητή γραμμή επέκτασης από αυτή τη θέση δημιουργεί ένα σενάριο, σύμφωνα με το οποίο υπάρχει πιθανότητα να εντοπιστεί σε αυτήν την προέκταση η συνέχεια του Qanat ή πιθανώς να προσδιοριστεί και το που καταλήγει ο υπόγειος αυτός αγωγός νερού.



Εικόνα 18: Σχεδιαστική απεικόνιση της θέσης του Qanat όπως αυτή βρέθηκε πάνω στις ηλεκτρικές τομογραφίες και η νοητή επέκτασή του αποτυπωμένη και στο χώρο.

Με βάση το παραπάνω σενάριο προτείνεται η εφαρμογή περισσότερων και πιο πυκνών ηλεκτρικών τομογραφιών αλλά και μεθόδων όδευσης, στη περιοχή αυτή και μετέπειτα από τη συλλογή δεδομένων και σε συνεργασία με την αρχαιολογική υπηρεσία, συγκεκριμένες ανασκαφές θα μπορούσαν να οδηγήσουν στον εντοπισμό της ακριβούς πορείας του Qanat.



Εικόνα 19: Παρουσίαση της πιθανής συνέχειας της ανωμαλίας που περνάει δυτικότερα από τις τομογραφίες EQ3 & EQ4. (Φωτογραφία Εξωφύλλου)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

Αθανασίου Ελένη, 2009. «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ», ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, Υποβλήθηκε στον Τομέα Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Σελ. 168.

Βαβλιάκης Ελευθέριος, 1989. «ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ QANAT (KANAT) ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ QANAT ΣΤΗΝ ΕΠΑΡΧΙΑ ΦΥΛΛΙΔΑΣ ΣΕΡΡΩΝ ΑΠΟ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ, ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΨΗ», ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΕΤΗΡΙΔΑ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΡΙΘΜ. 9, σελ.85

Δήμος Ευρωπού, «ΕΥΡΩΠΟΣ, ΙΣΤΟΡΙΑ 5.000 ΧΡΟΝΩΝ, Ιστορική αναδρομή της Ευρωπού μέσα από αρχαιολογικά της ευρήματα», Το παρόν έντυπο χρηματοδοτήθηκε από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα (Ε.Π.) «Αγροτική Ανάπτυξη-Ανασυγκρότηση της υπαίθρου 2000-2006» και συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Προσανατολισμού και Εγγυήσεων – Τμήμα Προσανατολισμού

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΑΘΗΝΑ, 1986. «ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟ ΚΟΥΦΑΛΙΑ, κλίμακας 1:50.000

Καμνιάτσος Βίκτωρ, 2013. «ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΝ Χ.Υ.Τ.Α. ΜΑΥΡΟΡΑΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ», ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, Υποβλήθηκε στον Τομέα Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ.47

Λάμπρου Αθαν. Δημήτριος, 1997. «ΕΥΡΩΠΟΣ, Ιστορία – Εξέλιξη» σελ. 117

Παπαζάχος Βασίλης, 1985. «Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική», Εκδόσεις University Studio, σελ. 322

Σαββοπούλου Θωμαή, 2004. «ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΝ ΔΕΛΤΙΟΝ 56-59 (2001-2004)» Εκδόσεις ΙΣΤ' ΕΦΟΡΕΙΑ ΠΡΟΪΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΛΑΣΙΚΩΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ

Σαββοπούλου Θωμαή, 1988. «ΕΥΡΩΠΟΣ, Ιστορία-Αρχαιολογία», Εκδόσεις Αιβάζης – Ζουμπούλης, σελ. 45.

Ψωμιάδης Δαβίδ, 2011. «ΠΑΛΑΙΟΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΑΚΤΟΛΙΘΩΝ (ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ) ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟ-ΑΙΓΑΙΑΚΟΥ ΧΩΡΟΥ» ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, Υποβλήθηκε στον

Τομέα Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 278

Ξενόγλωσση

Edwards L.S. (1977). A modified pseudosection for resistivity and IP, *Geophysics*, 42, 1020-1036.

Tsourlos P., Vargemezis G., Tsokas G., Alexandrou K. and Tzeli P. (2001). Geophysical prospection for mapping of the Qanat systems: Application to the Qanat system of Agia Paraskeyh- Chortiati of Thessaloniki (N. Greece), *Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXX/4, 1385-1391, 2001 Proceedings of 9th congress of the Geological society of Greece, Athens, September 2001*

Tsourlos Panagiotis, 2014. «*Electrical Resistivity Tomography Applications in Cultural Heritage, International Technical Workshop Remote Sensing Technologies in Cultural Heritage I*

Δικτυογραφία

«*Άρδευση και ύδρευση με τεχνολογία της αρχαιότητας*»,2010 <http://www.nooz.gr/science/1122695/ardeysi-kai-ydreysi-me-technologia-tis-archaiotitas> *Ημερομηνία ανάκτησης, 17/02/2018*

Τοκαλατσίδης Σωτήρης, 2012. «*Το σύστημα υδρομάστευσης (qanat) της Αγίας Παρασκευής Χορτιάτη*» <http://www.hortiatis570.gr/tributes/item/104-ta-qanat-tis-agias-paraskeyhs> *Ημερομηνία Ανάκτησης, 17/02/2018*