



---

---

## **ΥΔΡΟΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΡΓΟΥΣ**

---

---

**Δρακακάκη Βασιλική & Μαργαρίτα Σίδερη**

Επιβλέπων καθηγητής  
Παντελής Σουπιός

Χανιά - 2014

## **ABSTRACT**

This thesis negotiates the processing of geophysical results from measurements of transient electromagnetic field TEM, which are used systematically in recent years in various fields of geoscientific research. These measurements were taken in the region of the Argolid plain. The aim was to identify a tectonic model defining geological and geotechnical characteristics of the study area.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική διαπραγματεύεται την επεξεργασία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων από μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών παροδικών πεδίων TEM, οι οποίες χρησιμοποιούνται συστηματικά τα τελευταία χρόνια σε διάφορα πεδία της γεωεπιστημονικής έρευνας. Οι μετρήσεις αυτές πάρθηκαν στην ευρύτερη περιοχή του Αργολικού κάμπου. Στόχος ήταν ο προσδιορισμός ενός τεκτονικού μοντέλου προσδιορίζοντας γεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

## Περιεχόμενα

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b> .....	<b>4</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ</b> .....	<b>5</b>
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....	5
2.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία .....	5
2.1.2 Το Προαλπικό υπόβαθρο της κεντρικής Πελοποννήσου (Ενότητα της Άρνας ή Φυλλιτών - Χαλαζιτών).....	6
2.1.3 Το αλπικό σύστημα .....	6
2.1.4 Μεταλλικά ιζήματα .....	14
2.1.5 Τεκτονική - ευστατικές κινήσεις.....	14
2.1.6 Περίληψη - συμπεράσματα .....	16
2.2 ΔΟΜΗ, ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΡΓΟΛΙΚΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ .....	18
2.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία .....	18
2.2.2 Λιθολογική σύσταση των μεταλλικών αποθέσεων .....	20
2.2.3 Υδροφόροι σχηματισμοί.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.4 Περίληψη - συμπεράσματα .....	23
2.3 ΕΔΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	25
2.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία .....	25
2.3.2 Ανάγλυφο - κλίσεις.....	26
2.3.3 Εδαφικοί τύποι – φυσικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά τους .....	27
2.3.4 Περίληψη - συμπεράσματα .....	33
2.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ της ευρύτερης περιοχής.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.1 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.2 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ (TEM)</b> .....	<b>34</b>
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	34
3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΙΣ .....	34
3.2.1 Βάθος Διασκόπησης .....	36
3.2.2 Διεξαγωγή των μετρήσεων .....	37
3.2.3 Όργανα Μετρήσεων.....	39
3.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	42
3.4 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	43
3.5 ΣΥΛΛΟΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	44
3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ .....	54
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΔΙΟΥ</b> .....	<b>55</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>57</b>
5.1 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ 2D ΜΟΝΤΕΛΩΝ .....	57
5.2 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ 3D ΜΟΝΤΕΛΩΝ .....	68
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>73</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος διασκόπησης βασίζεται στο φαινόμενο της ΗΜ επαγωγής, κατά το οποίο μεταβαλλόμενο εξωτερικό (πρωτεύον) μαγνητικό πεδίο που εισέρχεται στο υπέδαφος έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού επαγωγικού ρεύματος και δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βυθοσκοπήσεις χρησιμοποιούνται συστηματικά τα τελευταία χρόνια σε διάφορα πεδία της γεωεπιστημονικής έρευνας, εναλλακτικά ή συμπληρωματικά με τις ηλεκτρικές DC βυθοσκοπήσεις. Λαμβάνουν χώρα συνήθως με τη χρήση μεγάλου βρόχου εκπομπής και πηνίου – δέκτη (ή βρόχου) συνδεδεμένα με την κεντρική μονάδα του Η/Μ συστήματος (σχήμα 3.1). Ο βρόχος εκπομπής διαρρέεται από σταθερό ρεύμα και δημιουργεί πρωτογενές μαγνητικό πεδίο. Το ρεύμα διακόπτεται με ταχύ ρυθμό και ελεγχόμενο τρόπο που έχει τη μορφή ράμπας, διακόπτοντας το μαγνητικό πεδίο. Κατά τον Faraday επαγωγικά ρεύματα δημιουργούνται στο υπέδαφος, συντηρώντας το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο. Το σύστημα των επαγωγικών ρευμάτων κυκλοφορεί σε κλειστούς δρόμους κάτω από το βρόχο εκπομπής και φθίνοντας δημιουργεί με τη σειρά του δευτερεύον μαγνητικό πεδίο. Μεταβολές της τιμής του μαγνητικού πεδίου επάγουν δυναμικό στο πηνίο του δέκτη που βρίσκεται είτε στο κέντρο του βρόχου εκπομπής είτε είναι ο ίδιος βρόχος εκπομπής.

Η κατανομή και η ένταση των ρευμάτων του υπεδάφους εξαρτάται από την τιμή της ειδικής αντίστασης και σαν αποτέλεσμα οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού δίδουν πληροφορίες για την κατανομή και τιμή της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους.

Με την πάροδο του χρόνου, η θέση της μέγιστης τιμής της έντασης των επαγωγικών ρευμάτων διαχέεται προς το βάθος και προς τα έξω του βρόχου εκπομπής, με τη μορφή δακτυλίων ρεύματος (Nabighian 1979).

Ένα βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι μπορεί να λειτουργήσει σε μικρές εκτάσεις σε σχέση με το βάθος διασκόπησης. Η χρήση της είναι ολοένα και αυξανόμενη, ενώ και σε ερευνητικό στάδιο γίνονται πολλές μελέτες για την περαιτέρω εκμετάλλευση της μεθόδου και σε άλλους τομείς.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι οι μετρήσεις συλλέχθηκαν στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του Hector R. Hinojosa-Prieto, υπόψηφου διδάκτορα του Πανεπιστημίου της Κολωνίας στη Γερμανία. Οι μετρήσεις υπαίθρου ελήφθησαν σε 3 εργασίες υπαίθρου συνολικής διάρκειας 11 ημερών και συμμετείχαν οι Παντελής Σουπιός, Αναστασία Κόκκινου και Παναγιώτης Κιρμιζάκης. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν από τους Pavel Barsukov, Senior Researcher, Geoelectromagnetic Research Centre IPE Russian Academy of Science, RUSSIA και Παντελής Σουπιός, ΤΕΙ Κρήτης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

### 2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

#### 2.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Η περιοχή της έρευνας καταλαμβάνει την πεδινή έκταση της Αργολικής πεδιάδας (Αργολικό πεδίο) που οριοθετείται προσεγγιστικά από τις συντεταγμένες λ, [22<sup>0</sup>,37', 22<sup>0</sup>,25'] και φ, [37<sup>0</sup>,30', 37<sup>0</sup>,45'] (Σχ. 1.1). Η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος περιλαμβάνει τις υδρολογικές λεκάνες που πλαισιώνουν το Αργολικό πεδίο και εκτείνεται από το οροπέδιο της Τρίπολης δυτικά μέχρι το Αραχναίο όρος ανατολικά.



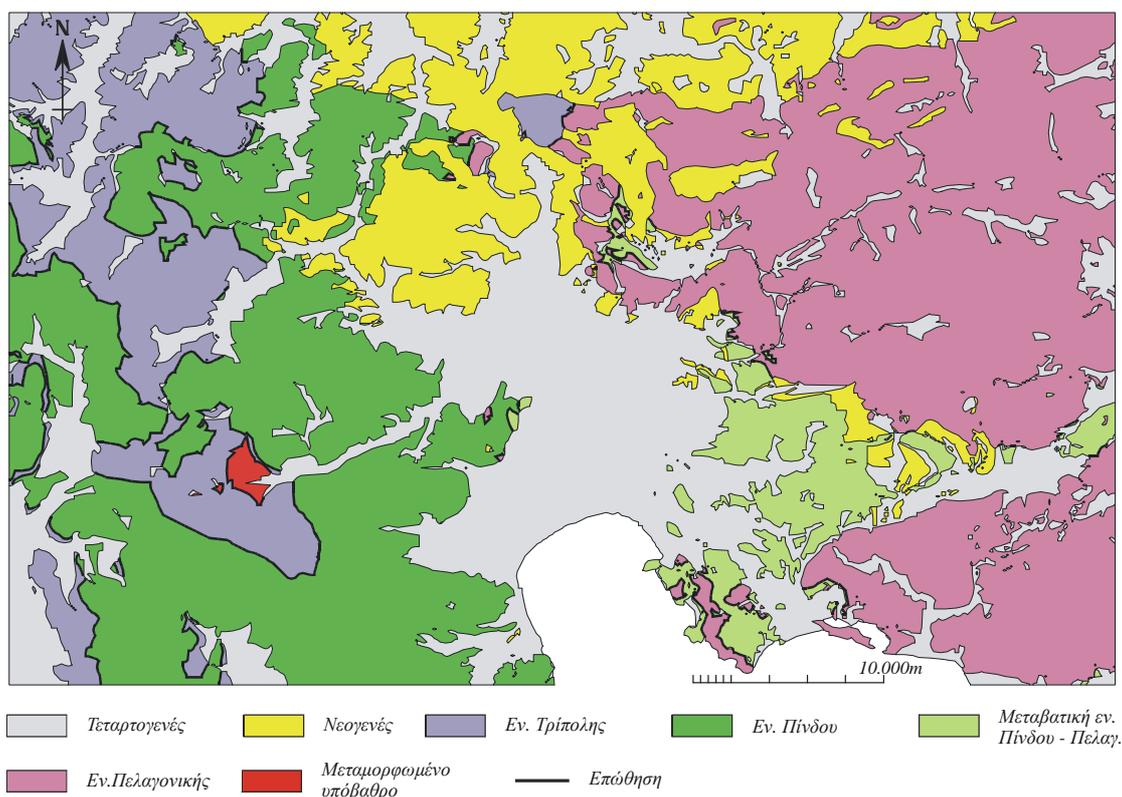
**Σχήμα 2.1** Θέση και όρια της περιοχής ενδιαφέροντος (Γιαννουλόπουλος Π., 2000, Σχήμα 1.1)

Οι ορεινές και ημιορεινές μάζες που την πλαισιώνουν δομούνται λιθολογικά από ασβεστόλιθους και φλύσχη καθώς επίσης και από Πλειο - Πλειστοκαινικά ιζήματα στις βόρειες και ΒΔ παρυφές της πεδιάδας. Το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της

κεντρικής Πελοποννήσου αναπτύσσεται επιφανειακά σε περιορισμένη έκταση δυτικά του Αργολικού Πεδίου στην περιοχή των οικισμών Μερκούρι και Σπηλιά (Σχήμα 2.2).

Από γεωτεκτονική άποψη, αναπτύσσονται κατά σειρά από δυτικά προς τα ανατολικά οι ενότητες της Τρίπολης, Ωλονού-Πίνδου και η Πελαγονική οι οποίες αντιπροσωπεύουν το Αλπικό σύστημα. Ανάμεσα στην τυπική ενότητα της Πίνδου και στην Πελαγονική αναπτύσσονται λιθολογικοί σχηματισμοί οι οποίοι έχουν χαρακτηριστεί ως *μεταβατικά ιζήματα* από την πρώτη στη δεύτερη. Το Αργολικό βύθισμα καλύπτεται από μεταλλικά ιζήματα που διακρίνονται σε Νεογενή και Τεταρτογενή. Τα επιμέρους χαρακτηριστικά των γεωτεκτονικών αυτών ενοτήτων στην περιοχή αναλύονται στη συνέχεια.

### 2.1.2 Το Προαλπικό υπόβαθρο της κεντρικής Πελοποννήσου (Ενότητα της Άρνας ή Φυλλιτών - Χαλαζιτών)



**Σχήμα 2.2** Κατανομή των γεωτεκτονικών ενοτήτων στην ευρύτερη περιοχή, σύνθεση από τους υφιστάμενους Γεωλογικούς Χάρτες, έκδοσης ΙΓΜΕ, κλ. 1:50.000 (Γιαννουλόπουλος Π., 2000, Σχήμα 1.2).

### 2.1.3 Το αλπικό σύστημα

Στο αλπικό σύστημα συμμετέχουν οι ασβεστολιθικές μάζες καθώς και ο φλύσχης που δομούν τα δυτικά ορεινά συμπλέγματα του Αρτεμισίου και Κτενιά, των λόφων των

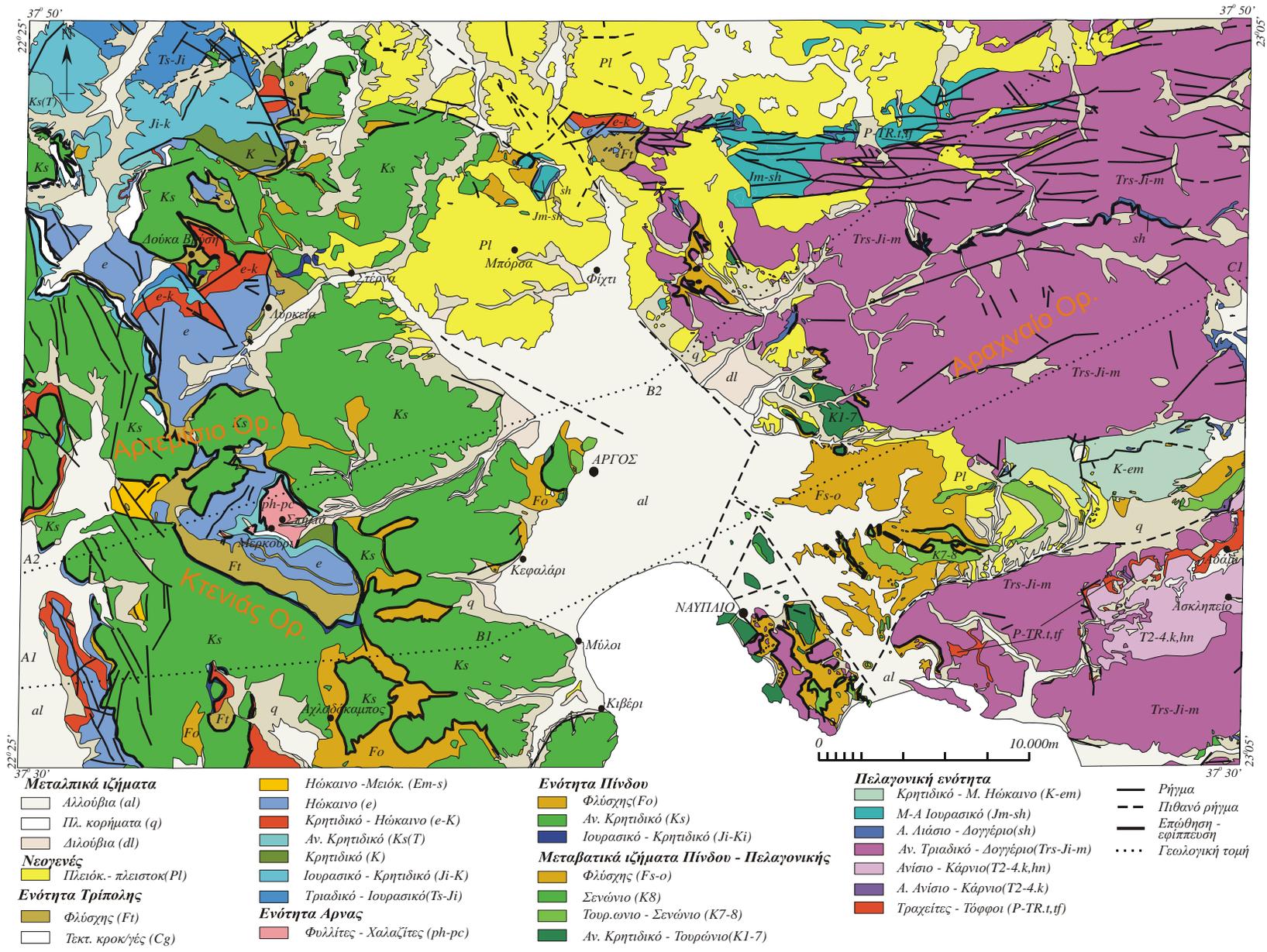
Δερβενακίων στα Βόρεια, και του ορεινού συστήματος Τραπεζώνας - Αραχναίου στα Ανατολικά. Επίσης στο ίδιο σύστημα ανήκουν και οι ασβεστολιθικές λοφώδεις εξάρσεις της Τίρυνθας και του Προφ. Ηλία καθώς και άλλες μικρότερες που απαντώνται διεσπαρμένες στην πεδινή περιοχή. Τα αλπικά ιζήματα εντάσσονται γεωτεκτονικά στις ενότητες Γαβρόβου - Τρίπολης και Πίνδου στα δυτικά, και Πελαγονικής στα Ανατολικά. Στις παρυφές του Αργολικού πεδίου παρεμβάλλονται μεταβατικά ιζήματα της ενότητας της Πίνδου προς την Πελαγονική (Τάταρης και Καλλέργης, 1965). Η ανάπτυξη των ενοτήτων αυτών στην ευρύτερη περιοχή φαίνεται στο Σχήμα 2.2

Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής έχει διερευνηθεί στα πλαίσια επισταμένων γεωλογικών χαρτογραφήσεων που έγιναν στο παρελθόν (Bennert, 1972, Γαϊτανάκης κ.α., 1981, Εξηναταβελώνης και Τακτικός, 1981, Μπορνόβας και Λαλεχός, 1969, Παπασταματίου κ.α., 1970, Τάταρης και Μαραγκουδάκης, 1964 και Τάταρης, Καλλέργης και Κούνης, 1964, Wever, 1975). Η αναλυτική στρωματογραφική και λιθολογική εικόνα των γεωτεκτονικών αυτών ενοτήτων όπως προκύπτει από τη σύνθεση των επιμέρους γεωλογικών χαρτών της περιοχής φαίνεται στο Σχήμα 2.3 ενώ τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους περιγράφονται στη συνέχεια.

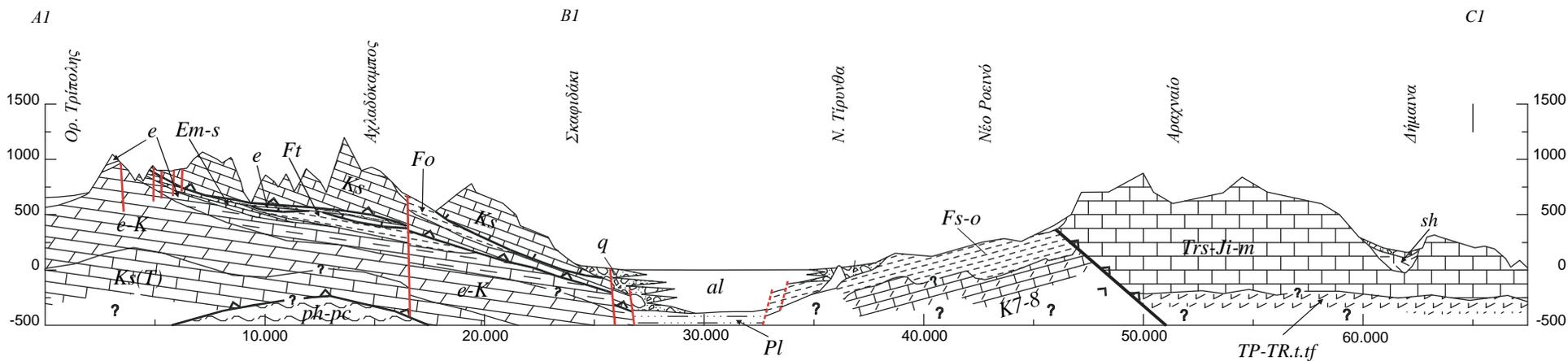
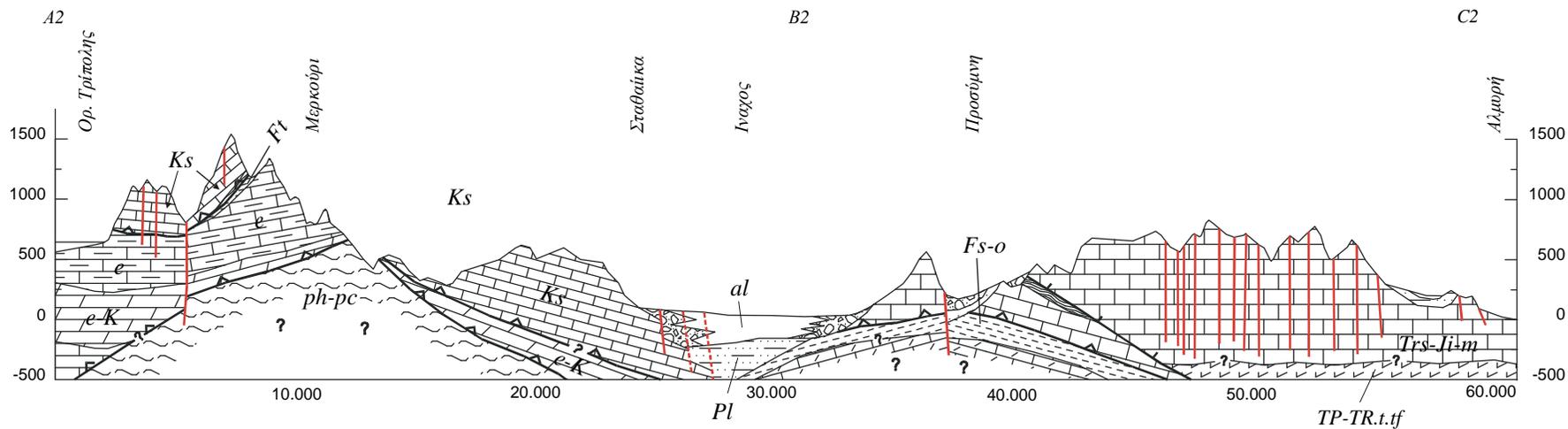
#### **2.1.3.1 Ενότητα Γαβρόβου - Τρίπολης**

Η ενότητα Γαβρόβου - Τρίπολης αναπτύσσεται δυτικά της ενότητας της Πίνδου. Τα ανθρακικά της τμήματα παρουσιάζουν περιορισμένη εξάπλωση κυρίως στην περιοχή του Μερκουρίου και δυτικά της Λυρκεΐας ενώ στη συνέχεια καταλήγουν σε φλύσχη. Η στρωματογραφική κολώνα στην περιοχή περιλαμβάνει (Παπασταματίου κ.α. 1970):

- Το Αν. Παλαιοζωϊκό – Τριαδικό: δομείται από ένα σύμπλεγμα από λάβες και ασβεστόλιθους με πηλίτες και ψαμμίτες που είναι γνωστό ως "στρώματα του Τυρού" δεν αναφέρεται η εμφάνισή του στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.
- Το Μέσο - Ανώτερο Ιουρασικό ( $T_s-J_1$ ), αντιπροσωπεύεται από ασβεστόλιθους, δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους νηριτικής φάσης. Είναι συνήθως παχυστρωματώδεις ανοιχτότεφροι, λευκοί έως ροδόχρωοι ασβεστόλιθοι, με μαλάκια και ελασματοβράγχια και παρουσιάζουν περιορισμένη ανάπτυξη στη περιοχή "Δούκα βρύση".
- Το Ανώτερο Ιουρασικό - Κατ. Κρητιδικό ( $J_s$ ), αναπτύσσεται στην ίδια θέση σε συνέχεια με τους προηγούμενους ασβεστόλιθους.



Σχήμα 2.3 Γεωλογικός Χάρτης της ευρύτερης περιοχής, σύνθεση από τους υφιστάμενους Γεωλογικούς Χάρτες, έκδοσης ΙΓΜΕ, κλ. 1:50.000 (Γιαννουλόπουλος Π., 2000, Σχήμα 1.3).



Σχήμα 2.4 Γεωλογικές τομές (βλ. Σχήμα 2.3) (Γιαννουλόπουλος Π., 2000, Σχήμα 1.4).

Πρόκειται για βιτουμενιούχους ασβεστόλιθους, δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους σκοτεινότεφρου έως μαύρου χρώματος νηριτικής φάσης με Cladocoropsis, οι οποίοι γίνονται κυρίως ανοιχτόχρωμοι με εμφανή κρυσταλλικότητα σε βαθύτερους στρωματογραφικούς ορίζοντες.

- Στο Κατώτερο Κρητιδικό (K) απαντούν κυρίως δολομίτες με Cladocoropsis. Περιορίζονται σε δακτυλιοειδή εμφάνιση γύρω από το τεκτονικό παράθυρο του μεταμορφωμένου υπόβαθρου στην περιοχή Μερκουρίου - Σπηλιάς.
- Το Ανώτερο Κρητιδικό (Ks), αντιπροσωπεύεται από μικρή λωρίδα ρουδιστοφόρων ασβεστολίθων (Τουρώνιας ηλικίας) σε συνέχεια με τους προηγούμενους στην περιοχή του Κτενιά. Πρόκειται για τεφρούς έως μαύρους ασβεστόλιθους, δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους άλλοτε παχυστρωματώδεις και άλλοτε λεπτοστρωματώδεις. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία των Ρουδιστών, Γαστερόποδων, Οστρακοδών και των φυκών.
- Το Αν. Κρητιδικό - Ηώκαινο (e-K), αντιπροσωπεύεται από ασβεστόλιθους με Miliolides ενώ στο Μαιστρήγτιο απαντούν μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι με Orbitolides και Rosalines. Απαντούν δυτικά του Αχλαδόκαμπου και ΒΔ της Λυρκείας.
- Στο Ηώκαινο - Μειόκαινο (Em-s), ακολουθούν παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι ανοιχτόχρωμοι έως υπόλευκοι κατά θέσεις κυρίως στιφροί και κλαστικοί οι οποίοι μεταβαίνουν στους μέλανους βιτουμενιούχους νουμουλιτοφόρους ασβεστόλιθους (Αν. Ηώκαινο - Ακουιτάνιο). Κατά θέσεις απαντούν μεταβατικοί ορίζοντες προς το φλύσχη με χαρακτηριστικά απολιθώματα τα Alveolina, Miliolidae, Nummulites κ.α. Αναπτύσσονται δυτικά του άξονα Λυρκεία - Καπαρέλι, στην περιοχή του Μερκουρίου - Σπηλιάς καθώς και στα Δερβενάκια.
- Ο φλύσχη (Ft) αναπτύσσεται κατά το μεγαλύτερο τμήμα του σε συνέχεια με τους υποκείμενους ασβεστόλιθους. Πρόκειται για ένα σύμπλεγμα από μάργες και ψαμμιτομάργες με φακοειδείς ενστρώσεις κροκαλοπαγών και ασβεστόλιθων.

Μεταξύ της ενότητας της Τρίπολης και της τεκτονικά υπερκείμενης ενότητας της Πίνδου μεσολαβεί κατά θέσεις (ιδιαίτερα στην περιοχή του Αρτεμισίου) μια τεκτονοϊζηματογενής ακολουθία που δομείται από ογκόλιθους ποικίλου μεγέθους και σύστασης. Κυριαρχούν τμήματα του φλύσχη της υποκείμενης ενότητας, τεμάχια της ενότητας της Πίνδου καθώς και εκρηξιγενή πετρώματα. Συνεχής στρωματογραφική κολώνα αναπτύσσεται κυρίως στην περιοχή Μερκουρίου - Σπηλιάς η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ του υποκείμενου μεταμορφωμένου υπόβαθρου και των επωθημένων Κρητιδικών ασβεστόλιθων της ενότητας της Πίνδου.

#### **2.1.3.2 Ενότητα της Πίνδου**

Η εν λόγω ενότητα, παρόλο ότι παρουσιάζει σημαντική εξάπλωση στην περιοχή της Αργολίδας δεν έχει ακόμη ξεκάθαρη γεωτεκτονική ταυτότητα. Δεν έχει δηλαδή

αποσαφηνιστεί εάν πρόκειται για μια αυτόνομη ενότητα όπως στην υπόλοιπη Πελοπόννησο και στη δυτική Ελλάδα ή για μετάβαση της Ανατολικής Ελλάδας (Πελαγονικής) στην ενότητα της Πίνδου δυτικά.

Στην περιοχή της Αργολίδας απαντούν δύο όψεις της ενότητας της Πίνδου. Το γνωστό Αρκαδικό κάλυμμα δυτικά, και τα ιζήματα μεταβάσεως από της ζώνης στη ζώνη Ωλονού - Πίνδου, στην ενότητα της Ανατολικής Ελλάδας (Πελαγονικής). Το Αρκαδικό κάλυμμα αναπτύσσεται από τις δυτικές παρυφές του Αργολικού Πεδίου στα όρη Κτενιάς και Αρτεμίσιο μέχρι και στο οροπέδιο της Τρίπολης.

Η στρωματογραφική εικόνα της ενότητας της Πίνδου στην περιοχή αυτή είναι (Παπασταματίου κ.α. 1970):

- Ιουρασικό - Κατ. Κρητιδικό ( $J_s$ ): Αποτελείται από ένα σύστημα από τεφρούς λεπτοστρωματώδεις πλακώδεις ασβεστόλιθους και σχιστοκερατόλιθους. Περιέχουν Filaments και απαντούν σε περιορισμένες εμφανίσεις στη Στέρνα και στον Αχλαδόκαμπο.
- Μέσο - Κατώτερο Κρητιδικό ( $K_i$ ): Πρόκειται για ένα σύστημα από αργιλικούς σχιστόλιθους, κερατόλιθους και ψαμμίτες ερυθρού χρώματος με αδρομερέστερα κλαστικά ιζήματα και ασβεστόλιθους. Αποτελεί την κύρια επιφάνεια αποκόλλησης και επώθησης του καλύμματος στην υποκείμενη σειρά της Τρίπολης και βιβλιογραφικά περιγράφεται ως πρώτος φλύσχη της ενότητας της Πίνδου. Τα απολιθώματα σπανίζουν. Οι περιορισμένες εμφανίσεις του ορίζοντα αυτού οριοθετούν συνήθως το Αρκαδικό κάλυμμα από την υποκείμενη ενότητα της Τρίπολης.
- Ανώτερο Κρητιδικό ( $K_s$ ): Αποτελεί το κάλυμμα με τη σημαντικότερη εξάπλωση στον Κτενιά και στο Αρτεμίσιο. Πρόκειται για πολυπτυχωμένους λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους λευκού, κίτρινου, και ερυθρού χρώματος, πελαγικής φάσης με ενστρώσεις και κονδύλους κερατολίθων. Περιλαμβάνει επίσης ενστρώσεις παχυστρωματοδών μικροκρυσταλλικών ασβεστόλιθων και μαργών σε εναλλαγές και περιέχει ακτινόζωα και τρηματοφόρα όπως *Clobotruncana* κ.α.
- Μαιστρήχτιο - Παλαιόκαινο ( $F_o$ ): Περιλαμβάνει το φλύσχη ο οποίος αποτελεί ένα σύμπλεγμα από ασβεστιτικούς σχιστόλιθους και μάργες. Κατά θέσεις απαντούν σερπεντινωμένα εκρηξιγενή πετρώματα και ασβεστόλιθοι. Η έναρξη της απόθεσης του φλύσχη είναι στο Μαιστρήχτιο με μεταβατικά στρώματα συνιστάμενα από εναλλαγές μαργών και λεπτοπλακώδων ασβεστόλιθων συνήθως τεφρών με ενστρώσεις και κονδύλους πυριτόλιθων μαύρου ή ερυθρού χρώματος. Περιέχουν ακτινόζωα και τρηματοφόρα. Αναπτύσσεται σε συνέχεια με τους προηγούμενους ασβεστόλιθους ή παρεμβάλλονται σε αυτούς λόγω τεκτονικών λεπιώσεων ενώ παρουσιάζουν επίσης σημαντική εξάπλωση.

### 2.1.3.3 *Ιζήματα μετάβασης από την ενότητα της Πίνδου στην Πελαγονική*

Στα "ιζήματα μεταβάσης<sup>1</sup>" από τη ζώνη της Πίνδου στην Πελαγονική ζώνη, αναφέρονται οι σχετικές γεωλογικές χαρτογραφήσεις του ΓΜΕ (Παπασταματίου κ.α. 1970) στα φύλλα Άργος και Ναύπλιο. Οι Τάταρης και Καλλέργης (1965) μετά από μελέτη και συσχέτιση γεωλογικών δεδομένων από τον Παρνασσό, την Κορινθία, την Αργολίδα κ.α. κατέληξαν για την περιοχή, στην παρουσία μεταβατικών στρωμάτων από την ενότητα της Πελαγονικής στην ενότητα της Πίνδου. Η στρωματογραφική ακολουθία και εξάπλωση των στρωμάτων αυτών είναι:

- Κάτω Κρητιδικό - Τουρόνιο (K1-7): Περιλαμβάνει κλαστικούς ασβεστόλιθους με παρεμβολές μαργών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Απαντούν κυρίως στο Παλαμήδι, στην Άρια καθώς και στην Τίρυνθα και στο Μπούρτζι.
- Τουρόνιο – Σενόνιο (K7-8) : Πρόκειται συνήθως για παχυστρωματώδεις, κιτρινόχρωμους κατά θέσεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.
- Σενόνιο (K8) : Περιλαμβάνει στιφρούς, λευκορόδινους έως κιτρινόλευκους με ενστρώσεις και κονδύλους πυριτόλιθων. Κατά θέσεις μεταπίπτουν προς στρωματογραφικά κατώτερους ορίζοντες
- Μαιστρήχτιο (Fs-o) : Αντιπροσωπεύεται από το φλύσχη ο οποίος συνίσταται από ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, μάργες ερυθροϊώδους χρώματος, ψαμμιτομάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή με ενστρώσεις κλαστικών ασβεστόλιθων. Στα μεταβατικά ιζήματα από τους ασβεστόλιθους απαντούν οφιολιθικά σώματα από διαβάσεις, σπηλίτες και σερπεντινωμένους περιδοτίτες.

Δεν είναι ακόμη ξεκαθαρισμένη από γεωτεκτονική άποψη η παρουσία των μεταβατικών αυτών στρωμάτων καθώς και η οριοθέτησή τους με την Πελαγονική, αλλά είναι σαφές ότι λιθολογικά περιέχουν πολλά στοιχεία από την τελευταία. Αυτό όμως που ενδιαφέρει περισσότερο στην παρούσα έρευνα είναι η λιθολογική διάρθρωση και δομή.

### 2.1.3.4 *Πελαγονική ζώνη (ή Ζώνη της Ανατολικής Ελλάδας)*

Εξαπλώνεται γεωγραφικά στην ανατολική και βορειοανατολική περιφέρεια του Αργολικού Πεδίου καθώς και την ανατολική Αργολίδα. Σύμφωνα με τον Dercourt (1964), η χερσόνησος της Αργολίδας ανατολικά του Αργολικού πεδίου, διακρίνεται σε δύο διαφορετικές τεκτονικές ενότητες, στην ενότητα της Τραπεζώνας στα βόρεια η οποία θεωρείται κομμάτι της ενότητας του Παρνασσού και στη νότια περιοχή της Αργολίδας η οποία ανήκει στην Πελαγονική. Η γεωτεκτονική εικόνα της ανατολικής Αργολίδας όπως επισημάνθηκε και προηγουμένα δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως.

<sup>1</sup> Σχηματισμοί με ανάλογα χαρακτηριστικά έχουν ενταχτεί στην Υποπελαγονική ενότητα (βλ. π.χ. Παπανικολάου, 1986)

Σύμφωνα όμως με την κλασική θεώρηση των γεωτεκτονικών ενοτήτων του Ελληνικού χώρου η ζώνη της Ανατολικής Ελλάδας περιλαμβάνει μια σειρά από άλλες υποενοότητες με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μέχρι το Αν. Κρητιδικό όπου ομογενοποιούνται στη συνέχεια με την Άνω-κρητιδική επίκλυση (βλέπε. π.χ. Παπανικολάου, 1986). Στη περίπτωση της Ανατολικής Αργολίδας η στρωματογραφική ακολουθία αντιπροσωπεύεται περισσότερο από την ενότητα της Πελαγονικής.

Κύριο χαρακτηριστικό της γνώριμα είναι οι οφιολιθικές μάζες καθώς και η σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση. Μεγάλη ανάπτυξη στην περιοχή αυτή παρουσιάζουν επίσης και οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι.

Η στρωματογραφική κολώνα στην περιοχή είναι η ακόλουθη (Bennert, 1972, Τάταρης κ.α. 1964):

- Το υπόβαθρο (P-TR.t,tf), της ενότητας αυτής στην περιοχή, δομείται από τραχείτες και τραχειτικούς τόφφους. Εμφανίζεται σε δύο αντικλινικές δομές στην περιοχή του Θεάτρου και στον οικισμό Αδάμι.
- Στο Κατ. Ανίσιο - Κάρνιο (T2-4,hn) απαντούν βαθυκόκκινοι έως καστανοί κερατόλιθοι επικείμενοι στους τραχείτες.
- Στο Ανίσιο - Κάρνιο (T2-4.k,hn) απαντούν κιτρινωποί ασβεστόλιθοι με σαφή στρώση και συχνές παρεμβολές στρωμάτων και κονδύλων κερατόλιθων. Κατά θέσεις είναι λεπτοπλακώδεις. Απαντούν επίσης και οι παχυστρωματώδεις αμμωνιτοφόροι ασβεστόλιθοι γνωστοί ως ασβεστόλιθοι του Ασκληπιείου (T2-4.,κ).
- Στο Κάρνιο - Λιάσιο (Trs-Ji-m) απαντούν οι ασβεστόλιθοι του "Παντοκράτορα". Πρόκειται για ανοιχτότεφρους ασβεστόλιθους με λεπτά στρώματα δολομίτη που υπόκεινται της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης. Στα ανώτερα τμήματά τους γίνονται ωολιθικοί. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ανάπτυξη στην ανατολική Αργολίδα. Ο ορεινός όγκος του Αραχναίου δομείται σχεδόν αποκλειστικά από το σχηματισμό αυτό. Είναι έντονα ρωγματομένοι και καρστικοποιημένοι.
- Στο Αν. Λιάσιο - Δογγέριο (Ji-m.k) αναπτύσσονται οι ασβεστόλιθοι τύπου "AmmoniticoRosso".
- Μέσο -Αν. Ιουρασικό (Jm-Sh). Το Μέσο Ιουρασικό δομείται από ασβεστόλιθους χονδροπλακώδεις έως μεσοπλακώδεις με ενστρώσεις και κονδύλους πυριτολίθων ενώ μέσα σε αυτούς αναπτύσσεται η "σχιστοψαμμιτοκερατολιθική" διάπλαση. Το Αν. Ιουρασικό δομείται από ωολιθικούς ασβεστόλιθους και απαντά μόνο στις βόρειες παρυφές του Αραχναίου
- Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση - Ιουρασικό -Κ. Κρητιδικό (Sh). Είναι η πλέον αντιπροσωπευτική σειρά της ζώνης της Ανατολικής Ελλάδας. Δομείται από ποικιλία πετρωμάτων με επικράτηση σχιστόλιθων, ψαμμιτών,

κερατολίθων. Επίσης περιέχει οφιολιθικά σώματα, τοφφικά κροκαλοπαγή και φακούς ασβεστόλιθων.

- Κρητιδικό - Μ. Ηώκαινο (K-em). Δομείται από παχυστρωματώδεις, λεπτοκρυσταλλικούς ρουδιστοφόρους ασβεστόλιθους. Κατά θέσεις περιέχουν κομμάτια Ιππουριτών

#### **2.1.4 Μεταλλικά ιζήματα**

Διακρίνονται σε Νεογενή και Τεταρτογενή και καλύπτουν το Αργολικό βύθισμα και τους λόφους βόρεια και βορειοδυτικά, στην περιοχή Φίχτια -Μπόρσα. Απαντούν επίσης κατά θέσεις και στις ανατολικές παρυφές της πεδιάδας.

Τα Νεογενή ιζήματα είναι Πλειοκαινικής - Ανώ Πλειοκαινικής ηλικίας και περιορίζονται στην περιοχή Στέρνας - Φιχτίων και στις βορειοανατολικές παρυφές της πεδιάδας. Συνίστανται από λευκοκίτρινες μάργες εναλλασσόμενες με χονδρόκοκκους ψαμμίτες, ψαμμιτομάργες, ψηφίτοπαγή και κροκαλοπαγή σε εναλλαγές με μαργαϊκά ψαμμιτοκροκαλοπαγή. Το πάχος τους υπερβαίνει τα 100μ και είναι πιθανόν Καλάβριας ηλικίας (Θεοδωρόπουλος, Ζαμάνη 1970). Χαρακτηριστικό των στρωμάτων αυτών είναι η απουσία μικροπανίδας και η κλίση προς το νότο κατά 20<sup>0</sup> περίπου. Είναι αποθέσεις κυρίως ποταμοχειμάρριες και λιμναίες πάνω στο αλπικό υπόβαθρο των ενοτήτων Τρίπολης Πίνδου και Υποπελαγονικής (Παπασταματίου κ.α., 1970). Μικρής έκτασης Νεογενή θαλάσσιας φάσης απαντώνται στην περιοχή του Κιβερίου και συνίστανται κυρίως από μάργες και ψαμμιτομάργες.

Στις περιοχές Κεφαλαρίου - Κιβερίου και Ναυπλίου απαντώνται θαλάσσιες αναβαθμίδες από κροκαλοπαγή, πιθανόν Τυρρήνιας ηλικίας. Τα Τεταρτογενή ιζήματα είναι αυτά που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην περιοχή, καθώς και στην παρούσα έρευνα, γιατί λόγω της λιθοστρωματογραφικής τους δομής και εξάπλωσης φιλοξενούν μεγάλες ποσότητες νερού. Η λεπτομερής δομή και εξάπλωση των επιμέρους σχηματισμών θα περιγραφεί εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

#### **2.1.5 Τεκτονική - ευστατικές κινήσεις**

Χαρακτηριστικό της αλπικής τεκτονικής δομής στην περιοχή είναι η διαδοχική επώθηση των διαφόρων γεωτεκτονικών ενοτήτων από ανατολικά προς τα δυτικά. Οι Τάταρης και Καλλέργης (1965) από τη μελέτη γραμμών ολισθήσεων διαπίστωσαν ότι οι τεκτονικές οριζόντιες κινήσεις έλαβαν χώρα από ΒΑ προς ΝΔ.

Στο Σχήμα 2.4 φαίνονται δύο αντιπροσωπευτικές γεωλογικές τομές (βλέπε Σχήμα 2.3) που απεικονίζουν την τεκτονική δομή των αλπικών και μεταλλικών σχηματισμών από το οροπέδιο της Τρίπολης μέχρι το Σαρωνικό κόλπο. Διακρίνονται χαρακτηριστικά οι επωθήσεις και οι επιπτεύσεις των διαφόρων γεωτεκτονικών

ενοτήτων καθώς και οι ρηξιγενείς δομές, που έχουν συμβάλλει και αυτές στην διαμόρφωση της τελικής γεωλογικής διάρθρωσης περιοχής.

Η περιοχή της Αργολικής πεδιάδας όπως αναλύθηκε προηγούμενα, οριοθετεί τεκτονικά τις "εσωτερικές" από τις "εξωτερικές" γεωτεκτονικές ενότητες του Ελληνικού χώρου. Ο ρηγματογόνος τεκτονισμός δυτικά της πεδιάδας παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτόν ανατολικά, στην περιοχή του Αραχναίου. Στη δυτική ζώνη (Αργολικό πεδίο - οροπέδιο Τρίπολης) κυριαρχούν ρήματα μικρής σχετικά έκτασης, κυρίαρχης διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ ενώ αντίθετα ανατολικά (Αραχναίο) κυριαρχούν εκτεταμένα ρήματα μέσης διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ (βλ. Σχήμα 2.3)

Κατά τους Θεοδωρόπουλο και Ζαμάνη (1970) ο ρηγματογόνος τεκτονισμός, στις παρυφές του Αργολικού πεδίου, έχει δημιουργήσει ρήματα με κύριες διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Τα πρώτα είναι στην πλειοψηφία τους κανονικά ρήματα ενώ στα δεύτερα είναι πιο εμφανής η οριζόντια μετατόπιση. Διακρίνονται δύο κύριες πτυχογόνες παραμορφωτικές φάσεις, η Παλαιοαλπική (Νεοκιμερική) αποτυπωμένη στους Τριαδικούς και Ιουρασικούς ασβεστόλιθους των ανατολικών παρυφών της πεδιάδας η οποία έδωσε πτυχές με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, και η Νεοαλπική (Λαραμική ή Πυρηναική) που είναι αποτυπωμένη κυρίως στους Κρητιδικούς ασβεστόλιθους με πτυχές διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ.

Ο ορεινός όγκος Τραπεζώνας - Αραχναίου έχει τεμαχιστεί από ισχυρά ρήματα διεύθυνσης περίπου Α-Δ με μεταπτώσεις προς το Νότο. Οι λόφοι βόρεια του Ναυπλίου είναι τεκτονικά ράκη από πτυχωμένους ασβεστόλιθους με πτυχές διεύθυνσης Α-Δ έως ΒΔ (Τάταρης και Καλλέργης 1965).

Η τεκτονική δομή της Τρίπολης χαρακτηρίζεται από αντίκλινα μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας και διαρρήξεις (Λέκκας 1978, Καροτσιέρης 1981). Οι πτυχώσεις έγιναν σε δύο πτυχογόνες παραμορφωτικές φάσεις. Η επικρατέστερη είναι αυτή των αλπικών πτυχώσεων και δίνει πτυχές με άξονα διεύθυνσης Β-Ν ενώ η δεύτερη η νεώτερη δίνει πτυχές με άξονα Α-Δ περίπου. Τα ρήματα είναι κανονικά με επικρατούσα διεύθυνση Β-Ν. Διακρίνονται μεταπτώσεις που έγιναν πριν από την επώθηση και άλλες που έγιναν μετά.

Η μεταλπική τεκτονική χαρακτηρίζεται από κατακόρυφες κινήσεις, διαρρήξεις, καταβυθίσεις, και εξάρσεις, που είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία ρηξιγενών βυθισμάτων και εξάρσεων οι οποίες οδήγησαν στη δημιουργία του βυθίσματος του Αργολικού πεδίου καθώς και επιμέρους βυθισμάτων.

Στοιχεία μεταβολών της στάθμης της θάλασσας απαντούν άφθονα στην περιοχή. Σε διάφορα υψόμετρα 2, 3 ή και 5 μέτρα, στην περιοχή των πηγών Κιβερίου, απαντούν οπές λιθοφάγων. Στη περιοχή του Κεφαλαρίου απαντούν λιθοδόμοι σε υψόμετρο 50 μέτρων περίπου αλλά και στη στενή περιοχή των πηγών Κιβερίου απαντούν υπολείμματα θαλάσσιων αναβαθμίδων σε υψόμετρα μέχρι και 60 μέτρα. Οι πηγές

Αναβάλου στην περιοχή του Άστρους εκβάλλουν σε βάθος 80 μέτρων από τη στάθμη της θάλασσας. Επίσης στην περιοχή του Άστρους έχει παρατηρηθεί αναβαθμίδα σε υψόμετρο 100 μέτρων περίπου . Με βάση τα στοιχεία αυτά εκτιμάται ότι το εύρος των διακυμάνσεων της στάθμης της θάλασσας ήταν τουλάχιστον 180 μέτρα (Παπάκης 1966).

#### **2.1.6 Περίληψη - συμπεράσματα**

Αφού συγκεντρώθηκαν τα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούν στα γεωλογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης, περιοχής, υπέστησαν επεξεργασία κατάλληλα και ερμηνεύτηκε το γεωλογικό πλαίσιο του Αργολικού πεδίου από το οροπέδιο της Τρίπολης μέχρι και το Σαρωνικό κόλπο.

Τα διαθέσιμα στοιχεία περιλαμβάνουν κυρίως υφιστάμενες γεωλογικές χαρτογραφήσεις, κλ. 1:50.000, (φύλλα Τρίπολη, Άργος, Ναύπλιο, Λυγουριό, Σοφικό, Κόρινθος, Νεμέα, Κανδήλα) που είχαν διεξαχθεί στο παρελθόν υπό την αιγίδα του ΙΓΕΥ και του ΙΓΜΕ (Bennert, 1972, Γαϊτανάκης κ.α., 1981, Εξηναβελώνης και Τακτικός, 1981, Μπορνόβας και Λαλεχός, 1969, Παπασταματίου κ.α. ,1970, Τάταρης και Μαραγκουδάκης, 1964, Τάταρης, Καλλέργης και Κούνης, 1964, Wever, 1975).

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, αφού ψηφιοποιήθηκαν οι παραπάνω γεωλογικοί χάρτες, με τη βοήθεια γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών, προέκυψαν στη συνέχεια ενιαίοι θεματικοί χάρτες όπως ο χάρτης της κατανομής των γεωτεκτονικών ενοτήτων στην περιοχή (Σχήμα 2.2) καθώς και ο λεπτομερής γεωλογικός χάρτης (Σχήμα 2.3). Τέλος συντάχτηκαν δύο αντιπροσωπευτικές γεωλογικές τομές στις οποίες αποτυπώνεται η γεωλογική δομή της περιοχής καθώς και η στρωματογραφική και η τεκτονική σχέση των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών.

Η παραπάνω έρευνα έδειξε ότι το Αργολικό πεδίο πλαισιώνεται δυτικά από τις γεωτεκτονικές ενότητες Γαβρόβου - Τρίπολης και Ωλονού - Πίνδου ενώ σε τεκτονικό παράθυρο απαντά και το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Πελοποννήσου. Χαρακτηριστικό της τεκτονικής τους δομής είναι οι επάλληλες επωθήσεις και επιπτεύσεις καθώς και οι διαρρήξεις ενώ η πτυχωσιγενής τεκτονική έχει διαμορφώσει πτυχώσεις διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ, ο άξονας των οποίων βυθίζεται ΝΝΑ. Ανατολικά, αναπτύσσονται ανθρακικοί κυρίως σχηματισμοί της Πελαγονικής ενώ το αλπικό υπόβαθρο του Αργολικού πεδίου δομείται εν μέρει από σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται βιβλιογραφικά (Παπασταματίου κ.α, 1970, Τάταρης κ.α 1964) ως μεταβατικοί σχηματισμοί από την ενότητα της Πίνδου στην Πελαγονική. Σύμφωνα με τις μοντέρνες αντιλήψεις (βλ. π.χ. Παπανικολάου κ.α 1986) ανάλογοι σχηματισμοί εντάσσονται στην ενότητα της Υποπελαγονικής. Το Αργολικό πεδίο είναι πληρωμένο από Τεταρτογενείς αποθέσεις ενώ στις βορειοδυτικές κυρίως παρυφές του αναπτύσσονται επιφανειακά Νεογενείς σχηματισμοί.

Οι λιθολογικές ενότητες που αποτυπώθηκαν στο γεωλογικό χάρτη (Σχήμα 2.3) και στις σχετικές γεωλογικές τομές (Σχήμα 2.4) πρόκειται να ταξινομηθούν στη συνέχεια ανάλογα με την υδρολιθολογικά και δομικά τους χαρακτηριστικά και να χρησιμοποιηθούν στη σύνταξη του αντίστοιχου υδρολιθολογικού χάρτη.

## 2.2 ΔΟΜΗ, ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΠΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΡΓΟΛΙΚΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ

### 2.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών από την υφαλμύρωση στο τέλος της δεκαετίας του 1950, προσέδρασε το ενδιαφέρον διαφόρων υπηρεσιών και επιστημόνων. Μετά από προκαταρκτικές εργασίες, τον Απρίλιο του 1962 συστάθηκε ομάδα εργασίας αποτελούμενη από εκπροσώπους των ενδιαφερόμενων Υπουργείων (Υ.Σ., Υ.Δ.Ε, Υ.Γ, και Π.Ε.Υ) καθώς και από εμπειρογνώμονες του FAO και της TAHALLtd (1962) η οποία κατάρτισε ένα γενικό πρόγραμμα ερευνητικών εργασιών και μελετών για τον προσδιορισμό των υδατικών πόρων της λεκάνης του Αργολικού Πεδίου και την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης των υδροφόρων οριζόντων.

Την ευθύνη για τη διαμόρφωση και την εφαρμογή των απαραίτητων ειδικών ερευνητικών προγραμμάτων για την ορθολογική χρησιμοποίηση και προστασία των υδατικών και εδαφικών πόρων καθώς και για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών ανέλαβε η ΥΕΒ του ΥΠ.ΓΕ (και ειδικότερα το 5ο Τμήμα της 1ης Διεύθυνσης). Το σχετικό πρόγραμμα καταρτίστηκε τα έτη 1962-63 οπότε και άρχισε άμεσα η εφαρμογή του. Οι βασικές κατευθύνσεις του προγράμματος αυτού περιγράφονται σε σχετική έκθεση των Στασινόπουλου και Πουλοβασίλη (1965) στην οποία αναφέρεται και η πρόοδος των τότε ερευνητικών εργασιών.

Το πρόγραμμα αυτό μεταξύ των άλλων περιελάμβανε την εκτέλεση 60 ερευνητικών γεωτρήσεων (Πουλοβασίλης, 1963) με σκοπό τη λεπτομερή στρωματογραφική έρευνα των αλλουβιακών αποθέσεων, τον καθορισμό περιοχών τροφοδοσίας των υδροφόρων σχηματισμών, και των υδραυλικών τους ιδιοτήτων (S, Sy, T, K). Η εκτέλεση των παραπάνω γεωτρήσεων έγινε υπό την επίβλεψη των γεωλόγων κκ. Γαλέου, Θάνου και Ζέρβα (ΥΠ.ΓΕ 1966) οι οποίοι ασχολήθηκαν επιμελώς με την συλλογή, αναγνώριση και αξιολόγηση των λιθολογικών δειγμάτων και τη σύνταξη των σχετικών στρωματογραφικών τομών των παραπάνω γεωτρήσεων.

Από τις 59 γεωτρήσεις που τελικά έγιναν (Οκτώβριος 1962 - Μάιος 1964) πάρθηκαν 938 δείγματα τα οποία εξετάστηκαν μακροσκοπικά και εν μέρει μικροσκοπικά. Για την ακριβέστερη διάγνωση της λιθολογικής τους σύστασης και την διάκριση ανάμεσα σε ασβεστόλιθο - μαργαϊκό ασβεστόλιθο - μάργα - μαργαϊκή άργιλο πραγματοποιήθηκαν ασβεστομετρήσεις σε όλα τα δείγματα. Η μικροπαλαιοντολογική εξέταση των απολιθωμάτων κατέστη αδύνατη με αποτέλεσμα να γίνουν μόνο μακροσκοπικές παρατηρήσεις με σκοπό το καθορισμό χερσαίων, θαλάσσιων ή και λιμναίων φάσεων καθώς και τη συσχέτιση των τομών των γεωτρήσεων. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών έγινε τελικά από το γεωλόγο κ. Γαλέο (1967) ο οποίος συντάξε μια σειρά λεπτομερών στρωματογραφικών τομών. Μερικές από αυτές τις τομές παρουσιάζονται απλοποιημένες στο Σχήμα 2.5. Οι παραπάνω γεωτρήσεις έφταναν σε βάθος 60-70 m περίπου και σε σύγκριση με τα σημερινά

δεδομένα εκμετάλλευσης των υδροφόρων σχηματισμών μπορούν να χαρακτηριστούν στην πλειοψηφία τους ως αβαθείς με εξαίρεση τη 5<sup>η</sup> ερευνητική, βάθους 300 m, στη μέση περίπου της παραλιακής ζώνης (βλ. Σχήμα 2.1) και αυτή στην πλατεία του οικισμού Ανυφί, βάθους 617 m (Α.Μ. 3438). Οι παραπάνω γεωτρήσεις συγκεντρώνονταν κυρίως στην παραλιακή και στην κεντρική ζώνη της Αργολικής πεδιάδας. Συνεπώς προκύπτει ότι η τότε στρωματογραφική έρευνα ήταν μεν λεπτομερής αλλά περιοριζόταν κυρίως στην παραλιακή και κεντρική ζώνη και σε βάθος μέχρι 60-70 μέτρα (βλ. Σχήμα 2.5).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιχειρήθηκε επέκταση της παραπάνω έρευνας σε βάθος αλλά και σε έκταση με σκοπό την αποτύπωση της όλης λιθοστρωματογραφικής εικόνας όχι μόνο στην παραλιακή και στην κεντρική περιοχή του Αργολικού Πεδίου η οποία είχε άμεση σχέση με το πρόβλημα της υφαλμύρωσης αλλά και στα περιθώριά του η δομή των οποίων ελέγχει τους μηχανισμούς πλευρικής και κατακόρυφης τροφοδοσίας των υδροφόρων σχηματισμών.

Στην Αργολική πεδιάδα παρ' ότι έχουν γίνει περισσότερες από 15.000 γεωτρήσεις ελάχιστες από αυτές διαθέτουν γεωλογικές τομές. Τομές υπάρχουν για τις 59 ερευνητικές γεωτρήσεις της περιόδου 1962-64 και για 70 περίπου παραγωγικές υδρογεωτρήσεις που έγιναν στο παρελθόν από την ΥΕΒ (Σχ. 2.5). Οι πρώτες ερευνητικές γεωτρήσεις έδωσαν λεπτομερή στοιχεία γιατί έγιναν με λήψη πυρήνα σε όλο τους το μήκος ή με κρουστικά γεωτρήματα ενώ στις μετέπειτα υδρογεωτρήσεις καταγράφηκαν, από την ΥΕΒ του ΥΠ.ΓΕ, στοιχεία σε ότι αφορά στη θέση των υδροφόρων σχηματισμών που διατρήθηκαν, στο πάχος τους και περιγραφικά στοιχεία για τους στρωματογραφικούς ορίζοντες που απαντήθηκαν όχι όμως τόσο ακριβή όσο αυτά των ερευνητικών γεωτρήσεων. Η αξιολόγηση όλων αυτών των τομών των γεωτρήσεων μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη γεωμετρία αλλά και για το είδος των υδροφόρων σχηματισμών.

Οι θέσεις των 59 ερευνητικών γεωτρήσεων ή "Δεσμών" (βλ. Σχήμα 2.5) ήταν γνωστές με ακρίβεια, ενώ αντίθετα στις τομές των υδρογεωτρήσεων της ΥΕΒ μόνο περιγραφικά στοιχεία για τον ιδιοκτήτη καθώς και τοπωνύμια αναφέρονταν. Έτσι, στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, εντοπίστηκαν στο πεδίο και χαρτογραφήθηκαν όλες οι υδρογεωτρήσεις της ΥΕΒ που διέθεταν γεωλογικές τομές. Η όλη στρωματογραφική εικόνα συμπληρώθηκε ακόμη με τομές 10 ερευνητικών γεωτρήσεων που έγιναν στα πλαίσια πρόσφατου ερευνητικού προγράμματος (βλ. Πουλοβασίλης κ.α 1996) καθώς και με δέκα τομές γεωτρήσεων εμπλουτισμού που εκτελέστηκαν το 1994 κατά μήκος της διώρυγας Κιβερίου (βλ. Σχήμα 2.5). Επίσης αξιολογήθηκαν πληροφορίες γεωτρυπανιστών που αφορούσαν σε 55 γεωτρήσεις που έγιναν σε διάφορα σημεία της πεδιάδας. Έτσι η όλη στρωματογραφική εικόνα που περιγράφεται στη συνέχεια βασίστηκε σε 150 γεωλογικές τομές γεωτρήσεων και σε 55 περιγραφές τομών διαφόρων γεωτρυπανιστών. Οι ακριβείς θέσεις όλων των γεωτρήσεων αυτών όπως προέκυψαν από την απογραφή τους που έγινε στα πλαίσια



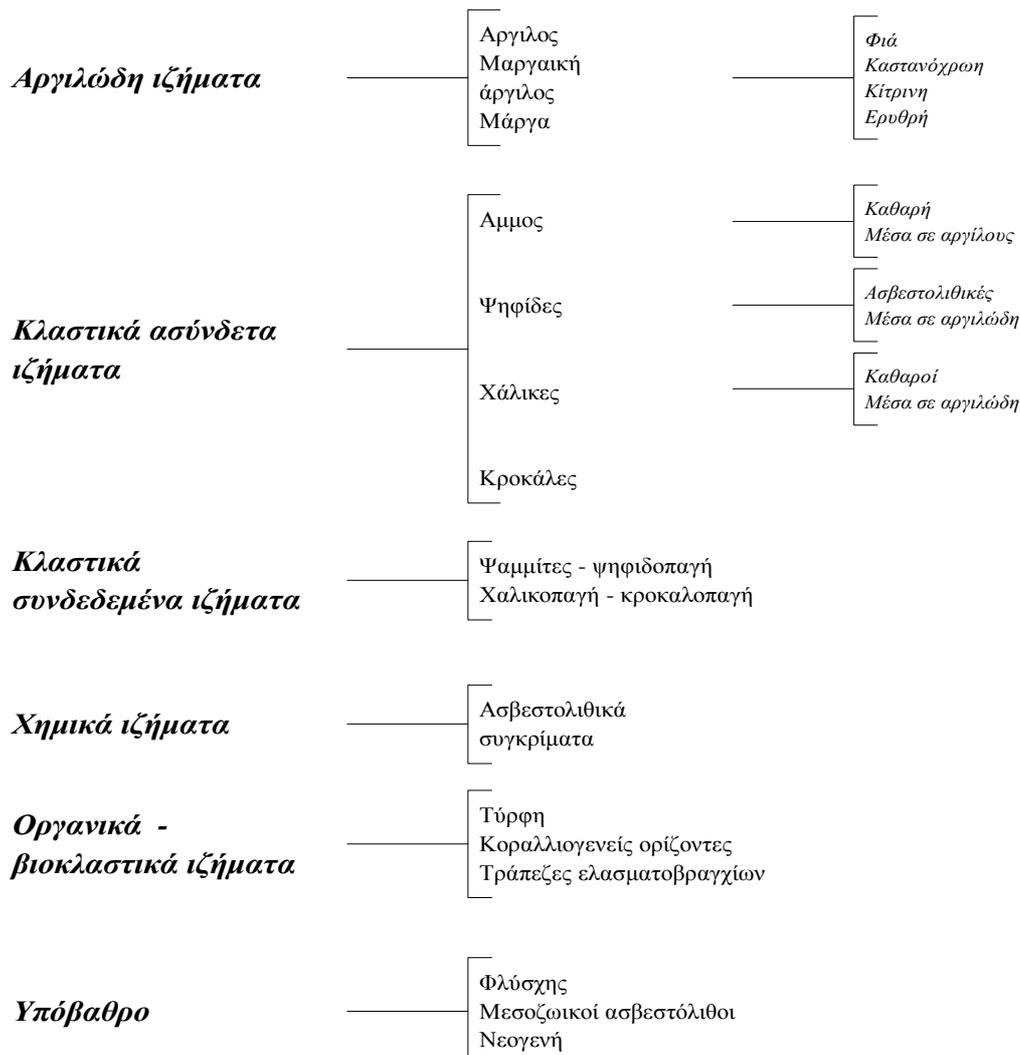
ενότητες. Οι ενότητες αυτές καθώς και τα επί μέρους χαρακτηριστικά τους αναλύονται στο Σχήμα 2.6. Ορισμένες από τις γεωτρήσεις συνάντησαν το υπόβαθρο της Αργολικής λεκάνης αποτελούμενο από φλύσχη, Μεσοζωικό ασβεστόλιθο ή και Νεογενή κροκαλοπαγή. Τα τελευταία δεν ήταν δυνατό να διαχωριστούν από τα υπερκείμενα Τεταρτογενή λόγω έλλειψης μικροπαλαιοντολογικής έρευνας. Την πρώτη θέση σε αφθονία<sup>1</sup> καταλαμβάνουν τα αργιλώδη ιζήματα, και ακολουθούν τα κλαστικά ασύνδετα ιζήματα με σημαντική εξάπλωση, τα κλαστικά συνδεδεμένα ιζήματα με σχετικά μικρότερη εξάπλωση, τα χημικά ιζήματα και τέλος τα οργανικά - βιοκλαστικά ιζήματα τα οποία παρουσιάζουν περιορισμένη εξάπλωση στο Αργολικό πεδίο αλλά αποτελούν αντιπροσωπευτικές στρωματογραφικές φάσεις.

Στα αργιλώδη ιζήματα επικρατέστερη είναι η καστανόχρη μαργαϊκή άργιλος και ακολουθεί η ερυθρή άργιλος. Η φαιά μάργα επικρατεί κυρίως σε γεωτρήσεις που έγιναν κοντά στην παραλία και ακολουθούν σε σειρά αφθονίας η καστανόχρη, η κίτρινη και τέλος η ερυθρή άργιλος. Το χρώμα των αργιλωδών ιζημάτων στην περιοχή είναι χαρακτηριστικό της φάσης τους. Το καστανό και το ερυθρό χρώμα προσδιορίζει γενικά χερσαίας φάσης ιζήματα. Τέτοιου είδους αργιλώδη ιζήματα απαντούν περισσότερο προς το εσωτερικό της πεδιάδας με ανάλογη αύξηση των αδρομερών υλικών όπως τα χαλίκια, οι κροκάλες και τα ασβεστολιθικά συγκρίματα. Το φαιό χρώμα απαντά κυρίως στις νότιες ερευνητικές γεωτρήσεις που γειτονεύουν στην ακτή, συνοδεύεται από θαλάσσια πανίδα, άμμο και σπάνια από κλαστικά υλικά.

Τα κλαστικά ασύνδετα ιζήματα παρουσιάζουν σημαντική εξάπλωση και αποτελούνται από άμμο, χαλίκια, ψηφίδες και κροκάλες. Απαντούν είτε σε καθαρή μορφή είτε αναμειγμένα με πάσης φύσεως αργιλικά υλικά ενώ στην πρώτη περίπτωση αποτελούν τα κατ' εξοχήν υδροφόρα στρώματα. Η καθαρή άμμος είναι εξ' ολοκλήρου πυριτική, αφθονεί περισσότερο στις πρώτες ερευνητικές γεωτρήσεις (Νότια) και είναι ισχυρό υδροφόρο στρώμα. Τη μεγαλύτερη εξάπλωση σε αυτή την κατηγορία των ιζημάτων παρουσιάζουν οι χάλικες που αποτελούν ισχυρά υδροφόρα στρώματα. Σημαντική εξάπλωση καταλαμβάνουν επίσης και οι ασβεστολιθικές ψηφίδες. Οι χάλικες και οι ψηφίδες είναι σχεδόν πάντοτε αποστρογγυλομένες και έχουν ανθρακική σύσταση. Μικρότερη εξάπλωση από τα χαλίκια παρουσιάζουν οι κροκάλες οι οποίες απαντούν σχεδόν πάντα χωρίς προσμίξεις και αποτελούν άριστα υδροφόρα στρώματα. Τα κλαστικά υλικά είναι σχεδόν εξ' ολοκλήρου αποστρογγυλομένα γεγονός που μπορεί να αποδοθεί εκτός από την παρουσία των χειμάρρων και στην παρουσία των Πλειοκαινικών κροκαλοπαγών που αναπτύσσονται στις Β και ΒΔ παρυφές της πεδιάδας από την καταστροφή των οποίων είναι πιθανό να προέρχονται.

---

<sup>1</sup> Οι όροι "αφθονία" και "σειρά αφθονίας", χρησιμοποιήθηκαν από το Γαλέο (1967) και προέκυψαν από μετρήσεις και στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων που πάρθηκαν από τις διάφορες ερευνητικές γεωτρήσεις (Δέσμες).



**Σχήμα 2.6** Λιθολογικές ενότητες των Τεταρτογενών ιζημάτων του Αργολικού πεδίου<sup>1</sup> (Γιαννουλόπουλος Π., 2000, Σχήμα 2.2).

Στα κλαστικά συνδεδεμένα ιζήματα εντάσσονται οι ψαμμίτες, τα ψηφιδοπαγή τα χαλικοπαγή, τα κροκαλοπαγή. Αποτελούν και αυτά υδροφόρα στρώματα αλλά όχι τόσο ισχυρά όσο τα προηγούμενα υλικά τα οποία βρίσκονται σε καθαρή μορφή. Καταλαμβάνουν σημαντική έκταση στο Αργολικό πεδίο ενώ η υδροφορία τους εξαρτάται από το είδος του συνδετικού υλικού. Οι κώνοι κορημάτων, αποτελούν μια ξεχωριστή κατηγορία κλαστικών ιζημάτων και αναπτύσσονται σε μεγάλη έκταση στις ανατολικές και δυτικές παρυφές της πεδιάδας. Δομούνται από αδρομερή κλαστικά υλικά και αναπτύσσονται στα σημεία όπου οι χείμαρροι εισέρχονται στην πεδιάδα, όπου ελαττώνεται η ταχύτητα ροής των υδάτων τους και αποθέτουν το μεγαλύτερο φορτίο των αδρομερών κυρίως ιζημάτων.

<sup>1</sup> Οι λιθολογικές αυτές ενότητες αφορούν μόνο στα Τεταρτογενή ιζήματα και η σειρά παρουσίασης δεν έχει στρωματογραφική έννοια.

Τα χημικά ιζήματα αντιπροσωπεύονται από τα ασβεστολιθικά συγκρίματα. Είναι αρκετά διαδεδομένα και απαντούν σε ποικίλες μορφές, άλλοτε ως συγκεχυμένα συγκρίματα εντός αργιλωδών ιζημάτων δίνοντας μια θρομβώδη υφή στη μάργα, άλλοτε σε μορφή ευδιάκριτων μικρών συγκριμάτων μεγέθους 2-10 mm, και άλλοτε σε μορφή συμφυρμάτων, με απολιθώματα, μεγέθους έως 5 cm τα οποία δεν είναι πάντα ασβεστολιθικά αλλά και ψαμμιτικά. Τέλος απαντούν υπό μορφή ενιαίου στρώματος πωρόλιθου. Τη μεγαλύτερη εξάπλωση εμφανίζουν τα ασβεστολιθικά συγκρίματα σε καθαρή μορφή και στη συνέχεια ακολουθεί ο πωρόλιθος ο οποίος σχηματίζει στρώματα σημαντικής έκτασης. Δεν παρατηρήθηκαν ασβεστολιθικά συγκρίματα μέσα σε φαιά αργιλώδη πετρώματα.

Τα οργανικά - βιοκλαστικά ιζήματα περιλαμβάνουν την τύρφη, τους κοραλλιογενείς ορίζοντες και τις τράπεζες ελασματοβραγχίων. Αυτά παρ' ότι παρουσιάζουν περιορισμένη ανάπτυξη στο Αργολικό πεδίο, αποτελούν αντιπροσωπευτικές φάσεις. Η τύρφη παρουσιάζει σημαντική εξάπλωση σε βάθη από την επιφάνεια μέχρι 60 m σε εναλλαγές με αργιλώδη ιζήματα. Αναπτύσσεται κυρίως στην περιοχή με κέντρο βάρους τη βαλτώδη περιοχή της Ν. Κίου και δεν είναι εκμεταλλεύσιμη. Οι κοραλλιογενείς ορίζοντες απαντούν σε μεμονωμένες γεωτρήσεις κοντά στην παραλία, σε βάθη που κυμαίνονται από 22 μέχρι 45 m περίπου. Οι τράπεζες ελασματοβραγχίων παρουσιάζουν περιορισμένη ανάπτυξη και αποτελούνται από ευμεγέθη κελύφη *Ostrea* συνδεδεμένα με μαργαϊκό συνδετικό υλικό και άμμο.

Το υπόβαθρο της Αργολικής πεδιάδας αποτελείται στην πλειοψηφία του από φλύσχη, τοπικά από μεσοζωικό ασβεστόλιθο και πιθανώς Νεογενή κροκαλοπαγή. Η παρουσία και δομή του υπόβαθρου θα αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενη παράγραφο.

### **2.2.3 Περίληψη - συμπεράσματα**

Στο παρόν κεφάλαιο συγκεντρώθηκαν και υπέστησαν επεξεργασία όλα τα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούν στα λιθοστρωματογραφικά χαρακτηριστικά των μεταλλικών αποθέσεων του Αργολικού πεδίου που συνδέονται με την υδρογεωλογική συμπεριφορά τους.

Οι σχετικές έρευνες που έγιναν στο παρελθόν, στις αρχές της δεκαετίας του 1960, περιλαμβάνουν την εκτέλεση 59 ερευνητικών γεωτρήσεων βάθους 60-70 μέτρων καθώς και τη σύνταξη γεωλογικών τομών σε διάφορες παραγωγικές υδρογεωτρήσεις που γίνονταν κατά καιρούς από την ΥΕΒ του Υπουργείου Γεωργίας. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις ερευνητικές γεωτρήσεις υπέστησαν λεπτομερή επεξεργασία από το Γαλέο (1967) ο οποίος συνέταξε και πληθώρα γεωλογικών τομών.

Επειδή η εκμετάλλευση των υδροφόρων σχηματισμών επεκτάθηκε σε βάθη μεγαλύτερα από 70 μέτρα, καθώς και προς τις παρυφές της πεδιάδας, τα παραπάνω στοιχεία κρίθηκαν ανεπαρκή και για το λόγο αυτό η παρούσα λιθοστρωματογραφική

έρευνά επεκτάθηκε τόσο σε βάθος όσο και σε έκταση ενώ συμπληρώθηκε και με νέα στοιχεία:

Συγκεντρώθηκαν όλες οι γεωλογικές τομές των παραγωγικών υδρογεωτρήσεων της ΥΕΒ καθώς και οποιεσδήποτε άλλες διαθέσιμες γεωλογικές τομές γεωτρήσεων. Επειδή οι θέσεις των γεωτρήσεων της ΥΕΒ ήταν ασαφείς (περιγράφονταν μόνο με τοπωνυμία) έγινε επιτόπου έρευνα όπου αυτές εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν. Τα λιθοστρωματογραφικά αυτά δεδομένα συμπληρώθηκαν με γεωλογικές τομές γεωτρήσεων που προέκυψαν από γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στα πλαίσια σχετικού ερευνητικού προγράμματος του ΓΠΑ καθώς και με τομές γεωτρήσεων που έγιναν από άλλους φορείς για τεχνητό εμπλουτισμό. Επίσης αξιολογήθηκαν πληροφορίες που προέκυψαν από συνεντεύξεις με γεωτρυπανιστές της περιοχής. Η έρευνα βασίστηκε συνολικά σε 150 περίπου γεωλογικές τομές γεωτρήσεων καθώς και σε 55 συνεντεύξεις γεωτρυπανιστών (βλ. Σχ. 2.5).

Με βάση τα παραπάνω συντάχθηκαν 13 νέες λιθοστρωματογραφικές τομές των Τεταρτογενών αποθέσεων του Αργολικού πεδίου οι οποίες σχεδιάστηκαν αρχικά σε οριζόντια κλίμακα 1:5000 και κατακόρυφη 1:250. Οι τομές αυτές επεκτάθηκαν σε βάθος μέχρι το υπόβαθρο των υδροφόρων σχηματισμών (-120m) ενώ οριζόντια μέχρι τις παρυφές του Αργολικού πεδίου.

Η παραπάνω έρευνα επικεντρώθηκε επίσης στην αναζήτηση της οροφής και του υπόβαθρου της αλληλουχίας των υδροφόρων σχηματισμών, καθώς και των επιμέρους δομικών τους χαρακτηριστικών.

Σε ότι αφορά στο υπόβαθρο, η σχετική έρευνα έδειξε ότι αυτό δομείται, στα ανατολικά και νοτιοδυτικά τμήματα της πεδιάδας κυρίως από φλύσχη, ενώ στα υπόλοιπα από εκτεταμένα αργιλικά και αργιλώδη στρώματα (βλ. Σχ. 2.10, 2.11). Κατά θέσεις απαντούν μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι ενώ σημαντική φαίνεται να είναι η παρουσία των Νεογενών κροκαλοπαγών. Τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά του υπόβαθρου όπως προέκυψαν από την επεξεργασία και σύνθεση όλων των διαθέσιμων στοιχείων αποτυπώνονται στο Σχήμα 2.9. Η οροφή της αλληλουχίας των υδροφόρων σχηματισμών αποτελείται από ένα εκτεταμένο αργιλικό κάλυμμα που εκτείνεται, στο κεντρικό και νότιο τμήμα της πεδιάδας, από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθος 10-20 μέτρα. Τα όρια του καλύμματος αυτού καθώς και τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στο Σχήμα 2.12.

Τα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία που προέκυψαν από την παρούσα λιθοστρωματογραφική έρευνα αποτελούν βασική συνιστώσα του *εγνοιολογικού μοντέλου* της περιοχής και πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια στην ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων ροής και μεταφοράς διαλυτών ουσιών στα υπόγεια νερά.

## 2.3 ΕΔΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### 2.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Σύμφωνα με εδαφολογική μελέτη που εκπονήθηκε από την ΥΕΒ τον Ιούλιο του 1963 (Πουλοβασίλης, 1963) τα εδάφη του Αργολικού πεδίου που αναπτύσσονται κάτω από την ισοϋψή καμπύλη των 200m διακρίνονται με εδαφολογικά κριτήρια σε αυτόχθονα, αλλουβιακά και κολλουβιακά.

Αυτόχθονα εδάφη. Στις πλαγιές των ασβεστολιθικών όγκων λόγω αποσάθρωσης αναπτύχθηκαν εδάφη που καταλαμβάνουν σημαντικές εκτάσεις στο ΒΔ και Α τμήμα του Αργολικού πεδίου.

Αλλουβιακά εδάφη. Αναπτύχθηκαν πάνω στις αποθέσεις των χειμάρρων που διαρρέουν την πεδιάδα. Οι αποθέσεις αυτές κοντά στις εισβολές των χειμάρρων στην πεδιάδα παρουσιάζονται αδρομερείς, συνίστανται κυρίως από κροκάλες, χαλίκια και άμμους και γίνονται πιο λεπτόκοκκες στο κέντρο της πεδιάδας.

Κολλουβιακά εδάφη. Έχουν έντονο ερυθρό χρώμα, περιέχουν σημαντικό ποσοστό λατυπών από ασβεστόλιθους καθώς και αργίλους ενώ συμπαγής ασβεστόλιθος συναντάται σε μικρό βάθος. Είναι προϊόντα της δράσης, των κατερχόμενων από τα όρη, μικρών χειμάρρων ενώ καταλαμβάνουν μικρή σχετικά έκταση στο δυτικό τμήμα.

Τα εδάφη του Αργολικού πεδίου με βάση τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους, τις ιδιότητες που έχουν σε σχέση με τη γεωργική δραστηριότητα και τα εδαφογενετικά τους χαρακτηριστικά διακρίθηκαν σε 7 εδαφοσειρές.

Η 1<sup>η</sup> εδαφοσειρά, καταλαμβάνει έκταση 42.850 στρ. και τα εδάφη της αναπτύσσονται στις πλαγιές των ασβεστολιθικών όγκων που πλαισιώνουν το Αργολικό πεδίο. Τα εδάφη αυτά είναι αυτόχθονα, παρουσιάζονται κονιορτώδη και με βάση την περιεκτικότητά τους σε  $\text{CaCO}_3$  χαρακτηρίζονται ως μάργες η ασβεστώδη. Προήλθαν από την αποσάθρωση του επιφανειακού ασβεστολιθικού στρώματος και έχουν μικρό βάθος.

Η 2<sup>η</sup> εδαφοσειρά, καταλαμβάνει έκταση 34.500 στρ. και τα εδάφη της αναπτύχθηκαν πάνω στις αδρομερείς αποθέσεις των χειμάρρων. Το πάχος του επιφανειακού στρώματος είναι 30-50cm και περιέχει ποσοστό χαλίκων 20-30%. Τα εδάφη αυτά είναι συνήθως μέσης σύστασης, πηλώδη (L), αλλά η παρουσία των χαλικιών επιδρά στις φυσικές τους ιδιότητες.

Η 3<sup>η</sup> εδαφοσειρά καταλαμβάνει έκταση 30.850 στρ. Περιλαμβάνει εδάφη που μπορούν να χαρακτηριστούν ως κολλουβιακά, με υψηλό ποσοστό ασβεστολιθικών θραυσμάτων μικρού μεγέθους. Η περιεκτικότητά τους σε άργιλο είναι συνήθως

υψηλή, το χρώμα τους έντονο ερυθρό και η κατανομή τους εμφανίζει μεγάλες διαφορές από τόπο σε τόπο. Σε μερικές περιοχές ο συμπαγής ασβεστόλιθος εμφανίζεται σε μικρά βάθη.

Η 4<sup>η</sup> εδαφοσειρά, καταλαμβάνει έκταση 8.500 στρ., τα εδάφη της αναπτύσσονται πάνω στις αμμώδεις αποθέσεις των χειμάρρων και περιέχουν συνήθως χαλίκια. Το βάθος τους είναι μεγαλύτερο από 2m και δεν παρουσιάζουν στρωματογραφικές διαφοροποιήσεις. Είναι μέσης σύστασης, πηλώδη (L), αλλά η παρουσία των χαλικιών τους προσδίδει ιδιότητες ελαφρότερων εδαφών.

Η 5<sup>η</sup> εδαφοσειρά, καταλαμβάνει έκταση 25.600στρ. και τα εδάφη της παρουσιάζουν τρεις σαφώς διαχωρισμένες στρώσεις. Η πρώτη με βάθος που κυμαίνεται από 25-50cm στερείται σχεδόν παντελώς CaCO<sub>3</sub> και είναι αμμώδης πηλός (SL). Η δεύτερη βάρους 30-70cm περιέχει ικανό ποσοστό αργίλου ενώ περιέχει και αυτή πολύ μικρές ποσότητες CaCO<sub>3</sub>. Η τρίτη στρώση συναντάται σε βάθος 70-120cm και χαρακτηρίζεται ως μέσης μηχανικής σύστασης. Περιέχει CaCO<sub>3</sub> σε ποσοστό 10-20%. Θεωρούνται τα πιο εξελιγμένα εδάφη του Αργολικού πεδίου.

Η 6<sup>η</sup> εδαφοσειρά, καταλαμβάνει 65.500στρ. Τα εδάφη της χαρακτηρίζονται από το αργιλώδες υπέδαφός τους και η κατανομή τους παρουσιάζεται ελεύθερη αδρομερούς υλικού. Είναι βαθιά εδάφη και εμφανίζουν μεγάλη ποικιλομορφία ενώ διακρίνονται σε πέντε διαφορετικές ενότητες.

Η 7<sup>η</sup> εδαφοσειρά, καταλαμβάνει έκταση 65.625 στρ. Χαρακτηρίζεται από αργιλώδη εδάφη με απουσία αδρομερών υλικών. Παρά το γεγονός ότι τα εδάφη αυτά υπάγονται σε μια εδαφοσειρά, μέσα σε αυτή μπορούν να διακριθούν ομογενείς εδαφικές μονάδες οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερα γνωρίσματα. Έτσι κρίθηκε σκόπιμος ο διαχωρισμός των εδαφών της σε πέντε επιμέρους μονάδες.

Η παραπάνω εδαφολογική μελέτη (Πουλοβασίλης, 1963) συνοδεύτηκε από 44 περίπου εδαφοτομές (βλ. Σχήμα 2.12) όπου μετρήθηκαν διάφορα χαρακτηριστικά των εδαφών όπως η μηχανική σύσταση, η περιεκτικότητα νερού σε κορεσμό, το pH, το CaCO<sub>3</sub> και η οργανική ύλη καθώς και από χάρτες εδαφοσειρών, κλ. 1:50.000.

Το 1983, ολοκληρώθηκε μια δεύτερη λεπτομερής εδαφολογική μελέτη του Αργολικού πεδίου (Γιάσογλου κ.α 1983). Η μελέτη αυτή συνοδεύτηκε από πληθώρα εδαφοτομών και λεπτομερών αναλύσεων καθώς και από τέσσερις λεπτομερείς χάρτες (εδαφολογικό χάρτη, χάρτη καλλιεργητικών ομάδων, χάρτη ενδεδειγμένων καλλιεργειών και χάρτη αρδευσιμότητας, κλ. 1:25.000).

### **2.3.2 Ανάγλυφο - κλίσεις**

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του Αργολικού πεδίου μελετήθηκαν με τη βοήθεια νέων τεχνικών όπως τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Από τους

τοπογραφικούς χάρτες της περιοχής κλίμακας 1:5.000 ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς καμπύλες με υψηλή ακρίβεια. Η ακρίβεια της ψηφιοποίησης αναφέρεται στην ισοδιάσταση των ισοϋψών που χρησιμοποιήθηκε, που για το νότιο τμήμα ήταν 0,5m, στις υψηλότερες περιοχές ήταν 1–2m, ενώ στις λοφώδεις εξάρσεις που περιβάλλουν την πεδιάδα η ισοδιάσταση ήταν 20m. Με βάση τα στοιχεία αυτά κατασκευάστηκε το ψηφιακό χωρικό μοντέλο (DEM) και στη συνέχεια το σκιασμένο ανάγλυφο της περιοχής (Σχήμα 2.14) όπου σκιαγραφούνται όλα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του Αργολικού πεδίου και των ζωνών που το περιβάλλουν.

Από το ψηφιακό χωρικό μοντέλο προέκυψε επίσης ο χάρτης των εδαφικών κλίσεων (Σχήμα 2.15) από τον οποίο προκύπτει ότι η πεδινή περιοχή του ργολικού πεδίου παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλές μορφολογικές κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0-8%. Τα νότια τμήματα της πεδιάδας ιδιαίτερα, είναι σχεδόν επίπεδα αφού οι μορφολογικές τους κλίσεις είναι μικρότερες από 0,2%.

### 2.3.3 Εδαφικοί τύποι – φυσικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά τους

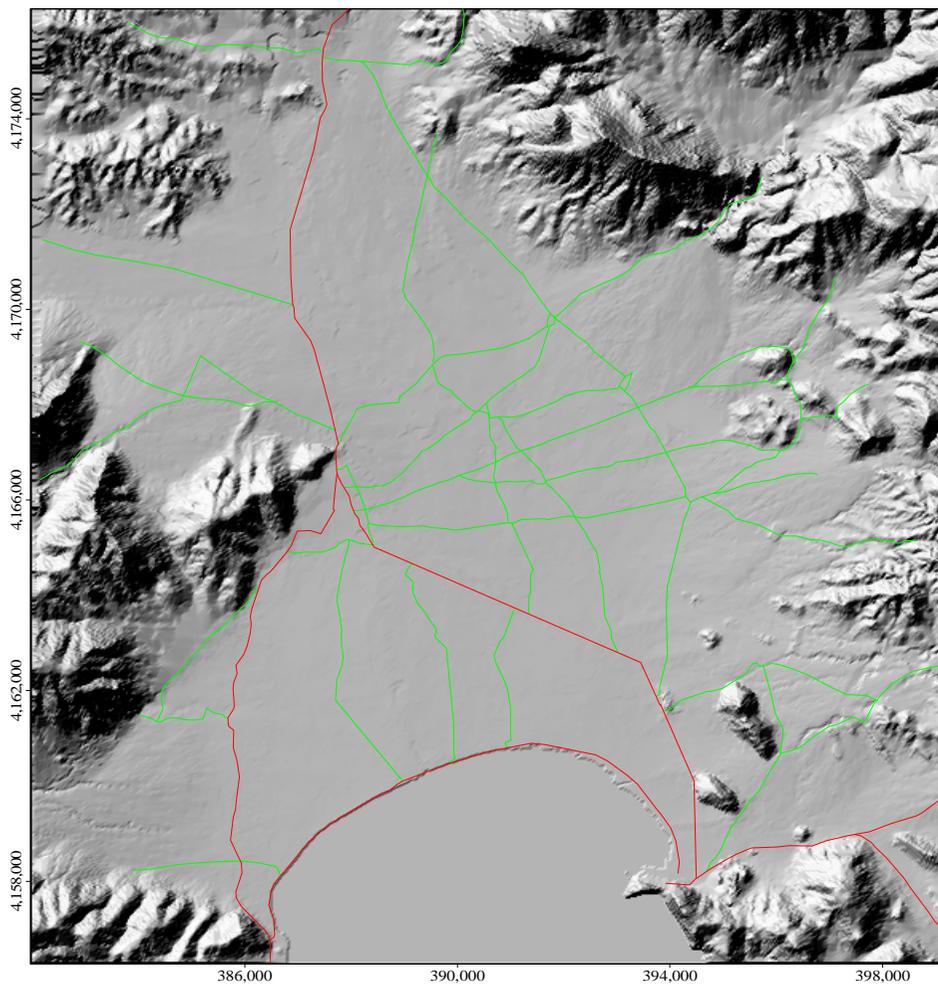
Στα πλαίσια εδαφολογικής αναγνωριστικής μελέτης (Πουλοβασίλης, 1963), τα εδάφη διακρίθηκαν στους ακόλουθους εδαφικούς τύπους:

α. Αργιλώδη εδάφη ( <i>C</i> )	85.575 στρ.
β. Αργιλοπηλώδη εδάφη ( <i>CL</i> )	63.025 στρ
γ. Πηλώδη ( <i>L</i> )	43.825 στρ
δ. Κονιορτώδη ( <i>SiL-SiCL</i> )	42.850 στρ
ε. Αμμοπηλώδη ( <i>SL</i> )	57.550 στρ

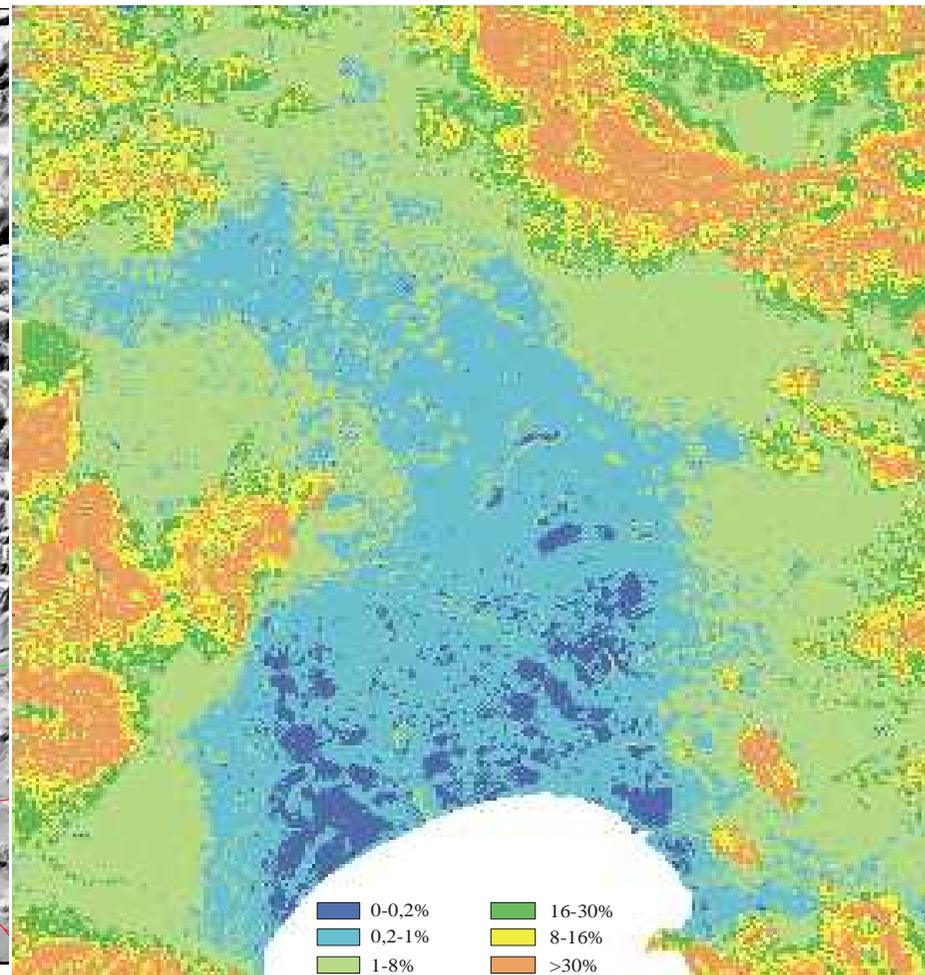
Από την κατανομή των εδαφών όπως αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.3 φαίνεται ότι το κεντρικό και νότιο τμήμα του Αργολικού πεδίου καλύπτεται από αργιλώδη εδάφη ενώ στις παρυφές του αναπτύσσονται πηλώδη και αμμοπηλώδη εδάφη. Επισημαίνεται ότι η κατανομή των αργιλωδών εδαφών στο κεντρικό και νότιο τμήμα της πεδιάδας συμπίπτει με την ανάπτυξη του αργιλικού καλύμματος όπως οριοθετήθηκε με βάση λιθοστρωματογραφικά στοιχεία (βλ. Σχήμα 2.8 και 2.12).

Η λεπτομερής εδαφολογική μελέτη του Αργολικού πεδίου (Γιάσογλου κ.α., 1983) κατέληξε με βάση τον αντίστοιχο λεπτομερή εδαφολογικό χάρτη σε καλλιεργητικές ομάδες που απαιτούν ανάλογη καλλιεργητική μεταχείριση και πρακτική (Σχήμα 2.17). Η περιοχή κοντά στο Ναύπλιο δεν είχε χαρτογραφηθεί και έτσι συμπληρώθηκε στα πλαίσια της παρούσας έρευνας με βάση τα στοιχεία της αναγνωριστικής εδαφολογικής μελέτης (Πουλοβασίλης, 1963) και επιτόπου παρατηρήσεις. Οι καλλιεργητικές αυτές ομάδες αντικατοπτρίζουν εδαφικούς τύπους και διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες: Ομάδα Α1Ε. Περιλαμβάνει εδάφη με μέση

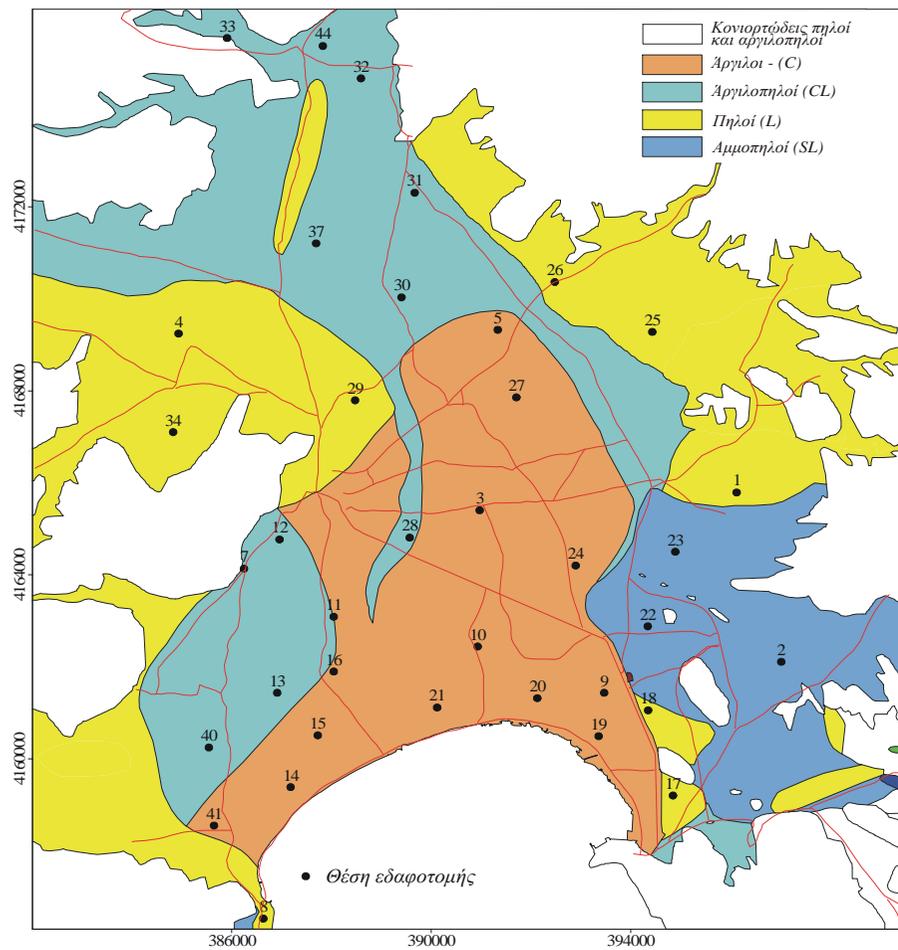
κοκκομετρική σύσταση, πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα. Χαρακτηρίζονται από εδαφοτομή που εμφανίζει συνθήκες πολύ καλής στράγγισης με μέση κοκκομετρική σύσταση πηλώδη (L) έως αργιλοπηλώδη (CL).



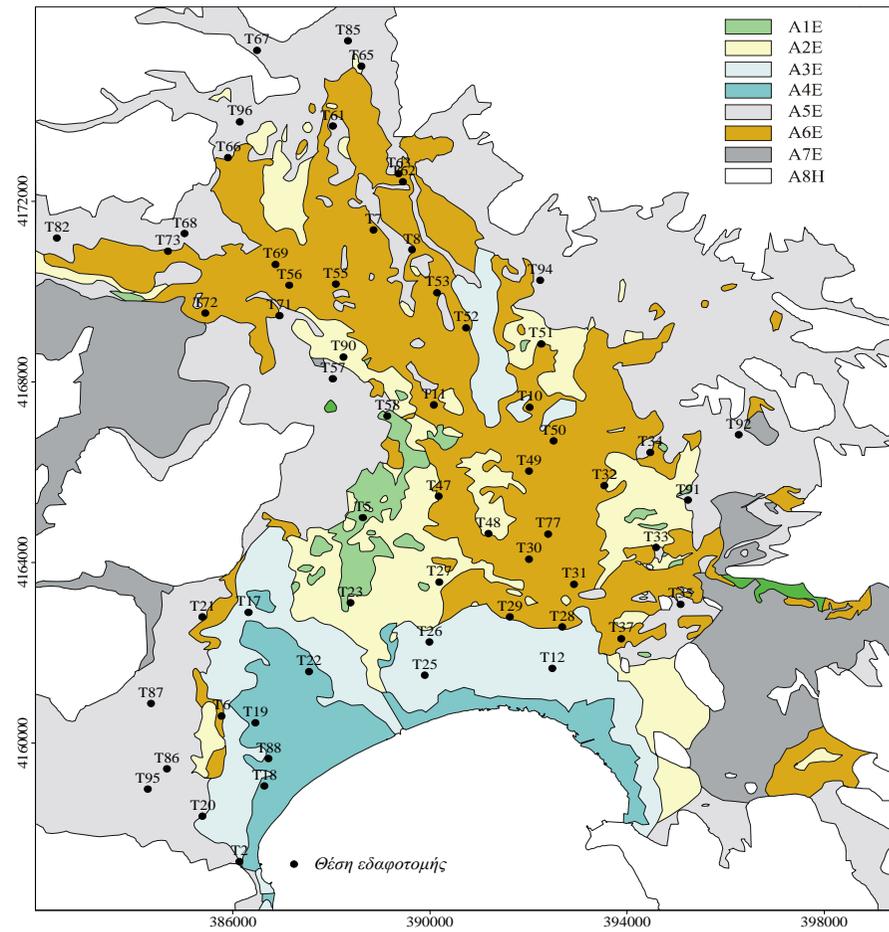
**Σχήμα 2.14** Σκιασμένο ανάγλυφο του Αργολικού πεδίου (Γιαννουλόπουλος Π., 2000, Σχήμα 3.1).



**Σχήμα 2.15** Χάρτης εδαφικών κλίσεων του Αργολικού πεδίου (Γιαννουλόπουλος Π., 2000, Σχήμα 3.2).



**Σχήμα 2.16** Χάρτης εδαφικών τύπων Αργολικού πεδίου (Πουλοβασίλης, 1963, Σχήμα 3.3).



**Σχήμα 2.17** Χάρτης καλλιεργητικών ομάδων Αργολικού πεδίου (Γιάσογλου κ.α.1983, με ελάχιστες συμπληρώσεις, Σχήμα 3.4)

Ομάδα A2E. Περιλαμβάνει μετρίως λεπτόκοκκα, πολύ καλά έως καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη. Χαρακτηρίζονται από εδαφοτομή που εμφανίζει συνθήκες πολύ καλής στράγγισης με μέση κοκκομετρική σύσταση αργιλοπηλώδη (CL) έως άμμο -αργιλοπηλώδη (SCL).

Ομάδα A3E. Περιλαμβάνει λεπτόκοκκα εδάφη, μετρίως ή ατελώς αποστραγγιζόμενα. Εντοπίζονται στα χαμηλότερα σημεία του αλλουβιακού πεδίου και ειδικότερα στην περιοχή της Νέας Κίου σε πεδία πλημμύρων. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται η στράγγισή τους.

Ομάδα A4E. Περιλαμβάνει λεπτόκοκκα εδάφη κακώς αποστραγγιζόμενα με μόνιμη στάθμη ύδατος σε μικρό βάθος. Χαρακτηρίζονται από εδαφοτομή με λεπτόκοκκη κοκκομετρική σύσταση, που εμφανίζει συνθήκες κακής στράγγισης, ορίζοντες gley, καθώς και μόνιμη στάθμη ύδατος σε βάθος 20-80cm. Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν έντονα τα χαρακτηριστικά αλατούχων αλκαλικών εδαφών

Ομάδα A5E. Περιλαμβάνει μετρίως λεπτόκοκκα και λεπτόκοκκα εδάφη πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα, με χαλίκια. Παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτά της ομάδας A2E με εξαίρεση τα χαλίκια.

Ομάδα A6E Περιλαμβάνει λεπτόκοκκα εδάφη πολύ καλώς έως καλώς αποστραγγιζόμενα με κοκκομετρική σύσταση αργιλοπηλώδη (CL) έως αργιλώδη (C)

Ομάδα A7A Περιλαμβάνει λεπτόκοκκα, πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα εδάφη που έχουν σχηματιστεί σε υψηλότερα σημεία σε αναβαθμούς. Η σύστασή τους κυμαίνεται από αργιλοπηλώδη (CL) έως αμμοαργιλοπηλώδη (SCL) στην επιφάνεια, μέχρι αμμοαργιλώδη (SL) έως αργιλώδη (C) στους κατώτερους ορίζοντες.

Ομάδα A8H Περιλαμβάνει τα ορεινά – λοφώδη εδάφη και έχουν αναπτυχθεί κυρίως πάνω σε ασβεστόλιθους, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και μάργες που δεν έχουν υποστεί διαγένεση.

Οι Γιάσογλου κ.α. (1983) παρουσιάζουν αρκετά λεπτομερή στοιχεία για κάθε εδαφοτομή σε ότι αφορά πολλά φυσικά, χημικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά των εδαφών. Με βάση τα στοιχεία αυτά, οι βασικότερες φυσικές και υδραυλικές ιδιότητες είναι οι παρακάτω:

Σε ότι αφορά στην υδραυλική αγωγιμότητα, με βάση μικρό σχετικά αριθμό μετρήσεων που έγιναν στο νότιο τμήμα της πεδιάδας, (Μύλοι - Ν. Κίος) προκύπτει ότι τα εδάφη του Αργολικού πεδίου χαρακτηρίζονται ως περατά έως πολύ περατά (βλ. Γιάσογλου κ.α, 1983). Η μέση τιμή των μετρήσεων ανέρχεται σε 21cm/h ενώ η τυπική τους απόκλιση σε 16 cm/h. Οι υψηλές τιμές αποδόθηκαν στους ευρείς πόρους που εκτείνονται σε μεγάλο βάθος της εδαφοτομής και έχουν δημιουργηθεί από ρίζες

και στελέχη υδροχαρών φυτών. Έτσι το νερό κινείται κυρίως μέσα σε αυτούς τους μακροπόρους και όχι μέσα στη μάζα του εδάφους.

Η Ταχύτητα διήθησης ύδατος μετρήθηκε σε δύο διαφορετικές φάσεις διήθησης, ως αρχική και τελική ταχύτητα διήθησης. Η αρχική ταχύτητα διήθησης (ΑΤΔ) αναφέρεται στο χρονικό διάστημα των 5min από την αρχή του πειράματος και κατά συνέπεια αντανακλά την κατάσταση που βρίσκονται οι επιφανειακοί ορίζοντες παρά οι βαθύτεροι. Η τελική ταχύτητα διήθησης αναφέρεται στο τέλος της 4<sup>ης</sup> –5<sup>ης</sup> ώρας από την αρχή του πειράματος όπου το έδαφος είναι σε κατάσταση κορεσμού και η ταχύτητα διήθησης ελαχιστοποιείται σε μια σταθερή τιμή που καλείται "βαθμός βασικής ή τελικής διήθησης" (ΤΤΔ). Για παράδειγμα, στα εδάφη της κατηγορίας Α4Ε η ΤΤΔ με βάση περιορισμένο αριθμό μετρήσεων βρέθηκε ότι είναι πολύ υψηλή. Τα εδάφη αυτά τονίζεται ότι έχουν ευρείς και μεγάλους σχετικά κατακόρυφους πόρους που προέρχονται από τη σήψη υπόγειων τμημάτων φυτών και δίνουν μεγάλες τιμές υδροπερατότητας και διηθητικότητας παρόλο ότι τα εδάφη αυτά είναι λεπτόκοκκα. Οι τιμές της ταχύτητας διήθησης ύδατος ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με την καλλιεργητική ομάδα στις κατηγορίες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Καλλιεργητική ομάδα	Αριθμός μετρήσεων	ΑΤΔ (cm/h)		ΤΤΔ(cm/h)	
		$\bar{x}$	$S_x$	$\bar{x}$	$S_x$
A1E	11	20,8	15,6	3,9	3,6
A2E	15	14,5	9,8	2,8	2,9
A3E	5	19,2	8,0	1,5	1,5
A4E	3	43,8	34,1	16,7	17,8
A6E	16	19,3	14,0	1,9	1,6

Όπου  $\bar{x}$  = μέσος όρος,  $S_x$  = τυπική απόκλιση

**Πίνακας 2.1** Ταχύτητες διήθησης ύδατος των εδαφών διάφορων καλλιεργητικών ομάδων (Γιαννουλόπουλος Π., 2000, Πίνακας 3.1).

Η ΑΤΔ εκτιμάται ότι λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές τη θερινή περίοδο όπου αναπτύσσονται οι σχισμές της αργίλου λόγω ξήρανσης που είναι σημαντικές στην περιοχή (Αναγνωστόπουλος και Γαλάνης, 1938) ενώ η ΤΤΔ, παρατηρήθηκε ότι μειώνεται σημαντικά με το βάθος.

Βάθος (cm)	A2E (n=6)		A3E(n=7)		A4E(n=3)		A5E(n=9)		A6E(n=9)		A7A(n=5)	
	$\bar{x}$	$S_x$										

0-25	1,12	0,25	1,13	0,09	1,01	0,15	1,24	0,25	1,17	0,25	1,44	0,27
25-50	1,50	0,13	1,50	0,07	1,31	0,12	1,48	0,17	1,46	0,09	1,47	0,25
50-100	1,47	0,12	1,51	0,16	1,20	0,03	1,44	0,20	1,41	0,13	1,42	0,19

Όπου  $\bar{x}$  = μέσος όρος,  $S_x$  = τυπική απόκλιση και n = αριθμός μετρήσεων

**Πίνακας 2.2** Φαινόμενα ειδικά βάρη των εδαφών διαφόρων καλλιεργητικών ομάδων (Γιαννουλόπουλος Π., 2000, Πίνακας 3.2).

Το φαινόμενο ειδικό βάρος, ταξινομήθηκε ανάλογα με τις καλλιεργητικές ομάδες. Είναι μια ιδιότητα που παρουσιάζει αρκετά μεγάλες διακυμάνσεις με το βάθος. Αντιπροσωπευτικές τιμές της δίνονται στον Πίνακα 2.2.

Εκτός από τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε κάθε εδαφοτομή οι Γιάσογλου κ.α (1983) μέτρησαν σε διάφορα βάθη ισοδύναμη υγρασία, σημείο μάρανσης και διαθέσιμο ύδωρ κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι πολύ χρήσιμα σε μερικές μεθόδους εκτίμησης του υδατικού ισοζυγίου των εδαφών και γενικότερα της κατείσδυσης.

#### 2.3.4 Περίληψη - συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο συγκεντρώθηκαν και υπέστησαν επεξεργασία όλα τα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούν στα εδαφικά χαρακτηριστικά του Αργολικού πεδίου.

Με τη βοήθεια γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ψηφιοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες του Αργολικού πεδίου και των ζωνών που το περιβάλλουν κλ. 1:5000 και στη συνέχεια συντάχτηκε το ψηφιακό χωρικό μοντέλο (DEM) από την επεξεργασία του οποίου προέκυψε το σκιασμένο ανάγλυφο (Σχήμα 3.1) και ο χάρτης κλίσεων (Σχήμα 2.15) όπου παρουσιάζονται με σαφήνεια τα βασικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

Σε ότι αφορά στα εδαφικά χαρακτηριστικά της περιοχής συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία από υφιστάμενες μελέτες (Πουλοβασίλης, 1963, Γιάσογλου κ.α 1983). Από τις μελέτες αυτές εξήχθησαν συμπεράσματα που αφορούν στην κατανομή των εδαφικών τύπων, καθώς και στοιχεία σχετικά με τις φυσικές και υδραυλικές τους ιδιότητες των διαφόρων εδαφικών τύπων (βλ. Σχ. 2.16, 2.17). Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου των εδαφών και των υδροφόρων σχηματισμών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ (TEM)**

### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Οι Ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές ταξινομούνται γενικά στις κατά συχνότητα (FD) και κατά χρόνο (TD) (Παροδικών πεδίων) και έχουν σαν κοινό στοιχείο το γεγονός ότι η πληροφορία για την ύπαρξη υπόγειων αγωγών εμπεριέχεται στο δευτερεύον Η/Μ πεδίο. Τα συστήματα FD είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να υφίσταται η μέγιστη δυνατή σύζευξη με το δευτερεύον και όχι με το πρωτεύον πεδίο, αλλά παρά ταύτα παρατηρείται ότι τα περισσότερα συστήματα εξακολουθούν να υπόκεινται σε επηρεασμό από το πρωτεύον πεδίο, που μπορεί να είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από την αναμενόμενη απόκριση του αγωγού. Κατά συνέπεια μικρά σφάλματα στον προσανατολισμό των πηνίων ή την απόσταση πομπού – δέκτη οδηγούν σε μεγάλα σφάλματα και υποβάθμιση της ακρίβειας της έρευνας. Οι τεχνικές TD ξεπερνούν το πρόβλημα αυτό μετρώντας το δευτερεύον πεδίο κατά την απουσία του πρωτεύοντος.

Η Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος διασκόπησης βασίζεται στο φαινόμενο της ΗΜ επαγωγής, κατά το οποίο μεταβαλλόμενο εξωτερικό (πρωτεύον) μαγνητικό πεδίο που εισέρχεται στο υπέδαφος έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού επαγωγικού ρεύματος και δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου.

### **3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΙΣ**

Οι ηλεκτρομαγνητικές βυθοσκοπήσεις χρησιμοποιούνται συστηματικά τα τελευταία χρόνια σε διάφορα πεδία της γεωεπιστημονικής έρευνας, εναλλακτικά ή συμπληρωματικά με τις ηλεκτρικές DC βυθοσκοπήσεις. Λαμβάνουν χώρα συνήθως με τη χρήση μεγάλου βρόχου εκπομπής και πηνίου – δέκτη (ή βρόχου) συνδεδεμένα με την κεντρική μονάδα του Η/Μ συστήματος (σχήμα 3.1). Ο βρόχος εκπομπής διαρρέεται από σταθερό ρεύμα και δημιουργεί πρωτογενές μαγνητικό πεδίο. Το ρεύμα διακόπτεται με ταχύ ρυθμό και ελεγχόμενο τρόπο που έχει τη μορφή ράμπας, διακόπτοντας το μαγνητικό πεδίο. Κατά τον Faraday επαγωγικά ρεύματα δημιουργούνται στο υπέδαφος, συντηρώντας το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο. Το σύστημα των επαγωγικών ρευμάτων κυκλοφορεί σε κλειστούς δρόμους κάτω από το βρόχο εκπομπής και φθίνοντας δημιουργεί με τη σειρά του δευτερεύον μαγνητικό πεδίο. Μεταβολές της τιμής του μαγνητικού πεδίου επάγουν δυναμικό στο πηνίο του δέκτη που βρίσκεται είτε στο κέντρο του βρόχου εκπομπής είτε είναι ο ίδιος βρόχος εκπομπής.

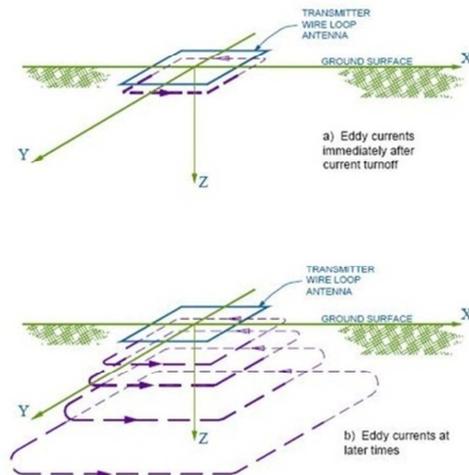
Η κατανομή και η ένταση των ρευμάτων του υπεδάφους εξαρτάται από την τιμή της ειδικής αντίστασης και σαν αποτέλεσμα οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού δίδουν πληροφορίες για την κατανομή και τιμή της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους.

Με την πάροδο του χρόνου, η θέση της μέγιστης τιμής της έντασης των επαγωγικών ρευμάτων διαχέεται προς το βάθος και προς τα έξω του βρόχου εκπομπής, με τη μορφή δακτυλίων ρεύματος (Nabighian 1979).

## Μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (Transient EM, TEM)

- Ηλεκτρομαγνητική Γεωφυσική Μέθοδος
- Ενεργή Γεωφυσική Μέθοδος (δηλ. με πηγή)

- Εφαρμογή μεθόδου:**
- Μεταλλευτική έρευνα
  - Γεωθερμικά πεδία
  - Περιβαλλοντικές έρευνες
  - Γεωτεχνικές έρευνες
  - **Εντοπισμός υδροφόρων**



**Σχήμα 3.1.** Στο σχήμα παρουσιάζεται τόσο η διάταξη των βρόγχων όσο και γενικά πληροφοριακά στοιχεία για τη μέθοδο και την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου.

Στην περίπτωση διαστρωματωμένου ημιχώρου, αρχικά τα επαγωγικά ρεύματα είναι συγκεντρωμένα κοντά στην επιφάνεια και το επαγόμενο δυναμικό, μένει σταθερό με το χρόνο και είναι ανάλογο της ειδικής αντίστασης του πρώτου επιφανειακού στρώματος. Αυτή είναι η λεγόμενη πρώιμη κατάσταση (early stage) και αντιστοιχεί στην κατάσταση αντιστατικού ορίου, που είναι γνωστή στο πεδίο συχνοτήτων σαν επαγωγική ζώνη (inductive zone) ή εγγύς ζώνη (near zone). Αυτή στα συστήματα πεδίου συχνοτήτων ορίζεται σαν η περιοχή όπου η απόσταση πομπού-δέκτη είναι κατά πολύ μικρότερη του επιδερμικού βάρους και ο επαγωγικός αριθμός είναι μικρός. Στην περιοχή αυτή η φανταστική συνιστώσα του δευτερεύοντος πεδίου είναι πολύ μεγαλύτερη της πραγματικής και εμφανίζει γραμμική εξάρτηση με τον επαγωγικό αριθμό. Χρήση αυτού του χαρακτηριστικού κάνουν τα φορητά H.M συστήματα που λειτουργούν στο πεδίο συχνοτήτων και τα οποία μετρούν την αγωγιμότητα του επιφανειακού στρώματος (Geonics EM 31), καθώς επίσης στους μεταλλικούς ανιχνευτές και είναι γνωστά σαν συστήματα μικρού επαγωγικού αριθμού (low induction number).

Με την πάροδο του χρόνου η θέση του μέγιστου της έντασης του ρεύματος διαχέεται προς το βάθος και το δυναμικό εμφανίζεται να είναι ανάλογο του  $t^{-5/2}$  και του  $\rho^{-3/2}$  όπου  $\rho$  η ειδική αντίσταση του βαθύτερου στρώματος. Αυτή είναι η λεγόμενη ύστερη κατάσταση (late stage).

Κατά τους πρώιμους χρόνους (early times), η TEM απόκριση ελέγχεται μόνον από την αγωγιμότητα του επιφανειακού στρώματος  $\sigma_1$ . Το δεύτερο στρώμα αρχίζει να έχει επίδραση που είναι δυνατό να παρατηρηθεί, σε χρόνο που ορίζεται από την εξίσωση

$$t \approx 10^{-7} \sigma_1 d^2 \quad \text{Spies (1980). (3.1)}$$

Έτσι ο μικρότερος χρόνος στον οποίο η επίδραση ενός σώματος, ή ενός αγωγίμου ορίζοντα σε βάθος  $d$ , είναι δυνατό να μετρηθεί, είναι συνάρτηση του βάθους και της αγωγιμότητας του υπεδάφους, του υπερκείμενου στο σώμα. Η δυνατότητα όμως να ανιχνευθεί ένα σώμα σε αυτό το βάθος εξαρτάται από πολλούς άλλους παράγοντες, που εξετάζονται παρακάτω.

### 3.2.1 Βάθος Διασκόπησης

Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ένταση μαγνητικής ροής, ρεύματος, από το χρόνο καθυστέρησης του τελευταίου καναλιού, αλλά και από τη φύση της γεωηλεκτρικής δομής που ερευνάται. Κατά τη διάχυση του ΗΜ πεδίου σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρείται εξασθένιση του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου με το χρόνο, που ακολουθεί μια συμπεριφορά φθίνουσα εκθετική με συντελεστή  $\left(-\frac{5}{2}\right)$  για την κατακόρυφη συνιστώσα και  $-3$  για την οριζόντια συνιστώσα.

Θεωρητικά η καμπύλη εξασθένισης του μαγνητικού πεδίου, (ή ισοδύναμα του δυναμικού που μετράται στο πηνίο του δέκτη), συμπεριλαμβάνει πληροφορίες για διάφορα βάθη και ως εκ τούτου, αυξανόμενου του χρόνου καθυστέρησης, αυξάνεται και το βάθος διασκόπησης. Αυξανόμενου όμως του χρόνου, το φθίνον σήμα φθάνει σε τόσο μικρές τιμές που υπερκαλύπτονται από το θόρυβο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αξιοπιστία των λαμβανομένων μετρήσεων και να μην αυξάνεται ανάλογα το βάθος διασκόπησης.

Οι Spies – Frischknecht (1992), προτείνουν τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο για τον υπολογισμό του βάθους διασκόπησης

$$d \approx 0.5 \left( \frac{IA}{\sigma_1 \eta_v} \right)^{1/5}$$

όπου  $I$  το ρεύμα εκπομπής,  $A$  το εμβαδόν του βρόχου,  $\sigma_1$  η αγωγιμότητα του υπερκείμενου στρώματος και  $\eta_v$  το μικρότερο δυνατό σήμα που είναι δυνατό να μετρηθεί πάνω από το επίπεδο θορύβου. Αναφέρουν τιμές για το  $\eta_v$  ίσες με  $0.5 \text{ nV/m}^2$  τιμή που είναι κατά τη γνώμη μας υπερβολικά χαμηλή.

Η τιμή αυτή συμφωνεί με τη τιμή της στάθμης θορύβου του κατασκευαστή του οργάνου, που είναι  $12 \text{ nV/m}^2$ . Αντίστοιχα ο αργότερος χρόνος που μπορεί να μετρηθεί το σήμα αυτό είναι :

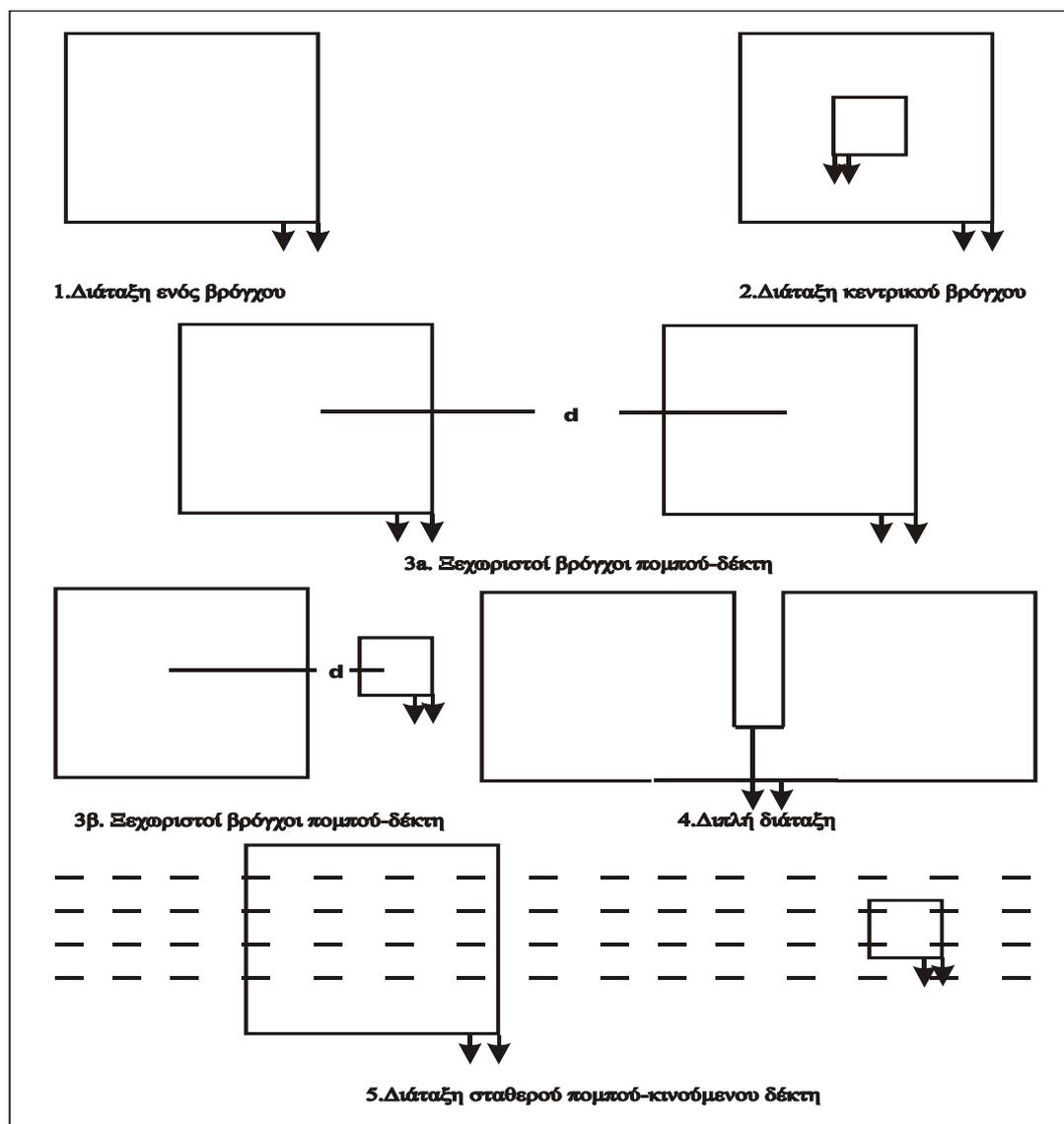
$$t_L \approx 1.9 \times 10^{-7} (IA)^{2/5} \sigma_v^{2/5} \text{ (Spies – Frischknecht 1992)} \quad (3.3)$$

Τονίζεται ότι οι τιμές βαθών είναι προσεγγιστικές και μόνο η επίλυση του ευθέως προβλήματος για το συγκεκριμένο πρόβλημα δίδει τη δυνατότητα ρεαλιστικής εκτίμησης του βάθους διασκόπησης.

### 3.2.2 Διεξαγωγή των μετρήσεων

Ένας κοινός παράγοντας όλων των επαγωγικών παροδικά μεταβαλλόμενων τεχνικών είναι ότι για τη διασκόπηση χρησιμοποιούνται τετραγωνικοί ή ορθογώνιοι βρόχοι ως πομποί και δέκτες. Ανάλογα με τη διάταξη πομπού-δέκτη οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες διατάξεις είναι (σχήμα 3.2):

- Διάταξη ενός βρόχου (Single-Loop or Coincident Loop Configuration). Αποτελείται από έναν μόνο βρόχο, ο οποίος λειτουργεί και ως πομπός και ως δέκτης. Κατά τη διάρκεια που το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το κύκλωμα, λειτουργεί ως πομπός. Μόλις διακοπεί η λειτουργία του κυκλώματος, οι ακροδέκτες του βρόχου συνδέονται αυτόματα με το δέκτη και οι μετρήσεις παίρνονται κατά τη διάρκεια που ο πομπός είναι κλειστός. Το μέγεθος της πλευράς του βρόχου ποικίλει από 5 μέχρι και 200 μέτρα και είναι συνήθως τετραγωνικός ή ορθογώνιος.
- Διάταξη κεντρικού βρόχου (In-Loop or Central Loop Configuration). Αυτή η διάταξη είναι παραλλαγή της προηγούμενης, με την διαφορά ότι ο βρόχος του δέκτη είναι πολύσπειρος, ισοδύναμης επιφάνειας με τον πομπό, και τοποθετείται στο κέντρο του βρόχου που συνδέεται με τον πομπό.
- Ξεχωριστοί βρόχοι πομπού-δέκτη (Separated Transmitter-Receiver Loop Configuration). Η διάταξη αυτή μοιάζει με την διάταξη Slingram, όπου πομπός και δέκτης βρίσκονται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους. Οι βρόχοι έχουν διαστάσεις μερικών δεκάδων μέτρων. Μια παραλλαγή αυτής της διάταξης είναι ο δέκτης να είναι πολύ μικρότερος από τον πομπό.
- Διπλή διάταξη (Dual-Loop Configuration). Σε αυτή τη διάταξη, διαμορφώνονται δύο παρακείμενοι βρόχοι που συνδέονται παράλληλα για καλύτερη σύζευξη με κάθετους αγωγούς (Spies 1975).



**Σχήμα 3.2.** Διατάξεις μετρήσεων TEM (Παπαδόπουλος, 2000).

Επιπλέον, επειδή ο θόρυβος που επάγεται λόγω κινούμενων πηγών που προκαλούν παράσιτα στο σήμα είναι αντίθετος στους δύο βρόχους στην διάταξη αυτή, μειώνεται σημαντικά το επίπεδο του.

- Μεγάλος σταθερός βρόχος πομπού-κινούμενος δέκτης (Large Fixed Transmitter, Roving Receiver). Σε αυτή την διάταξη, υλοποιείται ένας πολύ μεγάλος βρόχος-πομπός που παραμένει σταθερός και ένας πολύ μικρότερος βρόχος-δέκτης χρησιμοποιείται κατά μήκος οδεύσεων που είναι παράλληλες προς μια πλευρά του πομπού. Το μήκος της πλευράς του πομπού είναι της τάξης μερικών εκατοντάδων μέτρων (σε πολλές περιπτώσεις φτάνει μέχρι και πέντε χιλιόμετρα).
- Εναέριες διατάξεις (Airborne TDEM). Η μέθοδος των TEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από αέρος για έρευνα και μάλιστα καλύπτοντας πολύ μεγάλη έκταση σε μικρό χρονικό διάστημα (Smith και Keating 1996).

### 3.2.3 Όργανα Μετρήσεων

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για διασκοπήσεις με την μέθοδο των TDEM (σχήμα 3.3), αποτελούνται από ένα πομπό που συνδέεται με τον βρόχο προς υλοποίηση, και παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως μέχρι και 12 A, χρησιμοποιώντας δωδεκάβολτους συσσωρευτές ή γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος.

Το καταγραφικό του δέκτη βρίσκεται στο ίδιο όργανο με τον πομπό, και χρησιμοποιεί την ίδια έξοδο με αυτόν. Με ηλεκτρονικό κύκλωμα (στην περίπτωση της διάταξης μονού βρόχου) συνδέεται με τον βρόχο κατά την διακοπή του κυκλώματος.

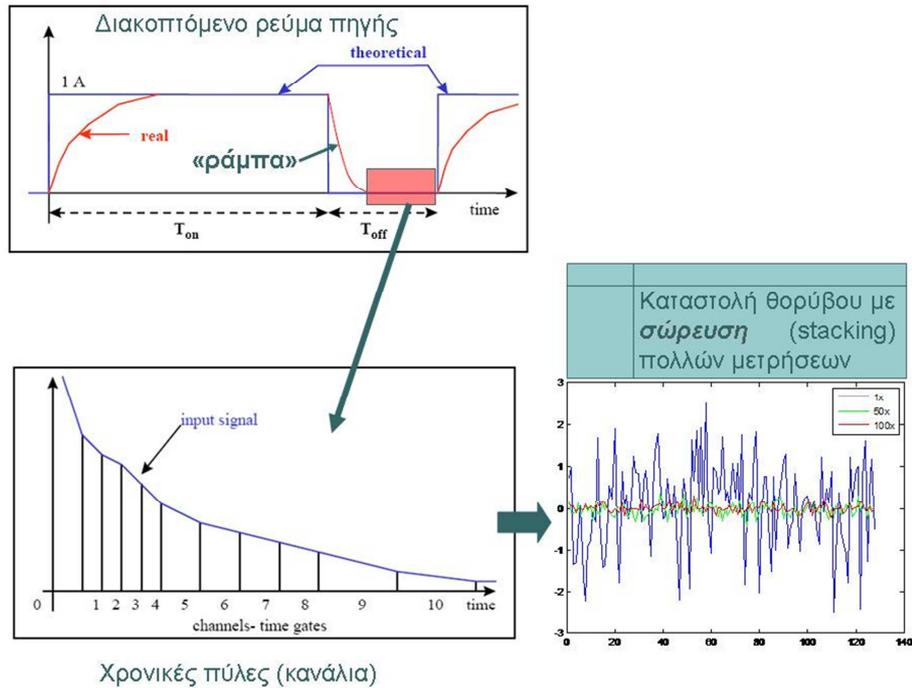
Ο βρόχος διαρρέεται από συνεχές ρεύμα εντάσεως  $I_0$  και τη στιγμή  $t=0$  διακόπτεται απότομα η λειτουργία του κυκλώματος. Σύμφωνα με τον νόμο της αυτεπαγωγής, η μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος από την αρχική τιμή  $I_0$  στην τιμή μηδέν δεν είναι ακαριαία, αλλά διαρκεί χρόνο  $\tau$  και είναι εκθετική.



**Σχήμα 3.3.** Στη σχήμα παρουσιάζεται το TEM Fast 48 HPC, του οίκου AEMR. Το όργανο αποτελείται από τους βρόγχους (κόκκινα καλώδια υψηλής αγωγιμότητας), τη κεντρική μονάδα παραγωγής και διάθεσης των παλμών (συσκευή σε μαύρο χρώμα) και το μονάδα καταγραφής και αποθήκευσης (palmtop – υπολογιστής χειρός).

Δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο επαγωγικά ρεύματα σε κοντινούς αγωγίμους στόχους που βρίσκονται στο υπέδαφος, και η δημιουργία δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, το οποίο ανιχνεύεται από το δέκτη.

Στο σχήμα 3.4 φαίνεται ενδεικτικά η διπολική κυματομορφή του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον πομπό, κατά τον χρόνο  $t$ . Οι κατασκευαστές των οργάνων δεν δίνουν ακριβείς πληροφορίες, αλλά τα παρακάτω στοιχεία είναι διαθέσιμα ή μπορούν να εξαχθούν (Asten 1987).



**Σχήμα 3.4.** Ενδεικτικό παράδειγμα κυματομορφής του πομπού. Κατά το διάστημα παύσης της πομπού υπάρχει βαθμιαία μείωση η οποία φαίνεται στο διάγραμμα για τις διάφορες χρονικές πύλες. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της μέτρησης η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές με σκοπό την άθροιση του σήματος και τη μείωση του θορύβου.

Το τμήμα της διέγερσης της κυματομορφής είναι εκθετικής μορφής ανάλογο της σταθεράς χρόνου  $\tau$  του κυκλώματος, και εξαρτάται από την εμπέδηση του (μέγεθος βρόχου, αντίσταση καλωδίου, αντίσταση εδάφους) και τον σχεδιασμό του οργάνου. Η τιμή του  $\tau$  κινείται μεταξύ 0.3 και 0.6 μικρών του δευτερολέπτου.

Το τμήμα της κυματομορφής που αντιστοιχεί στην μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος από  $I_0$  σε μηδέν, είναι περίπου γραμμικής μορφής και αντιστοιχεί σε χρόνο  $t_r$ . Η τιμή του  $t_r$  κινείται μεταξύ των 30 και 350 μικρών του δευτερολέπτου, και εξαρτάται από το μέγεθος του βρόχου και το ρεύμα του πομπού. Η παροδική εξασθένιση που μετράται στον δέκτη γίνεται με πυκνή δειγματοληψία στο χρονικό παράθυρο μεταξύ  $t_r$  και  $T/4$ .

**TEM Survey Report**  
s/n:

Date (DD/MM/YY)

Operator's name and participants

Name of Survey  Names of soundings

STACK (each number corresponds 13 complete cycles):

TIME (1-9)

Type of configuration (tick):  
 Single-loop Configuration   
 Two-loop Configuration  Battery (V)

Amount of cables  Cable Resistivity (totally) (Ω):

TR (size of transmitting loop)  REC (size of receiving loop)   
[ $\sqrt{L_1 \times L_2}$ ] if not square:      [ $\sqrt{l_1 \times l_2}$ ] if not square:      ]

TURN (NREC x NTR)  Amplifier (Y,N):  Filter:

Position (X/Y/Z)

Amplitude of current's pulses (choose 1,4A):

Remarks:

**Time=5 ή 6**  
Διάρκεια Δt=128μs

**Stack=5**  
(1stack=13cycles)

**Αναφορά για τις μετρήσεις υπαίθρου** →

**Σχήμα 3.5.** Όπως φαίνεται και απο τη φόρμα καταγραφής των δεδομένων υπαίθρου, συνήθως λαμβάνονται μετρήσεις για Time=5 ή 6 και εφαρμόζοντας περί τις 5 αθροίσεις.

Η ηλεκτρεγερτική Δύναμη που αναπτύσσεται στον βρόχο κατά τον χρόνο  $t_r$  μπορεί γενικά να περιγραφεί από την εξίσωση

$$E(p, h) = \frac{p\mu_0 a I}{2} \int_0^{\infty} \left[ \frac{\lambda - s}{\lambda + s} e^{-2\lambda h} + 1 \right] J_1^2(\lambda a) d\lambda,$$

για την περίπτωση κυκλικού βρόχου ακτίνας  $a$ , όπου:

$h$  = το ύψος πάνω από το υπέδαφος που βρίσκεται ο βρόχος.

$p$  = η μεταβλητή του μετασχηματισμού Laplace που αντιστοιχεί στον παράγοντα  $(-i\omega)$  για μεταβολή του χρόνου  $(-i\omega t)$ .

$I$  = το ρεύμα του πομπού.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ , η μαγνητική διαπερατότητα στο κενό.

$\lambda$  = η μεταβλητή του μετασχηματισμού.

$J_1(\lambda a)$  = συνάρτηση Bessel πρώτης τάξης.

$$s = \sqrt{\lambda^2 + \mu\sigma p}$$

Η γενική αυτή εξίσωση αποδεικνύεται πως ισχύει και για την περίπτωση που ο βρόχος είναι τετραγωνικής μορφής, πλευράς  $a$  (Raiche και Spies 1981).

Λόγω της μεγάλης ακρίβειας στον χρόνο καταγραφής που απαιτείται, τα όργανα των TDEM διαθέτουν πολλά ακόμα ηλεκτρονικά όργανα, γεγονός που τα καθιστά και σχετικά ακριβότερα από άλλα γεωφυσικά όργανα μέτρησης. Τα περισσότερα όργανα μετρούν με ακρίβεια 0.1 μικρών του δευτερολέπτου ( $10^{-6}$ ), και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στο χρονικό παράθυρο από 4 μικρά μέχρι και 164 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Τα πλέον σύγχρονα όργανα δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να προγραμματίσει τη διάρκεια κατά την οποία παίρνονται οι μετρήσεις.

Η ανάπτυξη όλο και ακριβέστερων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, οδηγεί στην συνεχή εξέλιξη των οργάνων μέτρησης και στην μείωση του όγκου τους. Τα σημερινά όργανα είναι συμπαγή, εύχρηστα και διαθέτουν μικροεπεξεργαστές για την καταγραφή και αποθήκευση των μετρήσεων.

### 3.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Πριν από κάθε γεωφυσική έρευνα, γίνεται ένας αρχικός σχεδιασμός για τον τρόπο που θα διεξαχθεί, στον οποίο λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά των πιθανών στόχων (βάθος, σχήμα, ιδιότητες), η μορφολογία του εδάφους, η επιθυμητή ανάλυση των αποτελεσμάτων, ο χρόνος που θα απαιτηθεί κλπ.

Στην περίπτωση των TDEM, πρωταρχικό ρόλο στη γεωφυσική έρευνα παίζουν η διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί και το μέγεθος του βρόχου που θα υλοποιηθεί (MacNae 1984). Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των πιθανών στόχων, λαμβάνονται και οι κατάλληλες αποφάσεις.

Ένας γενικός κανόνας για την διάταξη μονού βρόχου, είναι πως το μέγεθος του βρόχου πρέπει να είναι περίπου της ίδιας τάξης μεγέθους με το βάθος του στόχου προς εξερεύνηση. Αν π.χ. ο στόχος αναμένεται να είναι στα 100 μέτρα βάθος, το μέγεθος της πλευράς του βρόχου που θα πραγματοποιηθεί θα πρέπει να είναι μεταξύ 80 και 120 μέτρων.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως η ισχύς του πομπού και η συνοδεύουσα ενέργεια του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου που παράγεται, αυξάνονται με το μέγεθος του βρόχου ή, για να είμαστε απόλυτα ακριβείς, με την συνολική επιφάνεια που αντιστοιχεί στον βρόχο. Αν π.χ. ο βρόχος είναι τετραγωνικός πλευράς  $a$  και αποτελείται από 2 σπείρες, τότε η επιφάνεια του βρόχου είναι  $2a^2$ .

Η απόσταση μεταξύ των σταθμών μετρήσεων και των γραμμών οδεύσεως, εξαρτάται από τον τύπο της έρευνας (λεπτομερής ή αναγνωριστικός). Για αναγνωριστική έρευνα και με τη διάταξη μονού βρόχου, η απόσταση μεταξύ διαδοχικών βυθοσκοπήσεων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον τέτοια ώστε ανά δύο να βρίσκονται πάνω από τον γεωλογικό στόχο που ερευνάται. Όσον αφορά την απόσταση μεταξύ διαδοχικών οδεύσεων, θα πρέπει να είναι ανάλογη του μήκους που εκτείνεται ο στόχος. Για τη

διεξαγωγή λεπτομερούς έρευνας, το βήμα δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι αρκετά μικρότερο.

### 3.4 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Τα σφάλματα που μπορεί να υπεισέλθουν στις μετρήσεις TDEM μπορεί να οφείλονται σε διάφορους λόγους, όπως είναι ο γεωλογικός θόρυβος, η ημερήσια μεταβολή του μαγνητικού πεδίου της Γης κ.α. Οι σημαντικότεροι λόγοι είναι:

- Γεωμετρικός θόρυβος. Σε αυτόν συμπεριλαμβάνονται όλες οι πηγές θορύβου που πηγάζουν εξαιτίας της γεωμετρίας της κάθε διάταξης. Σε αντίθεση με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους που λειτουργούν στην περιοχή των συχνοτήτων, όπου είναι δύσκολο να απομονωθεί η συμμασική συνιστώσα του δευτερεύοντος πεδίου από το γεωμετρικά εξαρτώμενο πρωτεύον πεδίο, τα γεωμετρικά λάθη είναι αμελητέα σε μέγεθος γιατί οι μετρήσεις λαμβάνονται κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Η τοπογραφία είναι άλλη μια πηγή σφαλμάτων στις μετρήσεις. Και αυτή όμως είναι αμελητέα, καθώς μετά το πρώιμο στάδιο η διάδοση των κυμάτων έχει τέτοια συμπεριφορά ως να ήταν η επιφάνεια του εδάφους απολύτως επίπεδη.
- Ανθρωπογενής θόρυβος. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται όλοι οι μεταλλικοί αγωγοί που μπορεί να επάγουν ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκονται στην περιοχή έρευνας, όπως είναι οι γραμμές του τηλεφωνικού δικτύου, υπόγειοι αγωγοί, μεταλλικοί φράχτες κλπ. Εξαιτίας όμως της μικρής διατομής που έχουν συνήθως, οι σταθερές χρόνου  $\tau$  για την απευθείας επαγωγή τους είναι συνήθως αμελητέες. Η κύρια συνεισφορά τους στα σφάλματα προέρχεται από την ικανότητα τους να διοχετεύουν επαγόμενα ρεύματα στα περιβάλλοντα πετρώματα.
- Ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος. Υπάρχουν πολλές πηγές που επηρεάζουν τις μετρήσεις των TDEM και οφείλονται σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Γεωμαγνητικά σήματα κάτω από 1 Hz προέρχονται κυρίως από μέσα και πάνω από την Ιονόσφαιρα. Πάνω από 1 Hz το φάσμα του φυσικού θορύβου προέρχεται κυρίως από ατμοσφαιρικά παράσιτα, που είναι όλες οι φυσικές παροδικές ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές που δημιουργούνται από εκκενώσεις κεραυνών.

Ο ανθρωπογενής θόρυβος αυτής της κατηγορίας προέρχεται από της γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου (με συχνότητα 50 ή 60 Hz), ενώ οι σταθμοί πολύ χαμηλών συχνοτήτων (VLF) παράγουν μεγαλύτερης συχνότητας θόρυβο (10 με 25 kHz). Είναι η κυριότερη πηγή σφαλμάτων, όμως είναι εύκολο να εντοπιστεί καθώς η πηγή από όπου προέρχεται είναι εμφανής.

Ο επαγωγικός θόρυβος λόγω της κίνησης της Γης μπορεί να είναι πολύ σημαντικός, καθώς το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι 100.000 φορές μεγαλύτερο από το πεδίο που δημιουργεί ο πομπός. Προβλήματα από τέτοιου είδους θόρυβο αντιμετωπίζονται όταν

οι μετρήσεις απαιτούν πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθούν, και η διόρθωση των μετρήσεων γίνεται με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιείται στις μαγνητικές μεθόδους.

Η αφαίρεση του θορύβου από τις μετρήσεις δεν είναι εύκολη διαδικασία. Συνήθως περιλαμβάνει αποσυνέλιξη της απόκρισης του συστήματος για τον δέκτη, την αφαίρεση του θορύβου εξαιτίας των γραμμών μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος, κανονικοποίηση για την γεωμετρία του συστήματος και (αν είναι απαραίτητο) αναγνώριση και αφαίρεση του θορύβου χαμηλής συχνότητας που προέρχεται από τους μικροπαλμούς του μαγνητικού πεδίου της Γης (Keller 1997, MacNae et al. 1984, McCracken et al. 1986, Spies 1988).

### 3.5 ΣΥΛΛΟΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, το σημαντικότερο τμήμα μιας έρευνας είναι η επιλογή των θέσεων μέτρησης και η χωροθέτηση των μετρήσεων με κριτήρια κάλυψης, εντοπισμού του στόχου, μείωσης του θορύβου και βελτιστοποίησης του χρόνου και του τελικού αποτελέσματος.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση και ολοκλήρωση του έργου ήταν το TEM Fast 48 HPC (σχήμα 3.6). Πρόκειται για ένα πλήρως φορητό, εύχρηστο και αποτελεσματικό όργανο το οποίο μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί σε περισσότερες από 400 έρευνες ανά το κόσμο με σκοπό την εύρεση υπόγειας υδροφορίας.



**Σχήμα 3.6.** Στην εικόνα εικονίζονται οι διάφορες φάσεις της έρευνας όπως και τα διάφορα περιβάλλοντα στα οποία έχει εφαρμοστεί η εν λόγω μεθοδολογία.

Για τη συλλογή των μετρήσεων ακολουθούνται τα εξής στάδια εργασίας,

- Επιλέγεται η θέση της μέτρησης,
- Με πυξίδες τύπου sighting επιλέγονται οι διευθύνσεις στις οποίες θα κινηθούν αυτοί που θα εγκαταστήσουν το βρόγχο (50X50 ή 100X100) των μετρήσεων.
- Όση ώρα πραγματοποιείται η εγκατάσταση του βρόγχου, λαμβάνονται με GPS ακριβείας οι συντεταγμένες του κέντρου του βρόγχου το οποίο αποτελεί και τη θέση της βυθοσκόπησης.
- Εισάγονται συντεταγμένες και στοιχεία της θέσης μέτρησης στον υπολογιστή χειρός ενώ επιπλέον, ορίζονται οι παράμετροι (time=5, stack 5) (σχήμα 3.5) με τις οποίες θα γίνει η συλλογή των δεδομένων. Τέλος επιλέγεται το μέγιστο ρεύμα (4A).
- Ξεκινούν οι μετρήσεις και με το πέρας των μετρήσεων γίνεται ένας πρώτος έλεγχος της ποιότητας/αξιοπιστίας των μετρήσεων καθώς και του υπολογιζόμενου μοντέλου αντίστασης με το βάθος.
- Αλλάζουμε τις παραμέτρους συλλογής των δεδομένων (time = 6, stack 5) (σχήμα 3.5) και ξαναπέρνουμε μέτρηση με σκοπό να δούμε τη διαφοροποίηση του υπολογιζόμενου μοντέλου. Εάν δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων, πέραν της μεγαλύτερης διείσδυσης του σήματος, τότε γίνεται αποσυναρμολόγηση του συστήματος και προχωράμε στην επόμενη θέση μέτρησης.
- Εάν υπάρχει διαφορά μεταξύ των μετρήσεων με διαφορετικές παραμέτρους εισαγωγής τότε χωρίς να αλλάξουμε τις παραμέτρους επαναλαμβάνουμε την ίδια μέτρηση για να δούμε την επαναληψιμότητα των μετρήσεων.

i SOUNDING INFORMATION									
Name	Tr	Rec	Stc	Time	HVP	F (Hz)	I (A)	dT (ns)	
▲ PP02	100	100	5	8	12	50	2.40	1720	
+ PP03	100	100	5	8	12	50	2.40	1720	
■ PP05	100	100	5	8	12	50	2.40	1720	
□ PP07	100	100	5	8	12	50	2.30	1720	

Σχήμα 3.7. Στοιχεία λήψης των μετρήσεων ανά θέση.

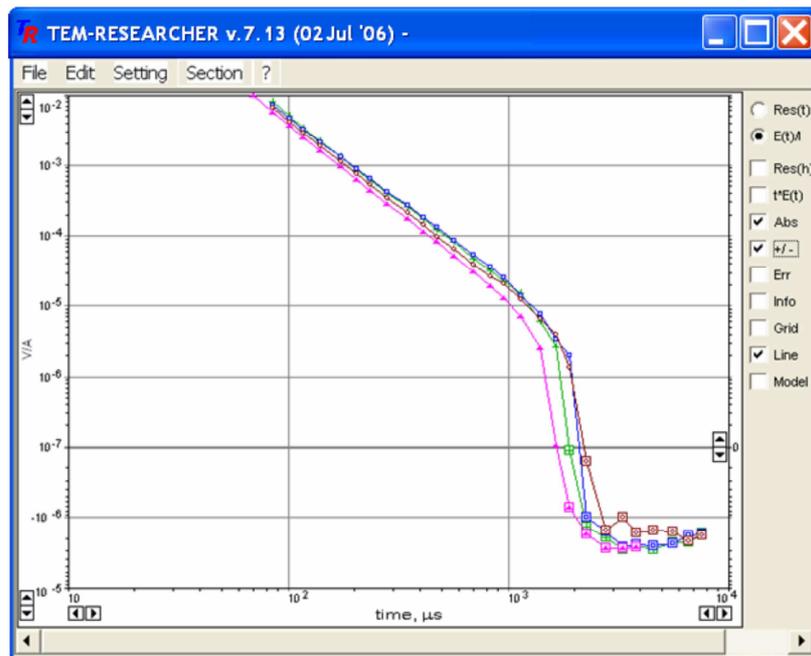
Με τη συνεχής λήψη των μετρήσεων, δημιουργείται μια βάση δεδομένων (σχήμα 7) στην οποία καταγράφονται στοιχεία όπως, το όνομα της θέσης (name), οι διαστάσεις του πομπού (Tr), οι διαστάσεις του δέκτη (Rec), το πλήθος των σωρεύσεων (Stc), ο χρόνος – χρονικά παράθυρα που επειλέχθηκαν (Time), η επιλογή της προστασίας από υπερφόρτωση του συστήματος (High Voltage Protection-HVP), το εφαρμοζόμενο συχνοτικό φίλτρο απομάκρυνσης βιομηχανικού θορύβου (F), η εφαρμοζόμενη ένταση του ρεύματος (I) και οι διορθωτικοί χρόνοι στην απόσβεση του ρεύματος για το βρόγχο εκπομπής (dT).

Στην πράξη, όλα τα συστήματα της μεθόδου TDEM καταγράφουν τις παροδικές τάσεις σε έναν αριθμό καναλιών χρόνου. Τις περισσότερες φορές η επεξεργασία των σημάτων γίνεται σε πραγματικό χρόνο, σε αντίθεση π.χ. με τη σεισμική μέθοδο. Καθώς για κάθε κανάλι χρόνου τα όργανα μέτρησης λαμβάνουν πολλές μετρήσεις τις οποίες μετά σωρεύουν, τα περισσότερα συστήματα είναι εφοδιασμένα με κάποιο ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής. Στη συνέχεια, τα δεδομένα ελέγχονται για την ακρίβεια τους και κανονικοποιούνται διαιρώντας τις μετρήσεις με το ρεύμα του πομπού. Επειδή τα δεδομένα όμως στη συνέχεια μετατρέπονται από μετρήσεις μεταβολής της μετρούμενης συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου σε φαινόμενες αντιστάσεις, είναι δύσκολο να γίνει γρήγορη εκτίμηση της ποιότητας τους (Spies και Eggers 1986).

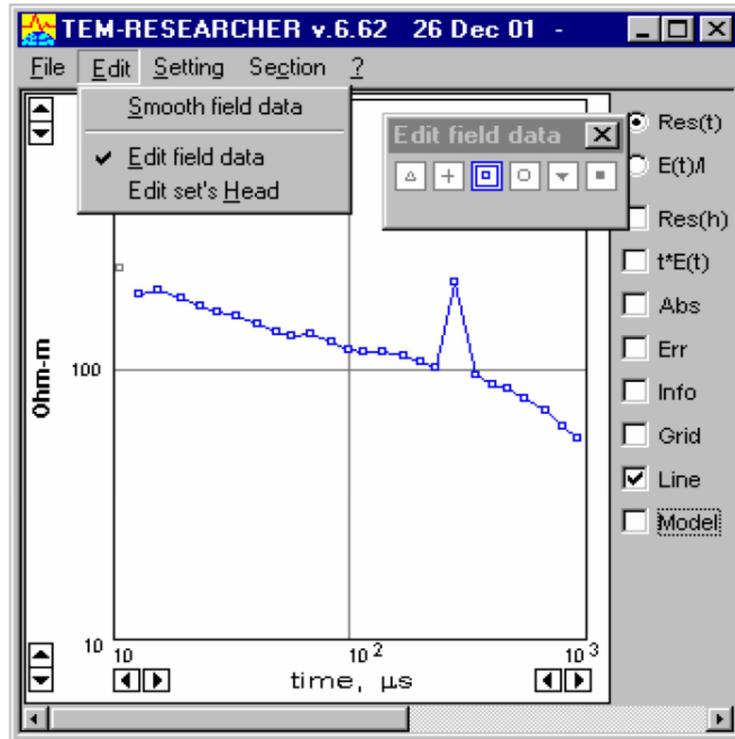
Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν τη μορφή του σχήματος (3.8) όπου στο κατακόρυφο άξονα παρουσιάζεται η μεταβολή του λόγου  $V/A$  σε συνάρτηση των χρονικών παραθύρων. Στο σχήμα 8 παρουσιάζονται 4 καμπύλες οι οποίες αντιστοιχούν στη λήψη για την ίδια θέση τεσσάρων (4) μετρήσεων διαφορετικές παραμέτρους λήψης.

Στην περίπτωση βυθοσκοπήσεων, χαρτογραφούνται οι φαινόμενες αντιστάσεις με το χρόνο, ώστε να υπάρχει μια πρώτη ποιοτική εκτίμηση των μετρήσεων, όπως συμβαίνει με τις ηλεκτρικές μεθόδους συνεχούς ρεύματος.

Όταν τα δεδομένα προέρχονται από οδεύσεις, δημιουργούνται γραφικές παραστάσεις σε γραμμική κλίμακα, όπου χαρτογραφούνται οι μετρήσεις σε συγκεκριμένα κανάλια χρόνου κατά μήκος μιας οδευσης ώστε να ελεγχθούν τα δεδομένα για την περίπτωση σφαλμάτων σε κάποια συγκεκριμένη θέση, και για μια πρώτη ποιοτική εκτίμηση της περιοχής που δίνει τις ανωμαλίες κατά μήκος της οδευσης.

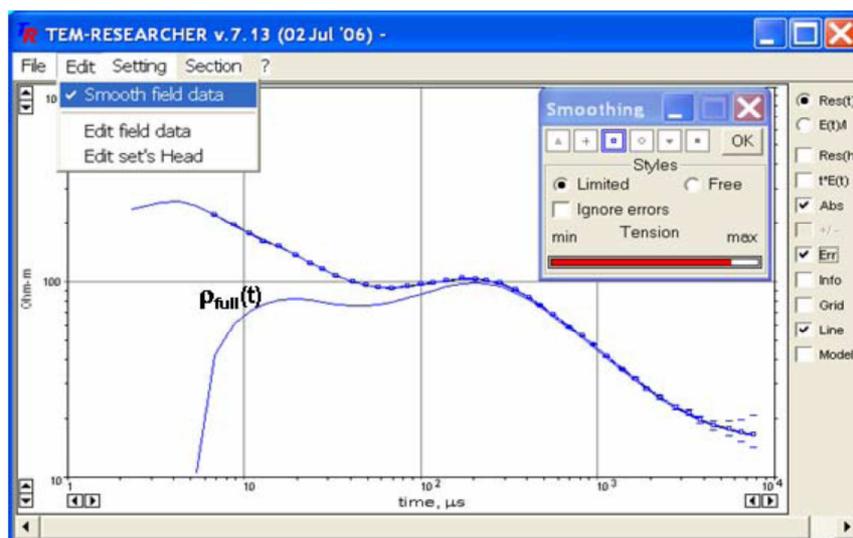


**Σχήμα 3.9.** Τα πρωτογενή δεδομένα πολλές φορές χρήζουν διόρθωσης λόγω του θορύβου που κατέγραψαν. Έτσι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει τα πρωτογενή δεδομένα και να παρέμβει είτε αλλάζοντας/διαγράφοντας τιμές είτε εφαρμόζοντας φίλτρα εξομάλυνσης.



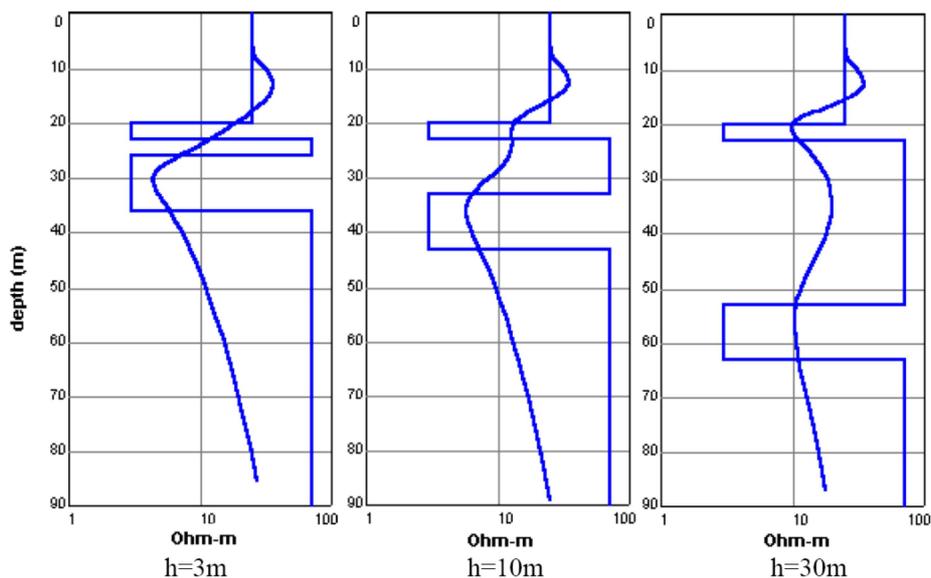
**Σχήμα 3.10.** Διαχείριση των πρωτογενών δεδομένων είτε με επέμβαση (διαγραφή ή τροποποίηση των δεδομένων).

Πολλές απαιτείται η εφαρμογή φίλτρων εξομάλυνσης (σχήμα 3.11) με σκοπό η καμπύλη να αποκτήσει μια πιο «πραγματική» μορφή και τα αποτελέσματα αυτής να είναι πιο αξιόπιστα. Η αναγκαιότητα της χρήσης των φίλτρων εξομάλυνσης πηγάζει από το γεγονός ότι το όργανο καταγράφει πολλές φορές θόρυβο ο οποίος αλλοιώνει την ποιότητα του σήματος και επιπλέον οι μετρήσεις που πραγματοποιούμε είναι μονοδιάστατες γεγονός που αντιτίθεται με τη τρισδιάστατη και ανομοιογενής υπεδάφεια δομή.



**Σχήμα 3.11.** Εφαρμογή των φίλτρων εξομάλυνσης στα δεδομένα.

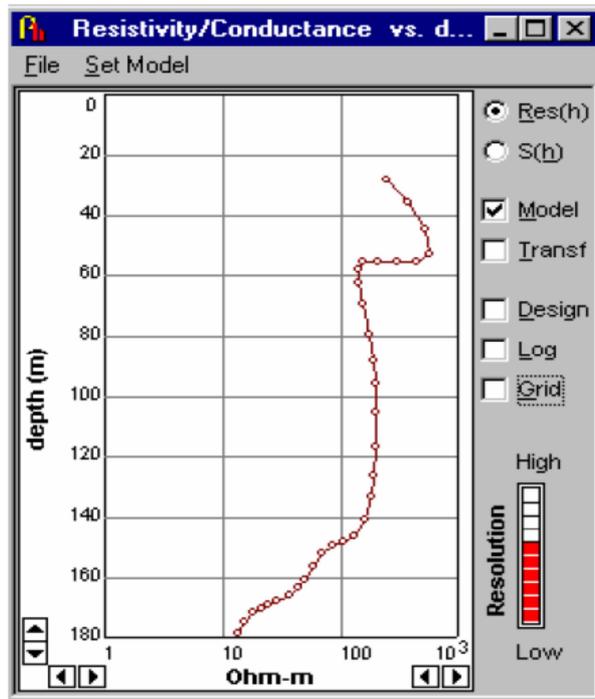
Ο τρόπος με τον οποίο δρα η εξομάλυνση στα πρωτογενή δεδομένα φαίνεται στο σχήμα 3.12. Έγινε μια προσπάθεια εφαρμογή 3<sup>ων</sup> διαφορετικών φίλτρων εξομάλυνσης και παρουσιάζεται η επίδραση των φίλτρων στα δεδομένα. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η εφαρμοζόμενη εξομάλυνση τόσο το υπολογιζόμενο μοντέλο ομαλοποιείται/ ομογενοποιείται και χάνονται λεπτομέρειες του μοντέλου. Για τους παραπάνω λόγους, προτείνεται η εφαρμογή των φίλτρων εξομάλυνσης αλλά σε επίπεδο που δεν θα «σκιάσει» το φίλτρο, πληροφορίες που κρύβονται στο σήμα.



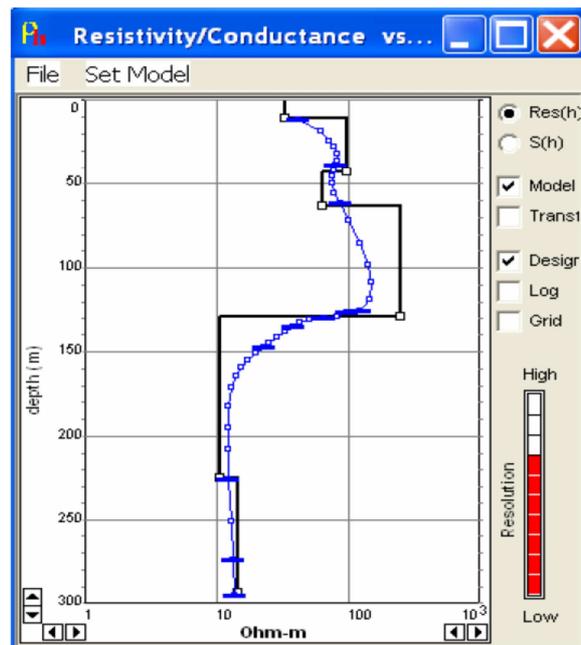
**Σχήμα 3.12.** Εφαρμογή φίλτρων εξομάλυνσης σε πρωτογενή δεδομένα.

Με το πέρας της εφαρμογής όποιων φίλτρων στα πρωτογενή δεδομένα, το λογισμικό μπορεί να υπολογίσει το μονοδιάστατο μοντέλο αντίστασης με το βάθος (σχήμα

3.13). Όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα, το τελικό μοντέλο απεικονίζει την αντίσταση με το βάθος ορίζοντας με αυτό τον τρόπο τη διαστρωμάτωση στη θέση μέτρησης. Ειδικότερα, στα 55 μέτρα η αντίσταση από τα 800 Ohm μεταβάλλεται στα 200 Ohm μέχρι το βάθος των 140 μέτρων οπότε και ξεκινάει η αντίσταση να πέφτει μέχρι και τα 10 Ohm στα 180 μέτρα. Συνήθως αντιστάσεις περί τα 10-30 Ohm αποτελούν ενδείξεις υπόγειας υδροφορίας.



Σχήμα 3.13. Τελικό μοντέλο κατανομής της αντίστασης με το βάθος.



Σχήμα 3.14. Δυνατότητα σχεδιασμού του μοντέλου βαθών με βάση την ερμηνεία των πρωτογενών δεδομένων.

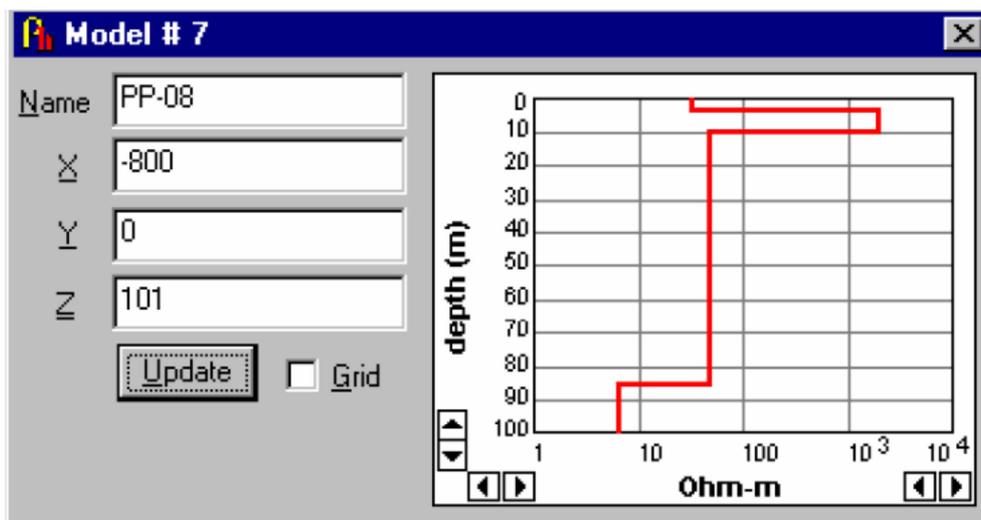
Δεδομένου ότι όποια μεταβολή στη καμπύλη συνδέεται με μεταβολή στη λιθολογία, μπορεί ο χρήστης κατά την επεξεργασία και ερμηνεία των μετρήσεων να ορίσει τη γεωλογική και λιθολογική διαστρωμάτωση. Με αυτό το τρόπο με εύκολο τρόπο προκύπτει το μοντέλο πάχους και αντιστάσεων των στρωμάτων (σχήμα 3.14).

#	Name	X(m)	Y(m)	Z(m)	IP	SPM
1	PP-14	-1550.0	0.0	105.6	No	No
2	PP-13	-1450.0	0.0	104.0	No	No
3	PP-12	-1350.0	0.0	104.0	No	No
4	PP-11	-1250.0	0.0	107.0	No	No
5	PP-10	-1100.0	0.0	103.0	No	No
6	PP-09	-750.0	0.0	101.0	No	No
7	PP-08	-800.0	0.0	101.0	No	No
8	PP-07	-700.0	0.0	101.0	No	No
9	PP-06	-600.0	0.0	101.0	No	No
10	PP-05	-500.0	0.0	101.0	No	No
11	PP-04	-400.0	0.0	103.0	No	No
12	PP-03	-300.0	0.0	103.0	No	No
13	PP-02	-200.0	0.0	103.0	No	No
14	PP-01	-100.0	0.0	105.0	No	No
15	P00	0.0	0.0	115.5	No	No
16	P03	50.0	0.0	115.5	No	No
17	P04	100.0	0.0	116.5	No	No
18	P07	150.0	0.0	116.5	No	No
19	P08	200.0	0.0	116.5	No	No

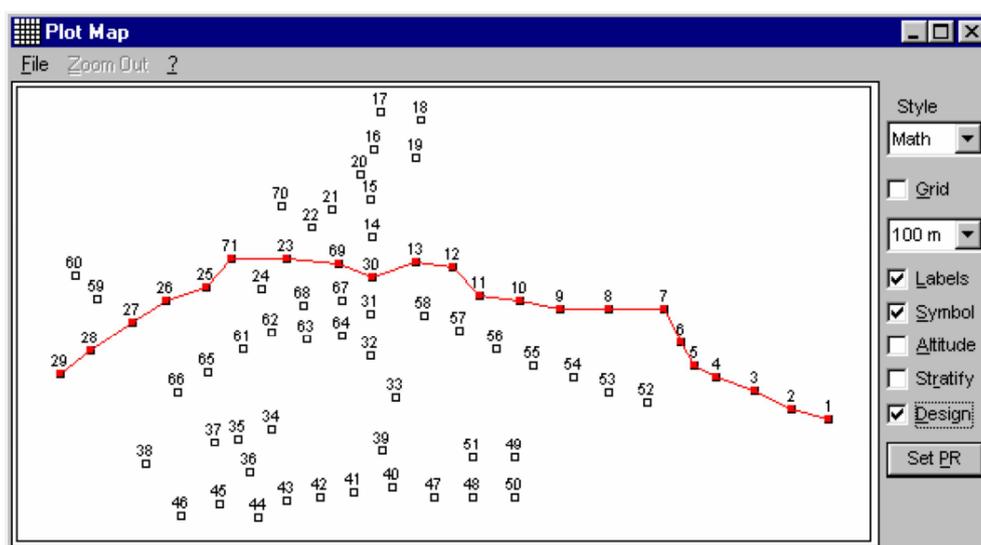
**Σχήμα 3.15.** Συνολική παρουσίαση όλων των δεδομένων που ελήφθησαν σε μια περιοχή έρευνας. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει το όνομα της θέσης μέτρησης, τις χωρικές συντεταγμένες των θέσεων μέτρησης, το υψόμετρο κάθε θέσης μέτρησης και στοιχεία για φαινόμενα επαγόμενης πολικότητας και καταγραφής παραμαγνητικών δεδομένων.

Ανάλογα με το σκοπό του έργου, επιλέγεται η χωροθέτηση των μετρήσεων η οποία είναι είτε μετρήσεις σε κάρναβο με σκοπό τη τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου, είτε μετρήσεις κατά μήκος οδούσεων με σκοπό την αποτύπωση και παρακολούθηση της συνέχειας δομών ενδιαφέροντος (σχήμα 3.15).

Σε κάθε περίπτωση ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει όλες τις διαθέσιμες μετρήσεις και για κάθε μία από αυτές να δει τα στοιχεία της και την ερμηνεία της (σχήμα 3.15).

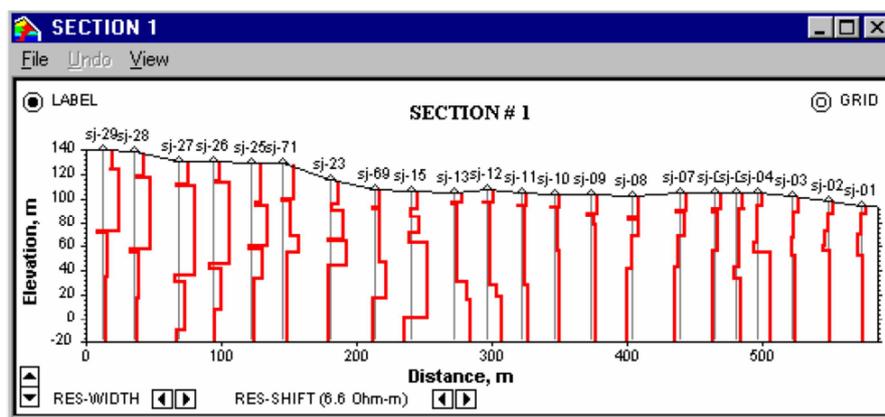


Σχήμα 3.16. Παρουσίαση των στοιχείων για μια από τις βυθοσκοπήσεις.



Σχήμα 3.17. Επιλογή βυθοσκοπήσεων η μονοδιάστατη ερμηνεία των οποίων θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός διδιάστατου μοντέλου κατανομή των αντιστάσεων με το βάθος.

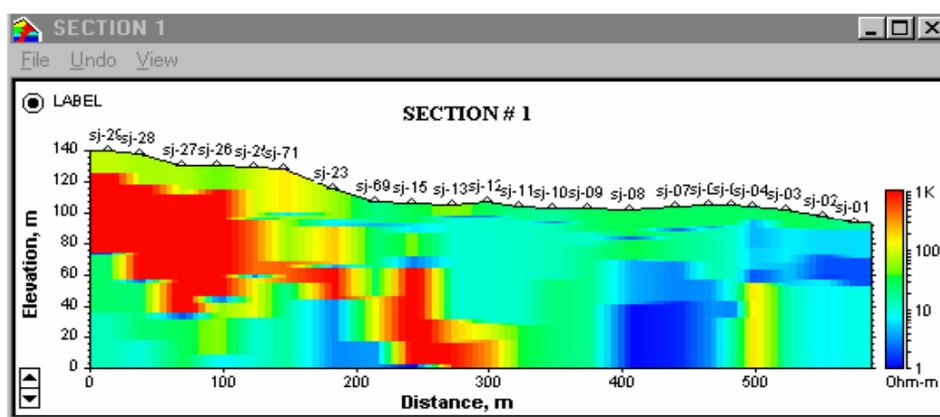
Στην περίπτωση κατά την οποία οι μετρήσεις σε μια περιοχή έρευνας είναι χωρικά κατανομημένες (σχήμα 3.16, 3.17), τότε ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιες βυθοσκοπήσεις η ερμηνεία των οποίων θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός διδιάστατου μοντέλου κατανομής των αντιστάσεων με το βάθος. Η παραγωγή του μοντέλου γίνεται με παρεμβολή των μονοδιάστατων ερμηνειών των επιμέρους βυθοσκοπήσεων.



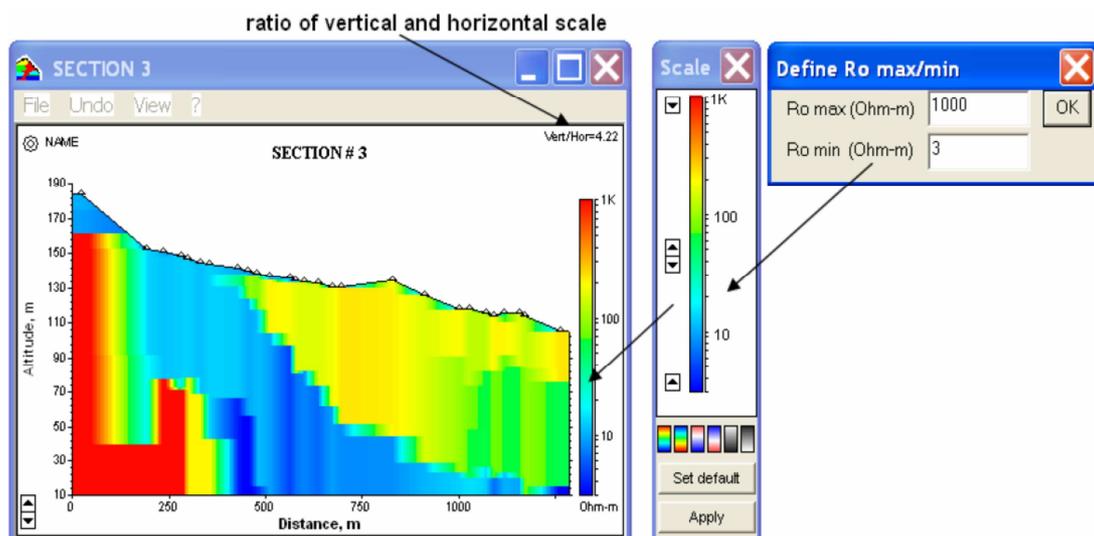
**Σχήμα 3.18.** Διδιάστατη παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τη μορφή διαγραφιών αγωγιμότητας με το βάθος.

Τα διδιάστατα μοντέλα μπορούν να απεικονιστούν με διάφορους τρόπους. Στο σχήμα 18 τα μοντέλα παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραφιών αγωγιμότητας με το βάθος. Στην περίπτωση αυτή ορίζεται ένα όριο αντίστασης και οι καμπύλες (κόκκινες γραμμές) μεταβάλλονται εκατέρωθεν αυτής της τιμής. Αυτός ο τρόπος παρουσίασης των δεδομένων δεν είναι ο πλέον «εντυπωσιακός» αλλά σίγουρα είναι κατατοπιστικός διότι μπορεί να χρήστης να ορίσει π.χ. όριο τα 10 Ohm.m (παρουσία υπόγειας υδροφορίας) και σε όσες θέσεις οι βυθοσκοπήσεις έχουν τιμές μικρότερες του ορίου αυτόματα αποτελεί για τον ερμηνευτή ένδειξη υδροφορίας.

Ένας άλλος τρόπος παρουσίασης των δεδομένων είναι με τη χρήση χρωματικής κλίμακας. Στη περίπτωση αυτή, η τομή στην περιοχή έρευνας χωρίζεται σε εικονοστοιχεία το χρώμα του οποίου εξαρτάται από τη τιμή αντίστασης του συγκεκριμένου σημείου απεικόνισης (Σχήμα 3.19). Στη περίπτωση αυτή τα ψυχρά χρώματα (μπλε) αναφέρονται σε μικρές αντιστάσεις (υψηλές αγωγιμότητες) ενώ τα θερμά χρώματα (κόκκινα) αναφέρονται σε υψηλές αντιστάσεις (χαμηλές αγωγιμότητες).



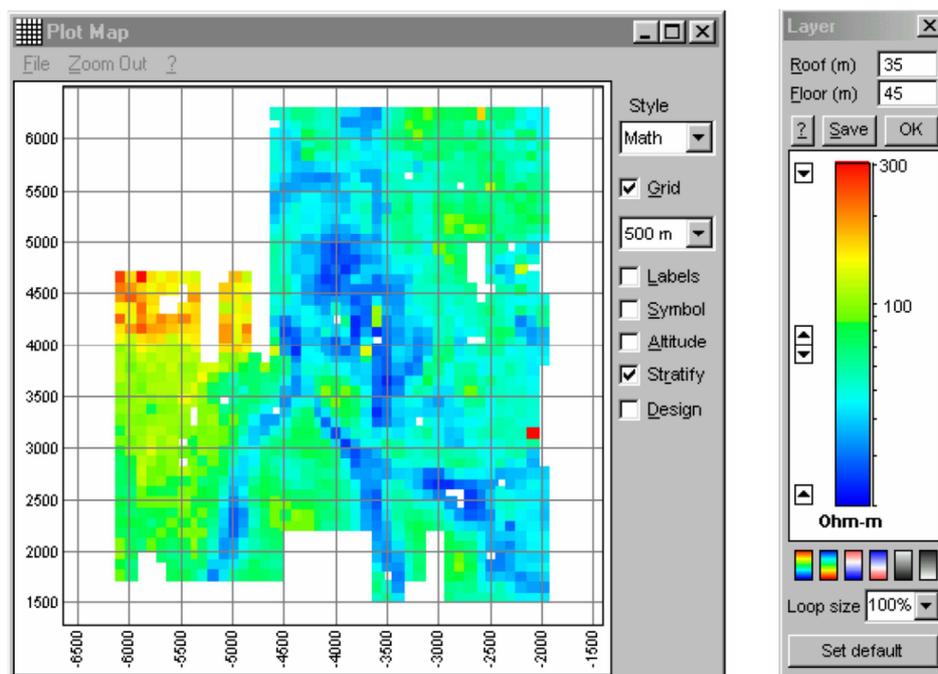
**Σχήμα 3.19.** Διδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος.



**Σχήμα 3.20.** Δισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επέμβει στη χρωματική κλίμακα και να αλλάξει επίσης τα όρια των αντιστάσεων.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τόσο τη χρωματική κλίμακα όσο και τα όρια των αντιστάσεων τα οποία θα χαρτογραφούνται (σχήμα 3.20).

Τέλος, ο χρήστης μπορεί στην περίπτωση που τα δεδομένα του έχουν ληφθεί με πολύ πυκνή χωρική κατανομή, να δημιουργήσει δισδιάστατες απεικονίσεις στους άξονες X και Y για διαφορετικά βάθη. Έτσι εμμέσως δημιουργείται ένας τρισδιάστατος όγκος με τον οποίο παρουσιάζονται οι αντιστάσεις στις τρεις διαστάσεις (σχήμα 3.21).



**Σχήμα 3.21.** Χωρική απεικόνιση των αντιστάσεων για το βάθος από 35-45 μέτρα.

### 3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

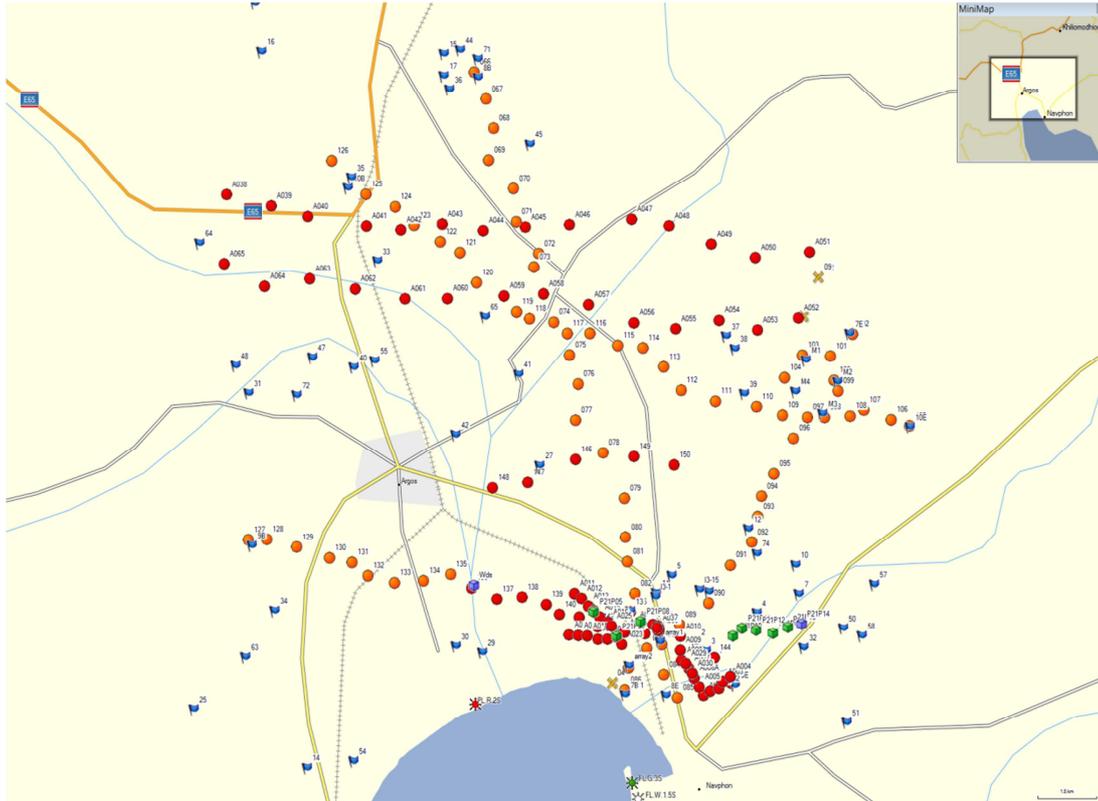
Η μέθοδος των παροδικών ηλεκτρομαγνητικών κυματομορφών αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την μεταλλευτική έρευνα, κυρίως στην Σοβιετική Ένωση και στην Αυστραλία.

Τα τελευταία χρόνια όμως, γίνεται μεγάλη χρήση της μεθόδου σε πολλούς τομείς γεωλογικών εφαρμογών.

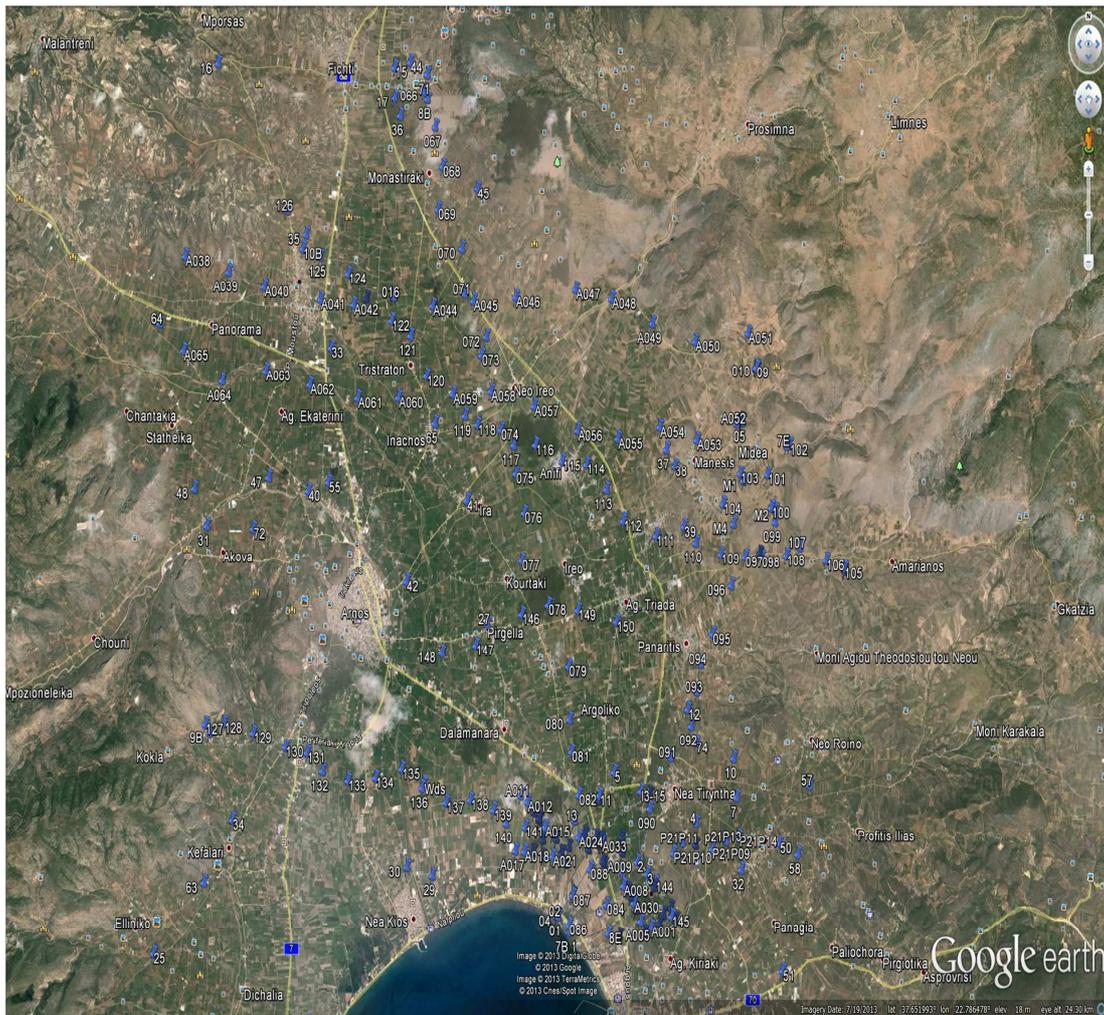
- Μεταλλευτική έρευνα (Kooper και Swift 1994, Withers et al. 1994, Sinha 1990, Maher 1992, Buselli et al. 1986).
- Γεωθερμικά πεδία (Pellerin et al. 1996).
- Περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές έρευνες (Chen 1998, Fitterman et al. 1986, Hoekstra και Blohm 1985).
- Ανακάλυψη υδροφόρων και υφάλμυρων οριζόντων (Taylor et al. 1992, McNeil 1986).
- Συνδυασμός των TDEM με άλλες γεωφυσικές μεθόδους (Sternberg et al. 1988, Raiche et al. 1985, Meju 1996).

Εξαιτίας του μεγάλου πλεονεκτήματος της μεθόδου να μπορεί να λειτουργήσει σε μικρές εκτάσεις σε σχέση με το βάθος διασκόπησης η χρήση της είναι ολοένα και αυξανόμενη, ενώ και σε ερευνητικό στάδιο γίνονται πολλές μελέτες για την περαιτέρω εκμετάλλευση της μεθόδου και σε άλλους τομείς.

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΔΙΟΥ



**Σχήμα 4.1** Ένα στιγμιότυπο οθόνης από το MapSource (ένα λογισμικό που παρέχεται από την Garmin για τη διαχείριση δεδομένων), παρουσιάζονται μαζί η περιοχή μελέτης και οι γεωφυσικές μετρήσεις (TEM) που συλλέχτηκαν (κόκκινοι, πορτοκαλί και μαύροι κύκλοι). Με γαλάζιες σημαίες συμβολίζονται οι τοποθεσίες των γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, με πράσινους κύβους και κίτρινους σταυρούς απεικονίζονται άλλοι γεωφυσικοί μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην ίδια περιοχή από το Πανεπιστήμιο της Κολωνίας.

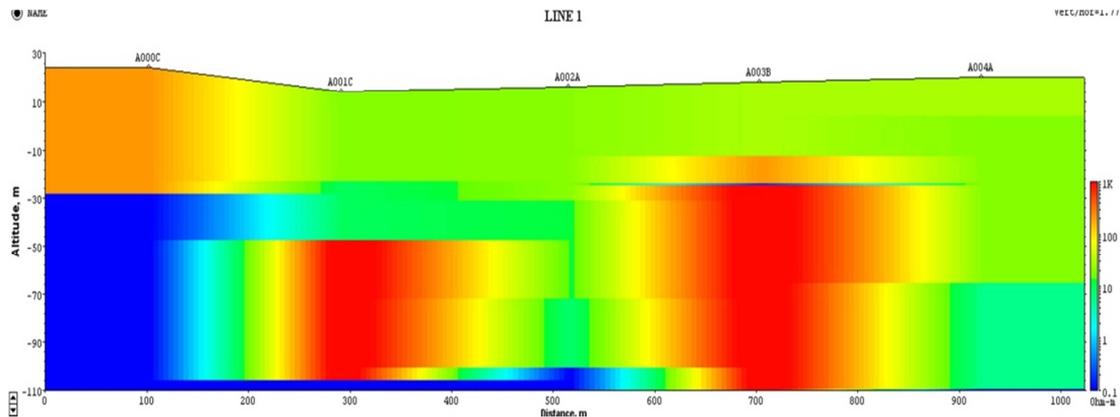


**Σχήμα 4.2** Ένα στιγμιότυπο οθόνης από το Google Earth παρουσιάζει μαζί την περιοχή μελέτης και το σύνολο των γεωφυσικών μετρήσεων TEM (μπλε ετικέτες). Επίσης απεικονίζεται η χωρική κατανομή των μετρήσεων TEM γύρω από τα χωριά της λεκάνης του Άργους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

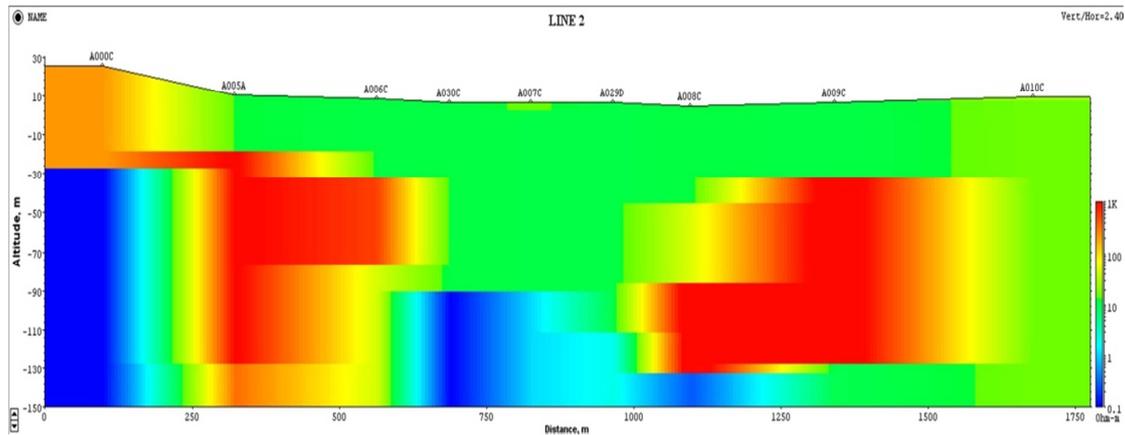
### 5.1 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ 2D ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν παρουσιάζονται ως ανεξάρτητα προφίλ ανάλογα με τις διαφορετικές χρονικές περιόδους που συλλέχθηκαν πριν από την τελική χρήση και τη παρουσίαση του συνόλου των δεδομένων, σαν τομές βάθους. Παρακάτω γίνεται παράθεση των προφίλ που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της πρώτης εκστρατείας των μετρήσεων. Το πρώτο προφίλ (Γραμμή 1) (σχήμα 5.1) αποτελείται από 5 βυθοσκοπήσεις (A000, A001, A002, A003 και A004). Στην αριστερή πλευρά του προφίλ (δυτικά-νοτιοδυτικά) και σε βάθος 50 μέτρων κάτω από την επιφάνεια, εντοπίζεται μία αγώγιμη ζώνη (σχεδόν 0.1 Ohm.m), η οποία μπορεί να συσχετισθεί με την παρουσία ενός ρηχού υφάλμυρου υδροφόρου, όπως επιβεβαιώνεται από γεωτρήσεις και αγρότες της περιοχής. Από τις βυθοσκοπήσεις 001 έως 003 ο βράχος έχει ανέλθει.



Σχήμα 5.1 Γραμμή 1. 2D γεωηλεκτρική τομή.

Το δεύτερο προφίλ (Γραμμή 2) (σχήμα 5.2) αποτελείται από 9 βυθοσκοπήσεις (A000, A005, A006, A030, A007, A029, A008, A009 και A010). Στην αριστερή πλευρά (προς το Νότο) και σε βάθος 50 μέτρων κάτω από την επιφάνεια, εντοπίζεται μία αγώγιμη ζώνη (σχεδόν 0.1 Ohm.m), η οποία μπορεί να συσχετισθεί με την παρουσία ενός ρηχού υφάλμυρου υδροφόρου, όπως επιβεβαιώνεται από γεωτρήσεις και αγρότες της περιοχής. Οι κόκκινες περιοχές αντιπροσωπεύουν γεωλογικούς σχηματισμούς υψηλής αντίστασης (σχεδόν 1000 Ohm.m) ή το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Μεταξύ των βυθοσκοπήσεων 30 και 29 (3 βυθοσκοπήσεις) εντοπίζεται μια αγώγιμη ζώνη, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η ζώνη διάρρηξης.

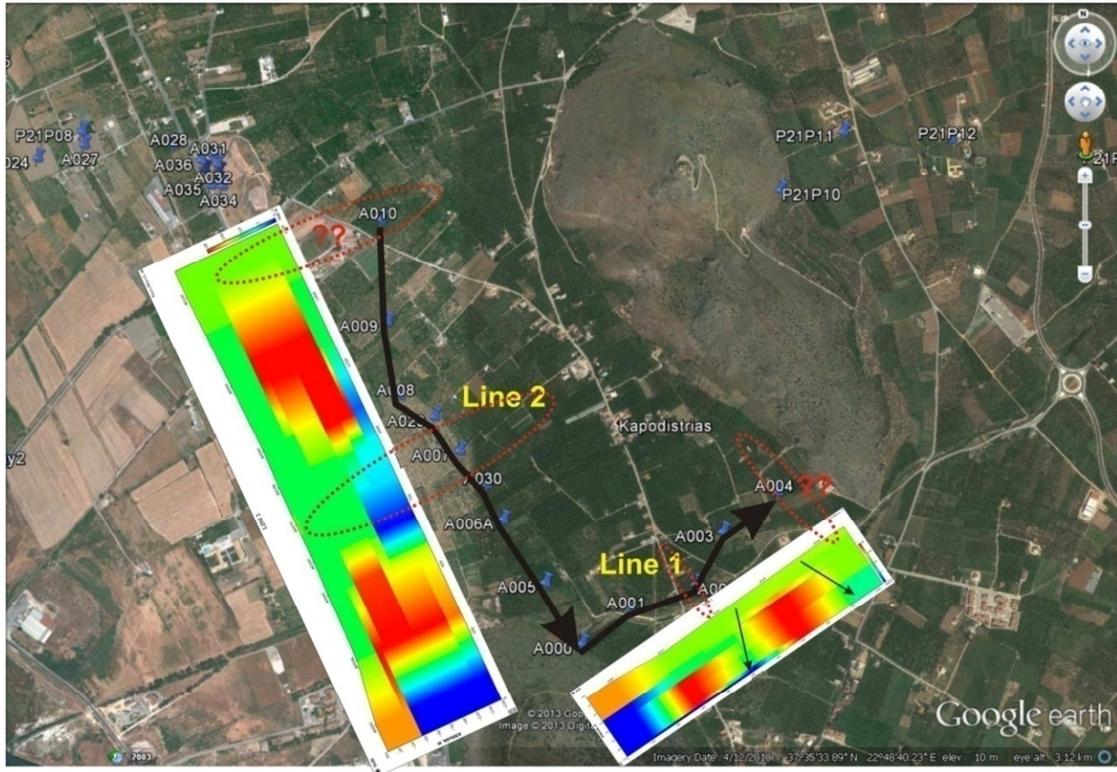


**Σχήμα 5.2** Γραμμή 2. 2D γεωηλεκτρική τομή.

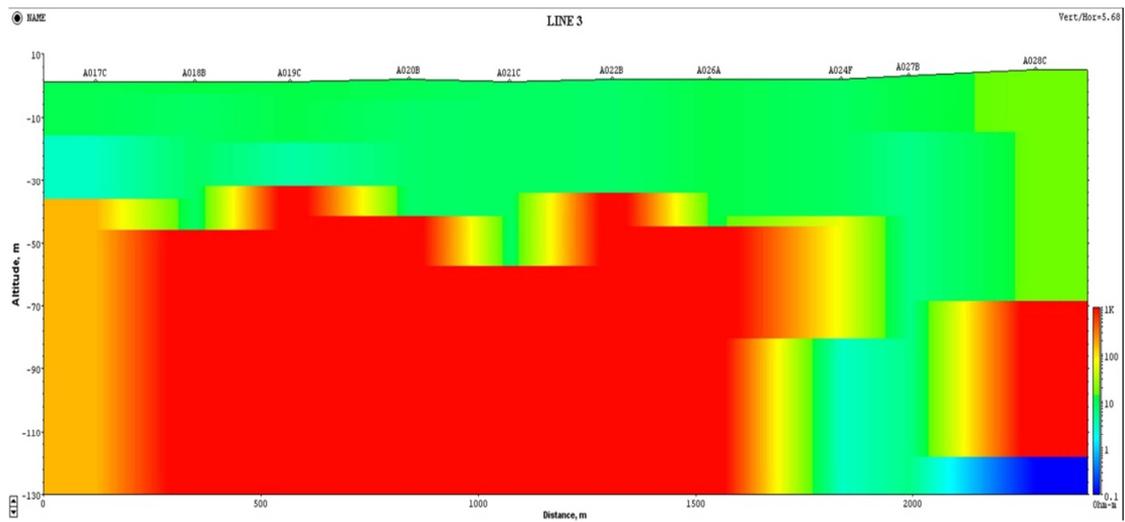
Με βάση την ερμηνεία των 2D γεωηλεκτρικών τομών, όπως αναφέρονται παραπάνω, αυτές οι 2 τομές με την ερμηνεία τους, τοποθετήθηκαν σε ένα στιγμιότυπο οθόνης που λήφθηκε από το Google Earth. Με κόκκινες διακεκομμένες ελλείψεις απεικονίζονται πιθανές ζώνες διάρρηξης κατά μήκος των προφίλ 1 και 2 (σχήμα 5.3).

Το τρίτο προφίλ (Γραμμή 3), αποτελείται από 10 βυθοσκοπήσεις και κατευθύνεται από τη Δύση στην Ανατολή, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4. Στην αριστερή πλευρά (δυτικό τμήμα, 017 βυθοσκόπηση) ο βράχος βρέθηκε σε βάθος 30-35 μέτρα κάτω από την επιφάνεια και συνεχίστε κατά μήκος του προφίλ (προς τα Ανατολικά) με μόνο μια ξαφνική και τοπική διακοπή στη βυθοσκόπηση 027 (δεν είναι σίγουρο αν αυτή αποτελεί ζώνη θραύσης).

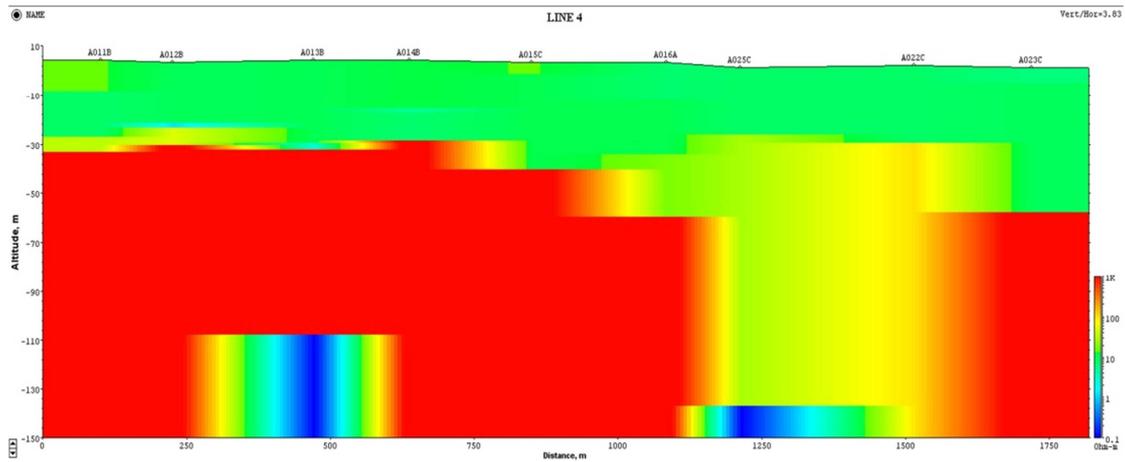
Το τέταρτο προφίλ (Γραμμή 4), αποτελείται από 9 βυθοσκοπήσεις και κατευθύνεται από τα βορειοδυτικά προς τα Νότιο-Ανατολικά όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5. Στην αριστερή πλευρά του σχήματος 5.5 (ΒΔ μέρος, 011 βυθοσκόπηση) ο βράχος βρέθηκε 30-35 μέτρα κάτω από την επιφάνεια και συνεχίστε κατά μήκος του προφίλ (ΝΑ) με μια ξαφνική και τοπική διακοπή μεταξύ των βυθοσκοπήσεων 025 και 022 (δεν είναι σίγουρο αν αυτό είναι μια ζώνη θραύσης).



Σχήμα 5.3 Απεικόνιση των προφίλ 1 και 2. Οι πιθανές ζώνες διάρρηξης απεικονίζονται ως κόκκινες διακεκομμένες ελλείψεις.

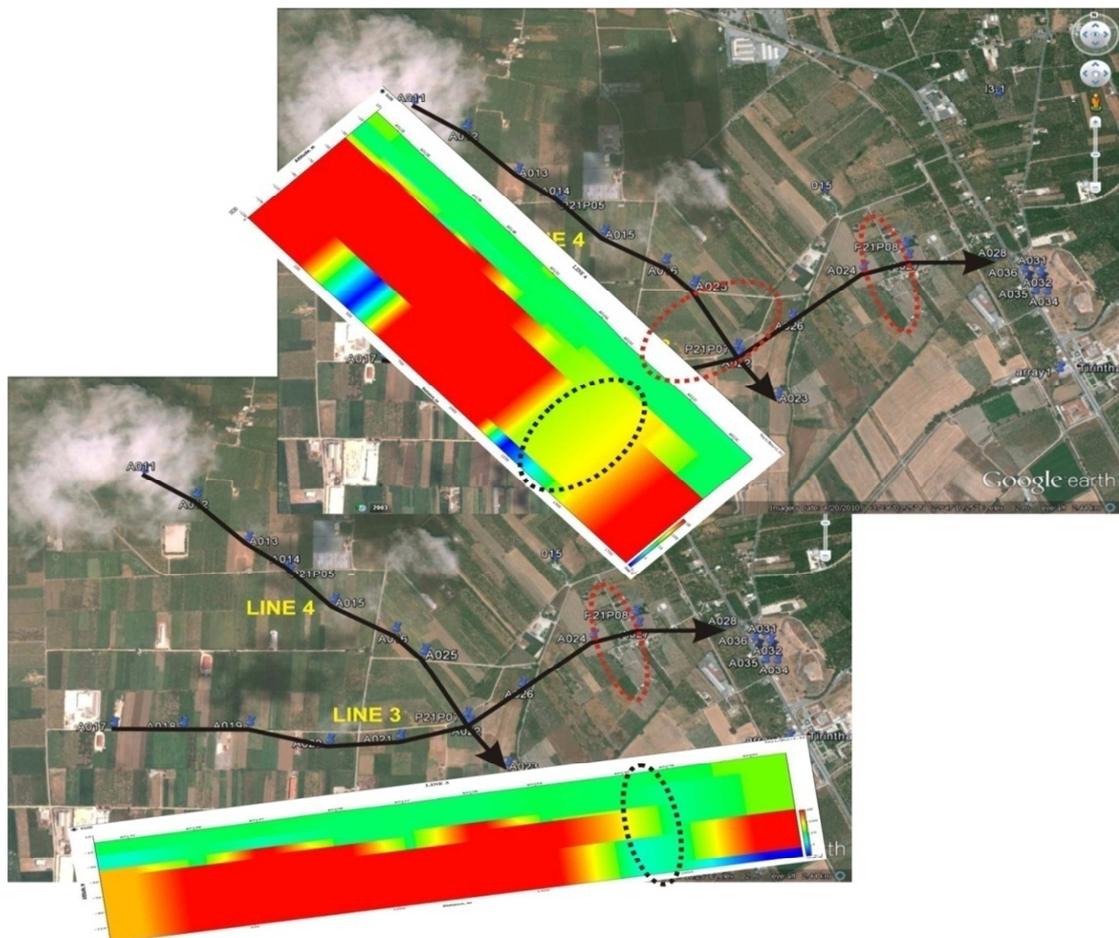


Σχήμα 5.4 Γραμμή 3. 2D γεωηλεκτρική τομή.



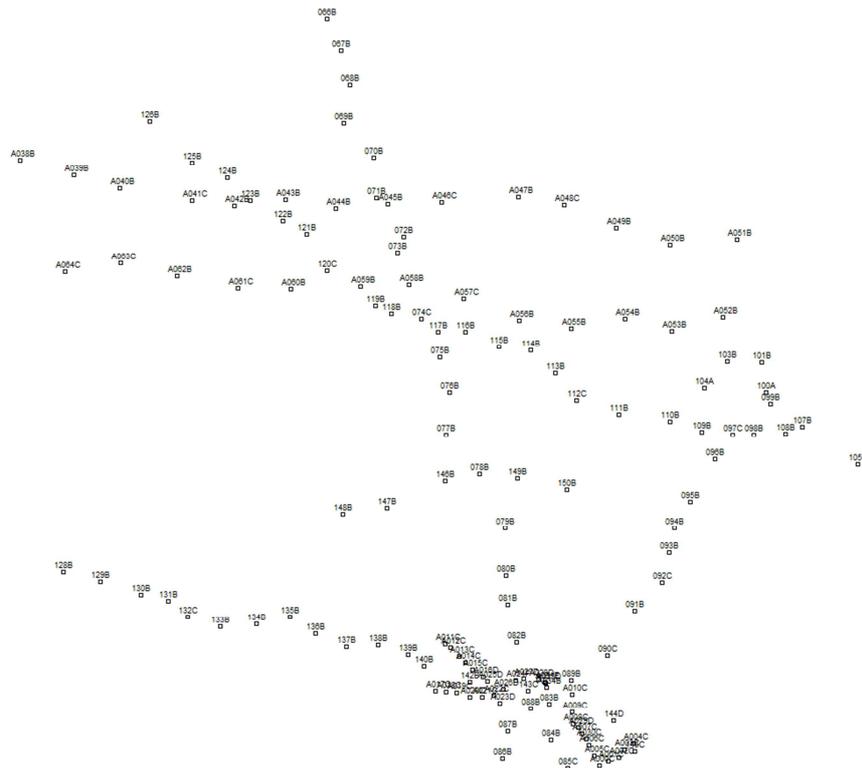
Σχήμα 5.5 Γραμμή 4. 2D γεωηλεκτρική τομή.

Με βάση την ερμηνεία των 2D γεωηλεκτρικών τομών, όπως αναφέρονται παραπάνω, οι 2 τομές (Γραμμές 3 και 4), με την ερμηνεία τους τοποθετήθηκαν σε ένα στιγμιότυπο οθόνης που λήφθηκε από το Google Earth. Με κόκκινες διακεκομμένες ελλείψεις απεικονίζονται οι πιθανές ζώνες διάρρηξης κατά μήκος των προφίλ 3 και 4 (Σχήμα 5.6).



Σχήμα 5.6 Απεικόνιση των προφίλ 3 και 4. Οι πιθανές ζώνες διάρρηξης απεικονίζονται ως κόκκινες διακεκομμένες ελλείψεις κατά μήκος προφίλ.

Μετά από τις προαναφερθείσες τομές αντίστασης (Σχήματα 5.2, 5.3, 5.4 και 5.5), ολόκληρη η περιοχή καλύφθηκε από μετρήσεις TEM όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5.7. Είναι σαφές πως έχουμε προσπαθήσει να καλύψουμε την περιοχή μελέτης με όσο πιο πολλές βυθοσκοπήσεις μπορούσαμε. Ορισμένοι περιορισμοί, όπως ο τεχνητός θόρυβος, το αστικό περιβάλλον, κλπ. Προκάλεσαν την απουσία μετρήσεων σε ορισμένες περιοχές.



**Σχήμα 5.7** Απεικόνιση της χωρικής κατανομής των συνολικών μετρήσεων που λήφθηκαν για την 1D και 2D απεικόνιση, όπως φαίνεται στο TEM Research Software.

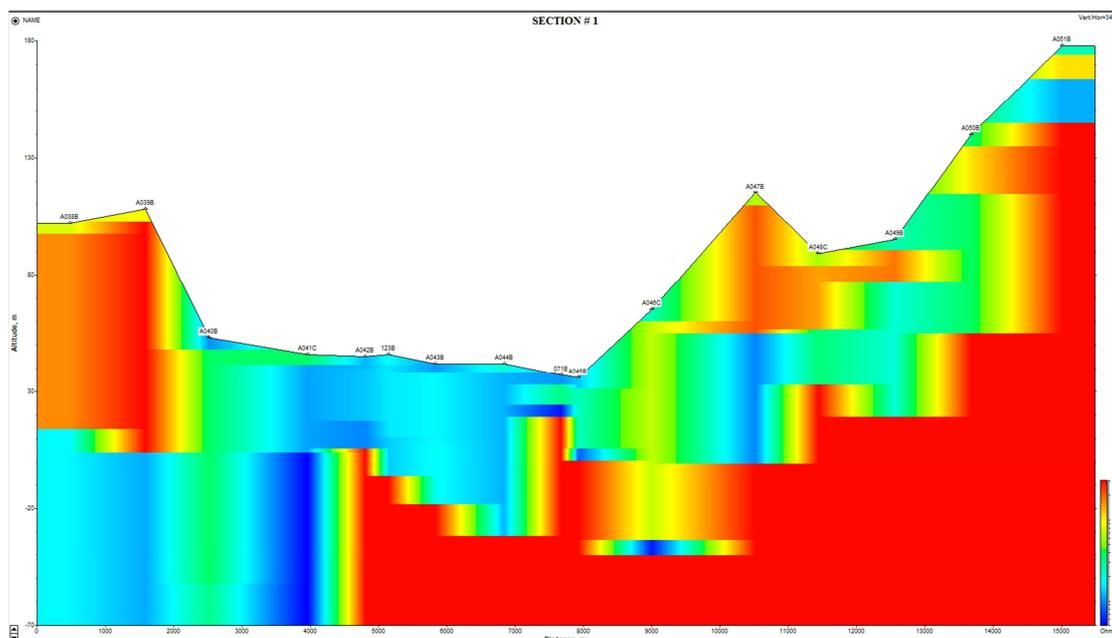
Η τομή 1 παρουσιάζεται στο σχήμα 5.8 που δείχνει τους αριθμούς και τα ονόματα των τελικών ανεστραμμένων βυθοσκοπήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του μοντέλου 2D. Η κάθε τομή αντίστασης έχει στο X άξονα την απόσταση (σε μέτρα) από την πρώτη μέτρηση και στον Z άξονα το απόλυτο υψόμετρο (σε μέτρα).

Η τομή 1 (σχήματα 5.8, 5.9), που κατευθύνεται από τη Δύση προς την Ανατολή έχει συνολικό μήκος 15χλμ και αποτελείται από 16 βυθοσκοπήσεις. Με κόκκινα χρώματα αντιπροσωπεύονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί με υψηλή αντίσταση, καθώς και με μπλε χρώματα αντιπροσωπεύονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί με χαμηλή αντίσταση (ιζήματα, κορεσμένα ιζήματα, μολυσμένα στρώματα ή κορεσμένες ζώνες διάρρηξης).



**Σχήμα 5.8** Απεικόνιση της χωρικής κατανομής των τελικών επεξεργασμένων βυθοσκοπήσεων TEM που χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω μοντελοποίηση και αντιπροσωπευτικά μοντέλα αντίστασης. Η τομή 1 παρουσιάζεται ως συνεχόμενη μαύρη γραμμή (που συνδέει τις βυθοσκοπήσεις TEM).

Το τελικό μοντέλο αντίστασης της τομής 1 (σχήμα 5.9) δείχνει ένα γεωλογικό σχηματισμό υψηλής αντίστασης (βραχώδες/υπόστρωμα της περιοχής), ο οποίος συνεχίζεται μέχρι το βάθος των 10 μέτρων (απόλυτο υψόμετρο) όπου ένας υδροφόρος ορίζοντας (αντιστάσεις περίπου 10-40 Ohm.m) απεικονιζόταν. Μεταξύ 2-4 Km (βυθοσκοπήσεις 40 και 41) κατά μήκος του προφίλ, παρατηρήθηκε διακοπή του βραχώδη σχηματισμού (ζώνη θραύσης). Το υπόβαθρο συνεχίζεται μέχρι το τέλος του προφίλ στο υψόμετρο των 177 μέτρων. Οι αλλαγές στην αντίσταση κατά τη βυθοσκόπηση 047 συσχετίζεται με τις αλλαγές στην γεωλογία (επάλληλα τεκτονικά καλύμματα), οι οποίες ήταν προφανείς. Οι αγώγιμες ζώνες μεταξύ σχηματισμών θεωρούνται ως υδροφόροι ορίζοντες σε επαφή (μεταξύ δύο αγώγιμων σχηματισμών).

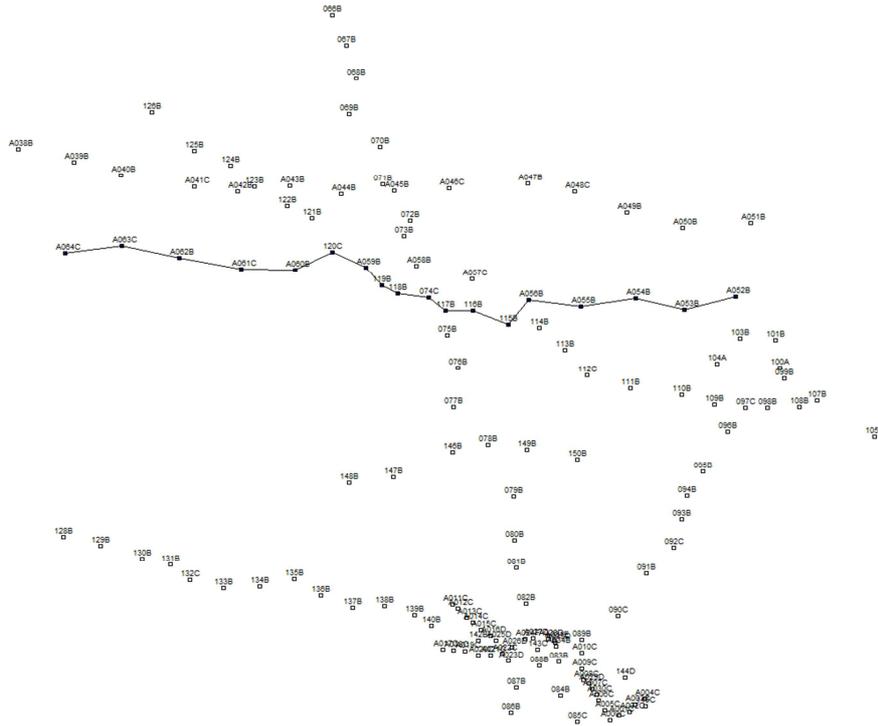


**Σχήμα 5.9** Τομή 1. 2D γεωηλεκτρική τομή δυτικό-ανατολικά της περιοχής μελέτης.

Η τομή 3 (στραβή γραμμή) παρουσιάζεται στο σχήμα 5.10 που δείχνει τους αριθμούς και τα ονόματα των τελικών δεδομένων αντιστροφής των βυθοσκοπήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του μοντέλου 2D. Κάθε τομή στο X άξονα έχει την απόσταση (σε μέτρα) από την πρώτη μέτρηση και στο Z άξονα το απόλυτο υψόμετρο (σε μέτρα).

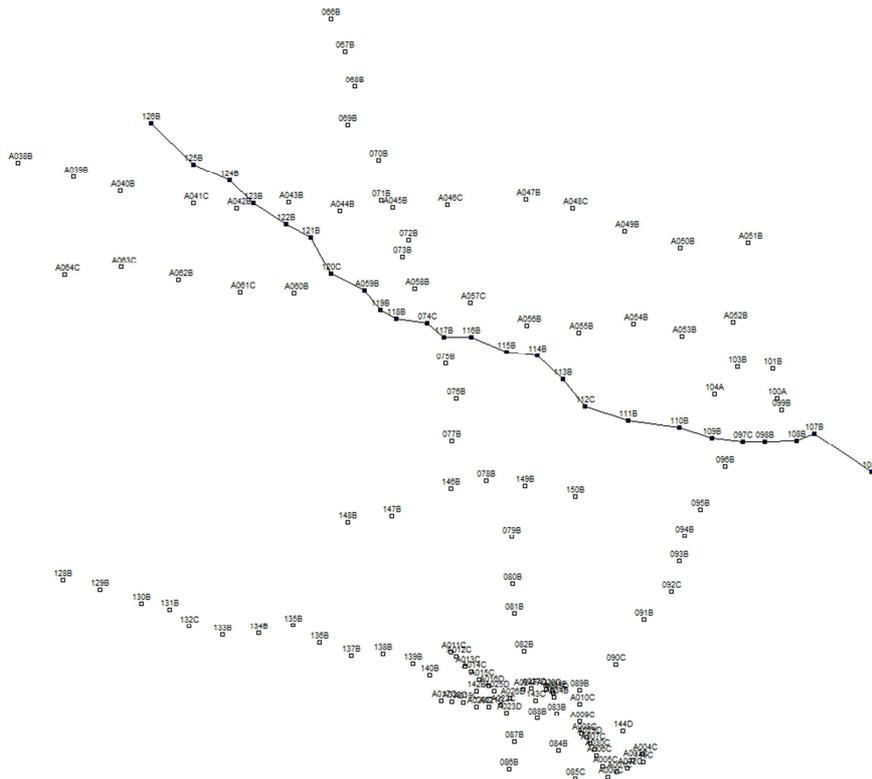
Η τομή 3 (σχήμα 5.11), κατευθύνεται από τη Δύση στην Ανατολή έχοντας συνολικό μήκος σχεδόν 15 χιλιόμετρα και αποτελείται από 18 βυθοσκοπήσεις. Με κόκκινα χρώματα αντιπροσωπεύονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί υψηλής αντίστασης, και τα μπλε χρώματα αντιπροσωπεύουν γεωλογικούς σχηματισμούς χαμηλής αντίστασης (ιζήματα, κορεσμένα ιζήματα, μολυσμένα στρώματα ή κορεσμένες ζώνες θραύσης).

Το τελικό μοντέλο (σχήμα 5.11) της τομής 3 παρουσιάζει ένα γεωλογικό σχηματισμό υψηλής αντίστασης (σκληρός βραχώδης σχηματισμός / υπόστρωμα της περιοχής), ο οποίος συνεχίζεται κατά μήκος του προφίλ. Το υπόστρωμα παρουσιάζει ανωμαλίες, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.11. Κατά τη βυθοσκόπηση 055, βρέθηκε μια πιθανή θραύση (τοπική αφού δεν επιβεβαιώνεται από άλλες μετρήσεις προσαρμογής). Το πάχος του υπερκείμενου ιζηματογενή υποβάθρου, μεταβάλλεται μετά την απελευθέρωση του επιφανειακού υποστρώματος. Οι οριζόντια και σε βάθος αλλαγές στην αντίσταση στο ιζηματογενή στρώμα συσχετίζεται με το βαθμό κορεσμού και τις αλλαγές στη γεωλογία (στρώματα ασυνέχειας, κλπ).



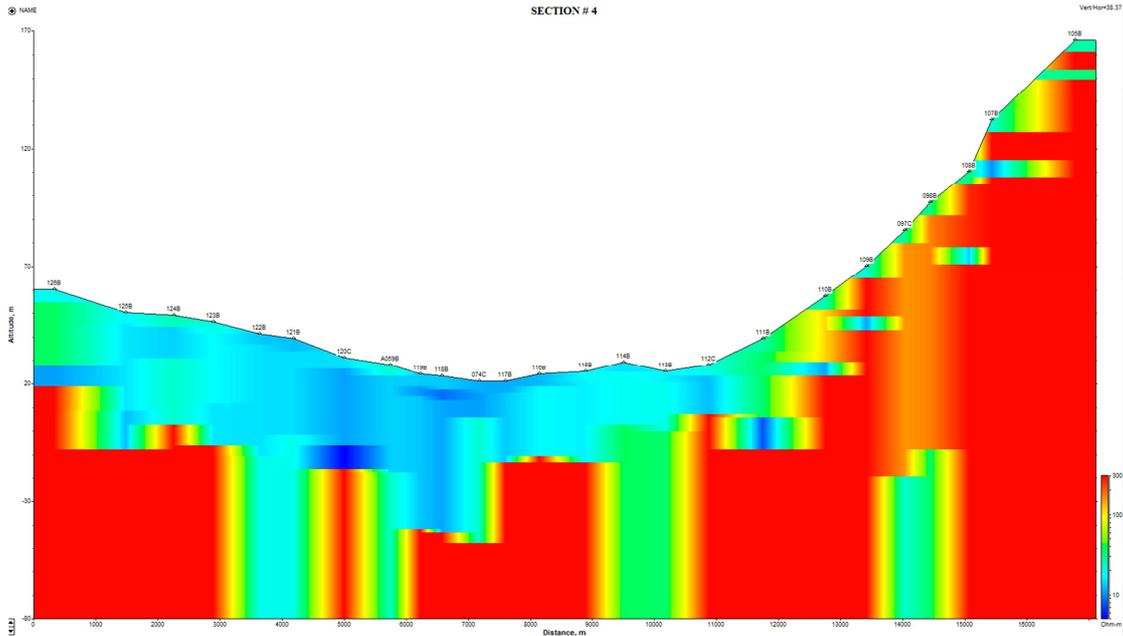
δημιουργία του μοντέλου 2D. Κάθε τομή στο X άξονα έχει την απόσταση (σε μέτρα) από την πρώτη μέτρηση και στο Z άξονα το απόλυτο υψόμετρο (σε μέτρα).

Η τομή 3 (σχήμα 5.13), κατευθύνεται από τη ΒΔ προς ΝΑ έχοντας συνολικό μήκος σχεδόν 17 χιλιόμετρα και αποτελείται από 25 βυθοσκοπήσεις. Με κόκκινα χρώματα αντιπροσωπεύονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί υψηλής αντίστασης, και τα μπλε χρώματα αντιπροσωπεύουν γεωλογικούς σχηματισμούς χαμηλής αντίστασης (ιζήματα, κορεσμένα ιζήματα, μολυσμένα στρώματα ή κορεσμένες ζώνες θραύσης).



**Σχήμα 5.12** Απεικόνιση της χωρικής κατανομής των τελικών επεξεργασμένων βυθοσκοπήσεων TEM που χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω μοντελοποίηση και αντιπροσωπευτικά μοντέλα αντίστασης. Η τομή 4 παρουσιάζεται ως συνεχόμενη μαύρη γραμμή (που συνδέει τις βυθοσκοπήσεις TEM).

Το τελικό μοντέλο της τομής 4 (Σχήμα 5.13) δείχνει έναν γεωλογικό σχηματισμό υψηλής αντίστασης (βραχώδης σχηματισμός/υπόστρωμα της περιοχής), ο οποίος συνεχίζεται κατά μήκος του προφίλ. Στις βυθοσκοπήσεις 122 και 121, παρουσιάζεται μια πιθανή ζώνη θραύσης (τοπική αφού δεν επιβεβαιώνεται από άλλες μετρήσεις προσαρμογής). Το πάχος του υπερκείμενου ιζηματογενή σχηματισμού, μεταβάλλεται μετά την απελευθέρωση του επιφανειακού αναγλύφου. Οι οριζόντια και σε βάθος αλλαγές στην αντίσταση στον ιζηματογενή σχηματισμό συσχετίζεται με το βαθμό κορεσμού και οι αλλαγές στη γεωλογία (τα στρώματα ασυνέχειας, κλπ). Στη βυθοσκόπηση 097 βρέθηκε η ζώνη διάρρηξης στο υπόβαθρο (γραμμική δομή σε βάθος).

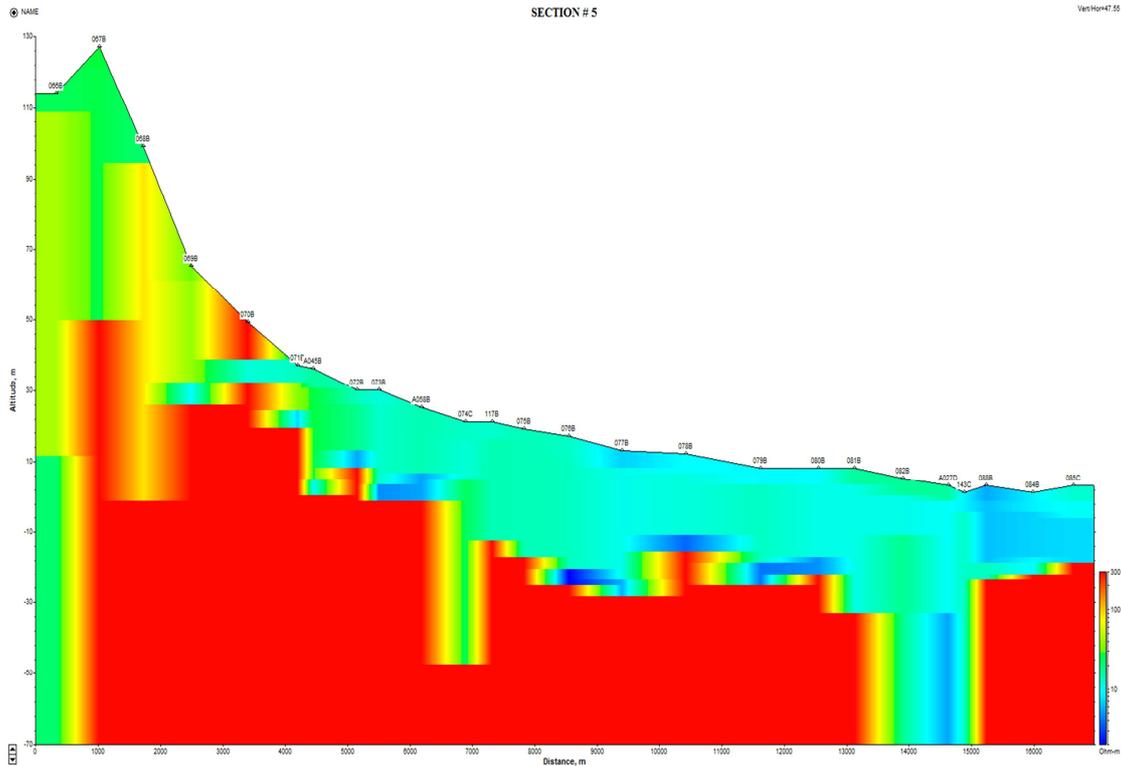


**Σχήμα 5.13** Τομή 4. 2D γεωηλεκτρική τομή ΝΔ της περιοχής μελέτης.

Η τομή 5 παρουσιάζεται στο σχήμα 5.14 που δείχνει τους αριθμούς και τα ονόματα των τελικών ανεστραμμένων βυθοσκοπήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του μοντέλου 2D. Κάθε τομή έχει στο X άξονα την απόσταση (σε μέτρα) από την πρώτη μέτρηση και στο Z άξονα το απόλυτο υψόμετρο (σε μέτρα).

Η τομή 5 (σχήμα 5.15), κατευθύνεται από ΒΒΔ προς ΝΝΑ έχοντας συνολικό μήκος περίπου 17 χιλιόμετρα και αποτελείται από 25 βυθοσκοπήσεις. Τα κόκκινα χρώματα αντιπροσωπεύουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς με υψηλή αντίσταση, και τα μπλε χρώματα αντιπροσωπεύουν γεωλογικούς σχηματισμούς με χαμηλή αντίσταση (ιζήματα, κορεσμένα ιζήματα, μολυσμένα στρώματα ή κορεσμένες ζώνες θραύσης).



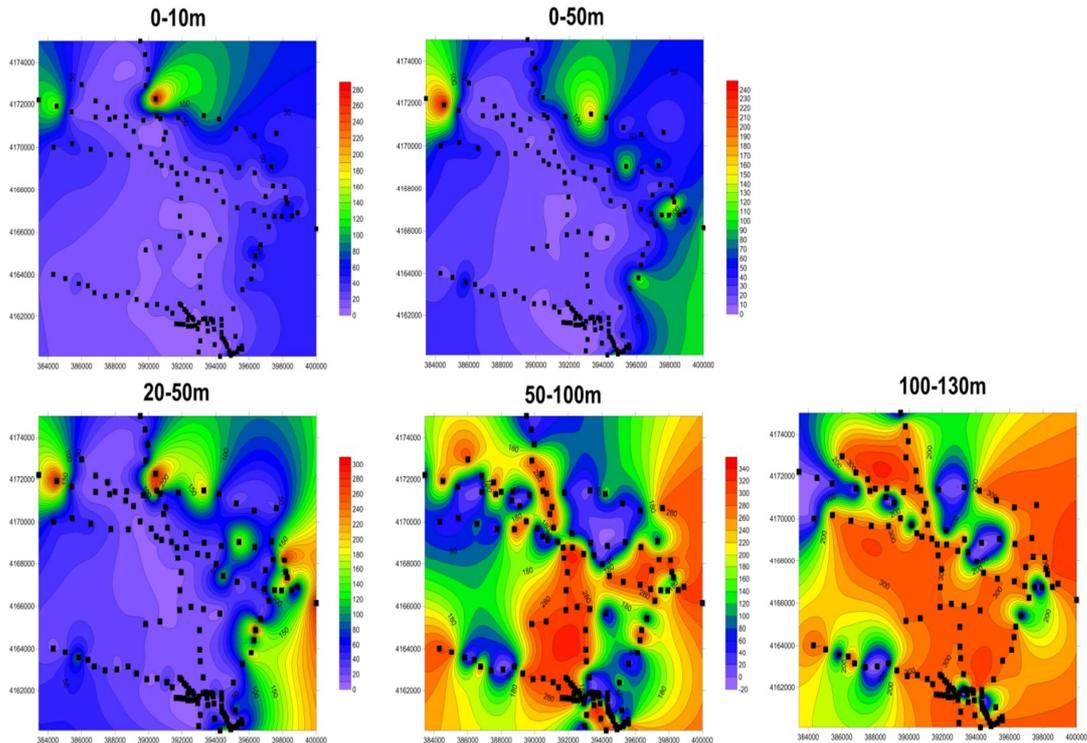


**Σχήμα 5.15** Τομή 5. 2D γεωηλεκτρική τομή από ΒΒΔ προς ΝΝΑ της περιοχής μελέτης.

## 5.2 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ 3D ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Το τελικό ανεστραμμένο 1D μοντέλο από όλα τα διαθέσιμα δεδομένα TEM τελικά συγχωνεύτηκε για να σχηματίσει τομές που διαφοροποιούνται με το βάθος. Η οροφή και το κάτω μέρος του κάθε στρώματος ορίστηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό TEM-RES. Έτσι, οι επιλεγμένες στιβάδες λήφθηκαν, όπου κάθε στρώση περιλαμβάνει την πληροφορία της μέσης αντίστασης (σε Ohm.m) κάθε σημείου.

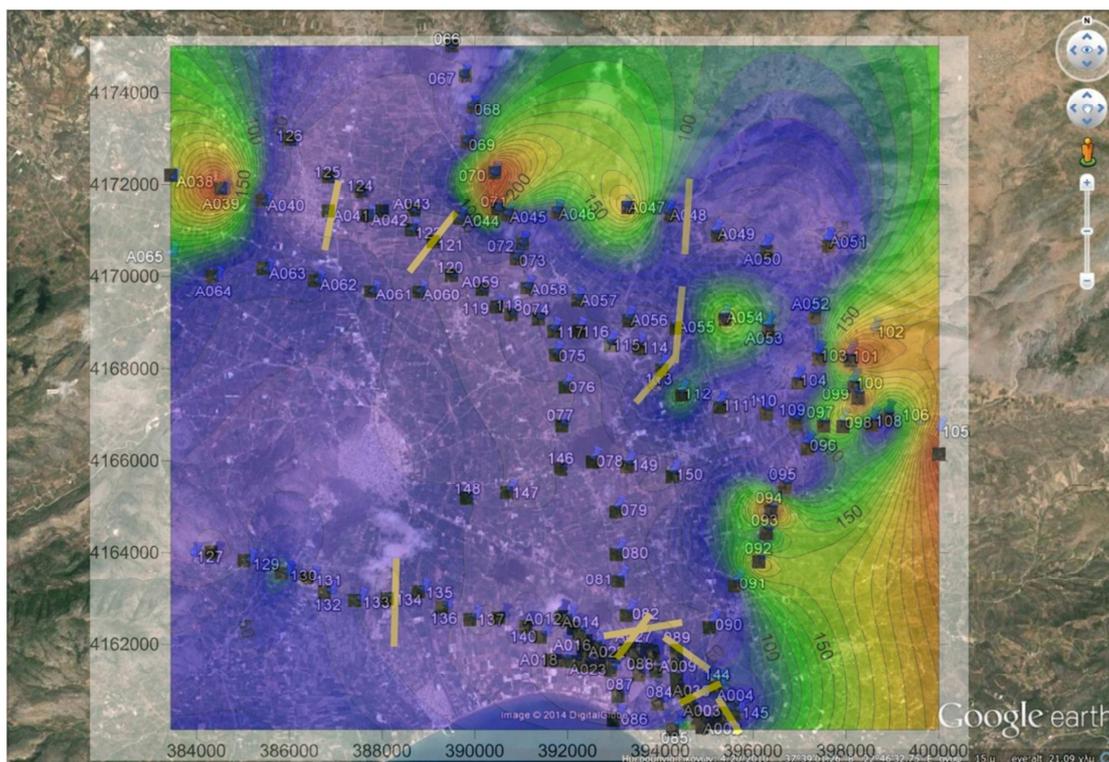
Για παράδειγμα, για την πρώτη στρώση (0,0-10,0 μέτρα βάθος από την επιφάνεια του εδάφους) για καθένα από τα 142 σημεία, λήφθηκε μία μέση τιμή αντίστασης (για τα 10 μέτρα μόνο). Στη συνέχεια, όλες αυτές οι πληροφορίες εισήχθησαν στο Surfer Software (Gold Software) για τη κατασκευή χωρικού χάρτη κατανομής (ένας χάρτη για κάθε στρώμα). Η kriging μέθοδος παρεμβολής χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των χωρικών χαρτών κατανομής της αντίστασης.



**Σχήμα 5.16** Απεικόνιση 5 τομών βάθους όπου απεικονίζεται η χωρική κατανομή αντίστασης σε διαφορετικά βάθη (0-10 μέτρα, 0-50 μέτρα, 20-50 μέτρα, 50-100 μέτρα, 100-130 μέτρα).

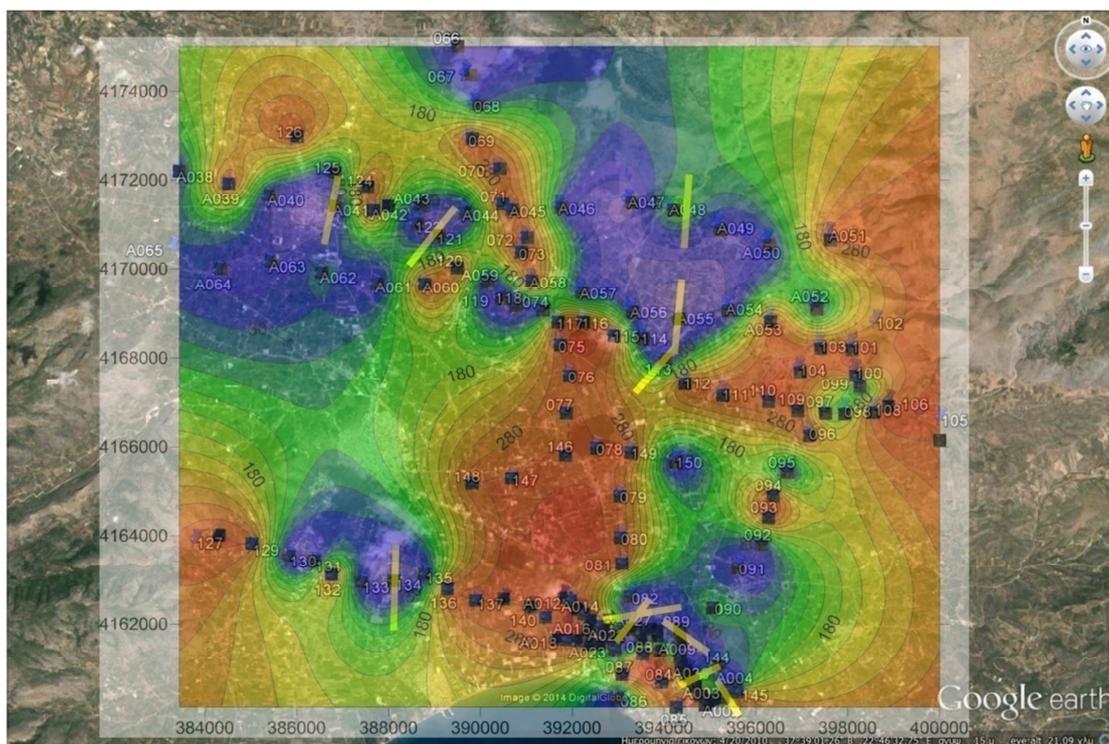
Δημιουργήθηκαν πέντε τομές κατανομής βάθους (σχήμα 5.16). Οι πρώτες 2 τομές (0-10 μέτρα και 0-50 μέτρα) επιλέχθηκαν για τη σύγκριση των χαρτών αντίστασης με τους γεωλογικούς χάρτες της περιοχής μελέτης. Σε αυτή την περίπτωση, είναι εύκολο να συσχετιστούν οι αντιστάσεις με γνωστούς γεωλογικούς σχηματισμούς.

Μετά από αυτό, η τρίτη βάθος τομή (20-50m) (σχήμα 5.17) επιλέχθηκε για τον σχεδιασμό των ζωνών θραύσης όπως ορίστηκαν από την απεικόνιση των μοντέλων 2D από τις μετρήσεις TEM. Οι ζώνες θραύσης απεικονίζονται ως κίτρινες γραμμές στα προφίλ στα οποία παρατηρήθηκαν. Υποθέσαμε ότι οι απεικονιζόμενες ζώνες διάρρηξης είναι κάθετα προς τα προφίλ, αλλά έχουμε πάντα κατά νου ότι ίσως αυτή η κατεύθυνση μπορεί να είναι η φαινομενική γωνία κλίσης και όχι η πραγματική γωνία κλίσης της ζώνης θραύσης.



Σχήμα 5.17 Τομή βάθους για τα 20-50 μέτρα.

Η τέταρτη τομή βάθους (50-100 μέτρα) παρουσιάζεται στο σχήμα 5.18, προσδιορίζοντας τις ζώνες διάρρηξης καθώς και τη χωρική κατανομή της αντίστασης. Οι ζώνες θραύσης απεικονίζονται ως κίτρινες γραμμές, κάθετες στα προφίλ, στα οποία παρατηρήθηκαν.

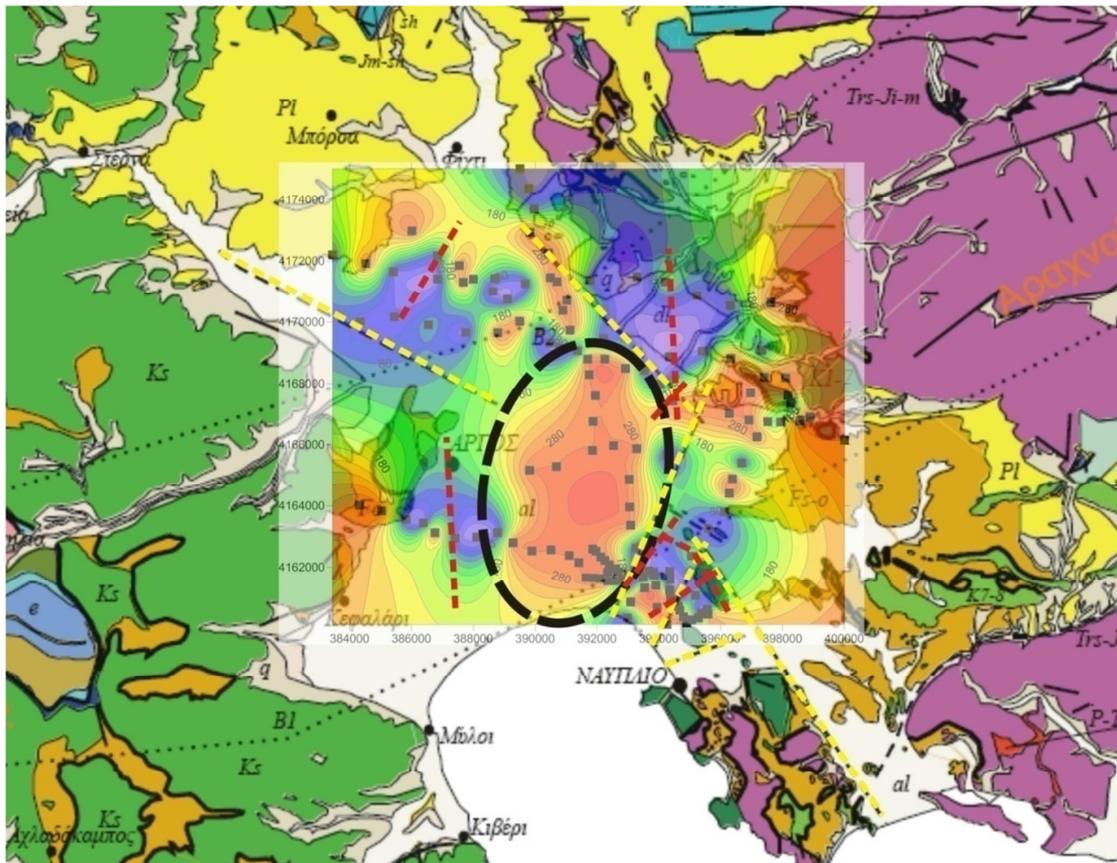


Σχήμα 5.18 Τομή βάθους για τα 50-100 μέτρα.

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων TEM και την κατασκευή ενός μοντέλου 3D (που απεικονίζει κυρίως τεκτονικά χαρακτηριστικά) για την περιοχή μελέτης, προσπαθήσαμε να επαληθεύσουμε ή να συγκρίνουμε τα αποτελέσματά μας με άλλα που έχουν δημοσιευθεί πρόσφατα.

Στο σχήμα 5.19, παρουσιάζεται ένας γεωλογικός χάρτης, όπως τροποποιήθηκε από τον Γιαννιλόπουλος (2000), συμπεριλαμβανομένων πιθανών ζωνών διάρρηξης, που εμφανίζονται ως διακεκομμένες κίτρινες γραμμές. Οι τεκτονικές γραμμές όπως προέκυψαν από την μοντελοποίηση των μετρήσεων TEM απεικονίζονται ως κόκκινες διακεκομμένες γραμμές. Επίσης παρουσιάζεται η τομή κατανομής αντίστασης για το βάθος των 50-100 μέτρων. Η παχιά μαύρη διακεκομμένη γραμμή απεικονίζει την περιοχή όπου το υπόβαθρο έχει ανυψωθεί όπως αναφέρθηκε παραπάνω στα συμπεράσματά των μοντέλων 2D. Φαίνεται ότι υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των θεωρητικών τεκτονικών ζωνών από τον Γιαννιλόπουλο (2000) και τις ζώνες ρηγμάτων που προέκυψαν από την έρευνα TEM.

Όπως είπε ο Γιαννιλόπουλος (2000) στην σελίδα 23 της διδακτορικής διατριβής του, « Αυτό έδειξε ότι το Αργολικό πεδίο πλαισιώνεται δυτικά από τις γεωτεκτονικές ενότητες Γαβρόβου - Τρίπολης και Ωλονού - Πίνδου ενώ σε τεκτονικό παράθυρο απαντά και το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Πελοποννήσου. Χαρακτηριστικό της τεκτονικής τους δομής είναι οι επάλληλες επωθήσεις και επιπτεύσεις καθώς και οι διαρρήξεις ενώ η πτυχωσιγενής τεκτονική έχει διαμορφώσει πτυχώσεις διεύθυνσης ΒΒΔ-NNA, ο άξονας των οποίων βυθίζεται NNA. Ανατολικά, αναπτύσσονται ανθρακικοί κυρίως σχηματισμοί της Πελαγονικής ενώ το αλπικό υπόβαθρο του Αργολικού πεδίου δομείται εν μέρει από σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται βιβλιογραφικά (Παπασταματίου κ.α, 1970, Τάταρης κ.α 1964) ως μεταβατικοί σχηματισμοί από την ενότητα της Πίνδου στην Πελαγονική. Σύμφωνα με τις μοντέρνες αντιλήψεις (βλ. π.χ. Παπανικολάου κ.α 1986) ανάλογοι σχηματισμοί εντάσσονται στην ενότητα της Υποπελαγονικής. Το Αργολικό πεδίο είναι πληρωμένο από Τεταρτογενείς αποθέσεις ενώ στις βορειοδυτικές κυρίως παρυφές του αναπτύσσονται επιφανειακά Νεογενείς σχηματισμοί. »



Σχήμα 5.19 Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της κοιλάδας Αργολίδας, όπως πάρθηκε από το ΙΓΜΕ (κλίμακα 1:50.000) και τροποποιήθηκε από τον Γιαννουλόπουλο (2000). Επίσης απεικονίζεται η τομή βάθους 50-100m).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bannert D. (1972), Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Λυγουριό, κλ. 1:50.000. ΙΓΜΕ

Chen C.-S. (1999). TEM Investigations of Aquifers in the Southwest Coast of Taiwan. *GroundWater*, 37 (6), 890-896.

Fitterman, D.V., & Stewart, M.T. (1986). Transient electromagnetic sounding for groundwater. *Geophysics*, 51 (4), 995-1005.

Hoekstra, P., Harthill, N., Blohm, M. & Phillips, D.R. (1996) : Definition of a critical confining zone using surface geophysical methods. *SAGEEP 1996 Proceedings*, 387-391.

Mandel S. and Shiftan L.Z. (1981), *Groundwater Resources. Investigation and Development. Water Pollution, A series of Monographs.* Academic Press Inc.

Meju, M.A. (1994). *Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory and Practice (Course Notes Series, Vol 6).* Oklahoma: Society of Exploration Geophysicists.

Wever De P. (1975), Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, *Φύλλο Κανδήλα*, κλ. 1:50.000. ΙΓΜΕ

Γαϊτανάκης Π., Α. Μέττος, Μ Φύτικας (1981), Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Σοφικό. 1:50.000. ΙΓΜΕ

Γαλέος Α. (1967), Μελέτη επί των (αλλουβιακών) αποθέσεων του Αργολικού πεδίου δια την εύρεσιν της συμπεριφοράς και της χωρητικότητας των υδροφόρων αυτού. ΥΠΓΕ (ΥΕΒ), Αθήνα

Γιαννουλόπουλος Π., 2000. Υπόγεια υδραυλική και μαθηματικά μοντέλα στο Αργολικό πεδίο. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 362 σελ.

Γιάσογλου Ν., Νυχάς Α. Αποστολάκης Κ και Κοσμάς Κ. (1983), Εδαφολογική Μελέτη περιοχής Αργολικού Πεδίου ΥΠ.ΓΕ.

Εξηναβελώνης Π και Στ. Τακτικός (1981), Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Τρίπολις, κλ. 1:50.000. ΙΓΜΕ

Θεοδωρόπουλος Δ, και Παπαπέτρου - Ζαμάνη Α. (1970), Γεωλογικά και φυσιογραφικά έρευναι επί του Αργολικού πεδίου. *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, Vol 22, pp 269-294

Καροτσιέρης Ζ. (1981), Γεωλογικές έρευνες στην ευρύτερη περιοχή της Βυτίνας (Κεντρική Πελοπόννησος). Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών σελ. 202.

Καρράς Σ.Γ., (1973), Κλιματική Ταξινόμηση της Ελλάδος κατά Thornthwaite. Διατριβή επί Διδακτορία, Αθήνα 1973.

Λέκκας Σ. (1978). Donnes nouvelles sur la stratigraphie et la structure de la region au SE de Tripolis. Ann. Geol. Pays Hell., pp 169-174.

Μαριολόπουλος Γ.Η, (1936), Η διανομή των Μετεωρολογικών στοιχείων εν Ελλάδι. Υπομνήματα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Σειρά II. Μετεωρολογία Αριθ. 1.

Μπορνόβας Ι και Ν. Λαλεχός (1969), Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Κόρινθος, κλ. 1:50.000. ΙΓΕ.

Παπανικολάου Δ. (1986), Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα 1986. Σελ. 240.

Παπασταματίου Ι, Δ. Βετούλη, Α. Τάταρης, Γ. Χριστοδούλου, Ι. Μπορνόβας, Ν. Λαλεχός, και Γ. Κούνης (1970), Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Αργος, κλ. 1:50.000. ΙΓΕΥ.

Πουλοβασίλης Α (1963), Εδαφολογική Αναγνωριστική Εκθεση Αργολικού Πεδίου. Υπουργείο Γεωργίας, ΥΕΒ, Δνση Ι, Τμήμα Δ.

Πουλοβασίλης Α, Μιμίδης Θ, Γιαννουλόπουλος (1996), Ερευνητικό πρόγραμμα: "Χρησιμοποίηση για άρδευση του φράγματος του νερού Κιβερίου Αργολίδας και παρακολούθηση και αντιμετώπιση της υπαλμύρωσης των υπόγειων νερών του Αργολικού πεδίου". Γεωπονικό πανεπιστήμιο Αθηνών Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής. Επιστημονικός Υπεύθυνος Α. Πουλοβασίλης.

Πουλοβασίλης Α. κ.α (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα: "Ορθολογική Εφαρμογή της Άρδευσης και αποστράγγισης κάτω από Ελληνικές Συνθήκες. Εξατμισοδιαπνοή". Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής. Επιστημονικός Υπεύθυνος Α. Πουλοβασίλης

Πουλοβασίλης Α, Μιμίδης Θ, Γιαννουλόπουλος (1996), Σημειώσεις Υδραυλικής Υπόγειων Νερών. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο γεωργικής υδραυλικής.

Πουλοβασίλης Α. (1963), Προτάσεις διάνοιξης στρωματογραφικών γεωτρήσεων και εγκατάστασης πιεζομέτρων. ΥΠ.ΓΕ

Πουλοβασίλης Α. (1963), Προτάσεις επί του εμπλουτισμού του φρεάτιου ορίζοντος και των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων του Αργολικού πεδίου. ΥΠ. ΓΕ(28/8/63).

Στασινόπουλος Κ και Πουλοβασίλης Α. (1965), Κατατοπιστικό σημείωμα επί του Υδατικού προβλήματος του Αργολικού Πεδίου. ΥΠ.ΓΕ., Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων, Δ/νσις Ι, Τμήμα Ε'.

Σκαρπέλης Ν. (1982), Μεταλλογένεση συμπαγών θειούχων μεταλλευμάτων και Πετρολογία της εξωτερικής μεταμορφικής τεκτονικής ζώνης των Ελληνίδων (Ν.Α. Πελοπόννησος) Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών σελ. 149.

Τάταρης Α και Ν. Μαραγκουδάκης (1964), Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Νεμέα, κλ. 1:50.000. ΙΓΕΥ.

Τάταρης Α., Γ. Καλλέργης και Δ. Κούνης (1964), Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Ναύπλιο, κλ. 1:50.000. ΙΓΜΕ.

Τάταρης και Καλλέργης Γ. (1965), Η γεωλογική δομή του ορεινού όγκου Τραπεζώνας - Αραχναίου και της περιοχής Ναυπλίου - Λυγουριού. ΙΓΕΥ, Αθήνα..

ΥΠ.ΓΕ (1966), Στρωματογραφικά Τομαί Ερευνητικών Γεωτρήσεων Αργολικού Πεδίου. Υπουργείο Γεωργίας, Υπηρεσία Εργείων Βελτιώσεων, Δνσις Ι, Γεωλογικών Εργαστήριον, Αθήνα 1966.

ΥΠ.ΓΕ (1967), Κεφαλάρι – Άργους. Υδρογεωλογική Έρευνα Πηγών. Εκθεσις – Τομαί γεωτρήσεων. Από Ελληνική Εταιρία Θεμελιώσεων.

ΥΠ.ΓΕ (1970), Στρωματογραφικά Τομαί Αργολικού πεδίου, Υπουργείο Γεωργίας, ΥΕΒ, Τομεύς Αργολίδας. Υπό Θεωδ.Γιοκατζή- ΥΕΒ.