

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**



**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ**

---



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***"ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ  
ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ  
ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΟ-ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΡΗΤΗ"***

**Νάσκαρη Μαργαρίτα  
Σαράντη Ουρανία-Θεοδώρα**

*Επιβλέπουσα καθηγήτρια:  
Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη*

**ΧΑΝΙΑ 2010**



**BRANCH OF CHANIA**



**DEPT OF NATURAL RESOURCES & ENVIRONMENT  
SECTION OF WATER RESOURCES & GEOENVIRONMENT  
LAB OF GEPPHYSICS & SEISMOLOGY**

---



**THESIS**

***Application of TEM geophysical method for intrusion of basin  
of Geropotamos, Rethimno, Crete, Greece***

**Naskari Margarita  
Saranti Ourania- Theodora**

*Supervisor*  
***Dr. Despina Kalisperi***

**CHANIA 2010**

*Αφιέρωση*

*Στις οικογένειες μας...*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα πτυχιακή εκπονήθηκε στα πλαίσια των Σπουδών, του Τμήματος Διαχείριση Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Τεί Κρήτης, την περίοδο Οκτώβρη 2009 – Σεπτέμβρη 2010.

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους βοήθησαν με τις γνώσεις και τη συμπαράσταση τους στην εκπόνηση της.

Καταρχάς, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στην Δρ .Δέσποινα Καλησπέρη για την καθοδήγηση, την συμπαράσταση και την εμπιστοσύνη της στην ανάθεση αυτής της πτυχιακής. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Δρ. Σουπιό για την παραχώρηση των δεδομένων που ανήκουν στο εργαστήριο Γεωφυσικής.

Κλείνοντας, νιώθουμε την ανάγκη να δώσουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μας, τα αδέρφια μας και τους κοντινούς μας ανθρώπους για την συμπαράσταση και την κατανόηση τους.

Νάσκαρη Μαργαρίτα  
Σαράντη Ουρανία-Θεοδώρα  
Χανιά, 6 Ιουλίου 2010

## **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Επιβλέπουσα: Δρ. Καλησπέρη Δέσποινα

Επιτροπή αξιολόγησης: Δρ. Σουπιός Παντελής

Δρ. Παπαδόπουλος Ηλίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο υδροφόρος ορίζοντας του Γεροπόταμου στη βόρεια-κεντρική ακτή της Κρήτης στην Ελλάδα, εισέβαλε σε κάποια σημεία από το αλμυρό νερό από το Αιγαίο, με αντίκτυπο την παροχή γλυκού νερού για οικιακές και επιχειρηματικές χρήσεις, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας. Η γεωλογική σύσταση της περιοχής μελέτης θεωρείται περίπλοκη, καθώς το Μειόκαινο (βιογενείς ασβεστόλιθοι, μάργες, άργιλοι και κροκαλοπαγή καλλιεργειών) στο κεντρικό και το δυτικό μέρος και οι κλαστικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Τρίπολης και το τεκτονικό κάλυμμα βρίσκεται (το βραχώδες υπόστρωμα) στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Το κάλυμμα φυλλίτη – χαλαζίτη (το οποίο αποτελεί το αρχαιότερο πέτρωμα της περιοχής μελέτης), ορίζει το βόρειο τμήμα της λεκάνης του Γεροποτάμου. Το τοπικό τεκτονικό καθεστώς της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από ρήγματα της ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ κατευθύνσης. Η διερεύνηση του υδροφόρου ορίζοντα με μεταβατική ηλεκτρομαγνητική μέθοδο (TEM) έχει οδηγήσει σε 1D μοντέλα και 2D/3D απεικόνισης των γεωηλεκτρικών δομών, που απεικονίζουν τις ζώνες της αλάτωσης των υπογείων υδάτων στον υδροφόρο ορίζοντα. Οι εβαπορίτες οδήγησαν στην αλάτωση του υπόγειου νερού και η διείσδυση του θαλασσινού νερού είναι η πιο πιθανή αιτία, που υποστηρίζεται από τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας. Επισημαίνεται ότι η διείσδυση του φυσιολογικού ορού είναι πιθανό να συμβεί κατά μήκος των καταγμάτων σε μια ζώνη ρήγματος μέσω άλλων πετρωμάτων χαμηλής διαπερατότητας (φυλλίτες-χαλαζίτες βραχώδες υπόστρωμα), και τονίζεται σε προβλήματα αλάτωσης των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων.

## ABSTRACT

The Geropotamos aquifer on the north - central coast of Crete, Greece, is invaded in some places by salt water from the Aegean Sea, with impact on freshwater supplies for domestic and business uses, including agriculture. The geological setting of the study area is considered complex, as Miocene biogenic limestones, marls, clays and conglomerates crop out in the central and the western part and clastic limestones and dolomites of the Tripolis and Plattenkalk nappe (the bedrock) in the eastern part of the study area. The phyllitequartzite nappe (which forms the oldest rock of the study area) lays on the northern part of Geropotamos basin. The local tectonic regime of the study area is characterized by faults of NW - SE and NE - SW directions. Investigation of the aquifer using Transient lectroMagnetic method (TEM) and has resulted in 1D models and 2D/3D imaging of geoelectric structures, depicting the zones of salination of groundwater in the aquifer. Suggestions that Miocene evaporites led to groundwater salination are unconfirmed, and seawater intrusion is the most probable cause, supported by the results of this research. It is indicated that saline intrusion is likely to occur along fractures in a fault zone through otherwise low - permeability phyllite - quartzite bedrock, and it is emphasized the critical role of fracture pathways in salination problems of coastal aquifers.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>7</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	<b>11</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>12</b>
<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	<i>12</i>
1.1 Σκοπός της πτυχιακής	12
1.2 Γενικές πληροφορίες για την περιοχή μελέτης	12
1.2.1 Έκταση-πληθυσμός και υδρολογική λεκάνη	12
1.2.2 Τοπική οικονομία	13
1.2.3 Απαίτηση σε νερό	14
1.3 Γεωμορφολογικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης	15
1.3.1 Γεωμορφολογία	15
1.3.2 Υδρομετεωρολογικά και υδρολογικά δεδομένα	15
1.3.3 Γεωλογία: σύντομη αναφορά	17
1.3.4 Υδρογεωλογία	17
1.3.5 Πρόβλημα περιοχής-Υφαλμύριση	18
1.4 Περίγραμμα	18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>19</b>
<i>ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ-ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΕΜ ΠΑΡΕΛΘΟΝΤΟΣ</i>	<i>19</i>
2.1 Εισαγωγή	19
2.2 Γεωλογική τοποθεσία	19
2.2.1 Γεωδυναμική εξέλιξη Αιγαίου	19
2.2.2 Εισαγωγή γεωλογίας	20
2.2.3 Γεωλογία Κρήτης	20
2.2.4 Αλπικά και Προ-αλπικά πετρώματα	21
2.2.5 Μετά-αλπικά πετρώματα	22
2.2.6 Γεωλογική εξέλιξη	23
2.2.7 Γεωλογία Γεροποτάμου	25
2.2.8 Υδρογεωλογία περιοχής	26



2.2.9 Προέλευση του θαλασσινού νερού-----	30
2.2.9.2 Εβαπορίτες -----	31
2.2.10 Υφαλμύριση -----	32
2.2.11 Μέθοδοι αναγνώρισης διείσδυσης θαλασσινού νερού-----	32
2.2.11.1 Γεωφυσικοί μέθοδοι -----	32
2.2.11.2 Προβλήματα υφαλμύρισης σε όλο τον κόσμο-----	33
2.2.11.2.2 Βόρεια Αγγλία-----	34
2.2.11.2.3 Δανία -----	35
2.2.11.2.4 Γουατεμάλα-----	35
2.2.11.2.5 Αυστραλία -----	36
2.2.11.2.6 Ταιβάν-----	37
2.2.11.2.7 Σικελία -----	37
2.2.11.2.8 Βολιβία -----	38
2.2.11.2.9 Αίγυπτος-----	39
2.2.11.2.10 Ανθεμόντας, Ελλάς-----	39
2.2.11.2.11 Νότια και Βόρεια Καρολίνα -----	40
2.2.11.2.12 Νικαράγουα -----	41
2.2.11.2.13 Πουέρτο Ρίκο -----	42
2.2.11.2.14 Γουινέα-----	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 -----	44
3.1 Εισαγωγή-----	44
3.2 Γεωφυσικές μετρήσεις-----	44
3.3 Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος TEM-----	44
3.4 Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος-βασικές αρχές-----	44
3.5 TEM –FAST 48 SYSTEM-----	46
3.6 Περισσότερες πληροφορίες για την θεωρία TEM (βασισμένο στην ταχεία τεχνολογία TEM)-----	50
3.7 Σφάλματα στην βυθοσκόπηση TEM-----	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 -----	53
<i>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ, ΑΝΑΛΥΣΗ, ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</i> -----	53
4.1 Εισαγωγή-----	53
4.2 TEM-Τεχνικές μέθοδοι-----	54
4.3 Μετρήσεις TEM στην περιοχή μελέτης του Γεροπόταμου-----	54
4.4 Επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων TEM-----	54
4.5 Μοντελοποίηση δεδομένων TEM-----	56
4.6 1D μοντέλο-----	59

4.7 Εικόνα 3D των δεδομένων του TEM -----	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 -----	67
5.1 Εισαγωγή-----	67
5.2 Μια αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ της γεωμορφολογίας, τύποι πετρωμάτων και η δομή τους-----	67
5.3.3 D απεικόνιση TEM και ποιότητα των υπογείων νερών -----	70
5.4 Απλό υδρογεωλογικό μοντέλο -----	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 -----	73
<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</i> -----	73
6.1 Εισαγωγή-----	73
6.2 Συμπεράσματα -----	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ -----	76

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διερεύνηση του φαινομένου της υφαλμύρισης (seawater intrusion) είναι εξαιρετικά σημαντική επειδή αποτελεί την συνηθέστερη αιτία υποβάθμισης του γλυκού νερού, και σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα σε πολλές παράκτιες περιοχές ανά τον κόσμο. Οι αυξανόμενες ανάγκες σε νερό είναι το κατεξοχήν αίτιο, καθώς προκαλεί μεγαλύτερους ρυθμούς άντλησης με αποτέλεσμα την διείσδυση του αλμυρού νερού σε υδροφορείς που βρίσκονται σε μικρή ή και μεγάλη απόσταση από την ακτή. Επίσης η μείωση του εμπλουτισμού των υδροφορέων λόγω της ελάττωσης των βροχοπτώσεων αποτελεί ένα δεύτερο σημαντικό παράγοντα που τείνει να αυξηθεί με τον χρόνο. Το θέμα έχει απασχολήσει ένα σημαντικό αριθμό ερευνητών σε παγκόσμια κλίμακα. Σήμερα υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία τόσο σε θέματα που αφορούν τα χαρακτηριστικά του φαινομένου όσο και τους τρόπους ανίχνευσης του φαινομένου με διάφορες μεθόδους.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Σκοπός της πτυχιακής

Κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη πιθανής υφαλμύρισης στην περιοχή του Γεροποτάμου Κρήτης, μιας περιοχής κατάλληλης για την ανάπτυξη της γεωργίας και της κτηνοτροφίας.

Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκε η γεωφυσική μέθοδος TEM (Transient ElectroMagnetic Method).

### 1.2 Γενικές πληροφορίες για την περιοχή μελέτης

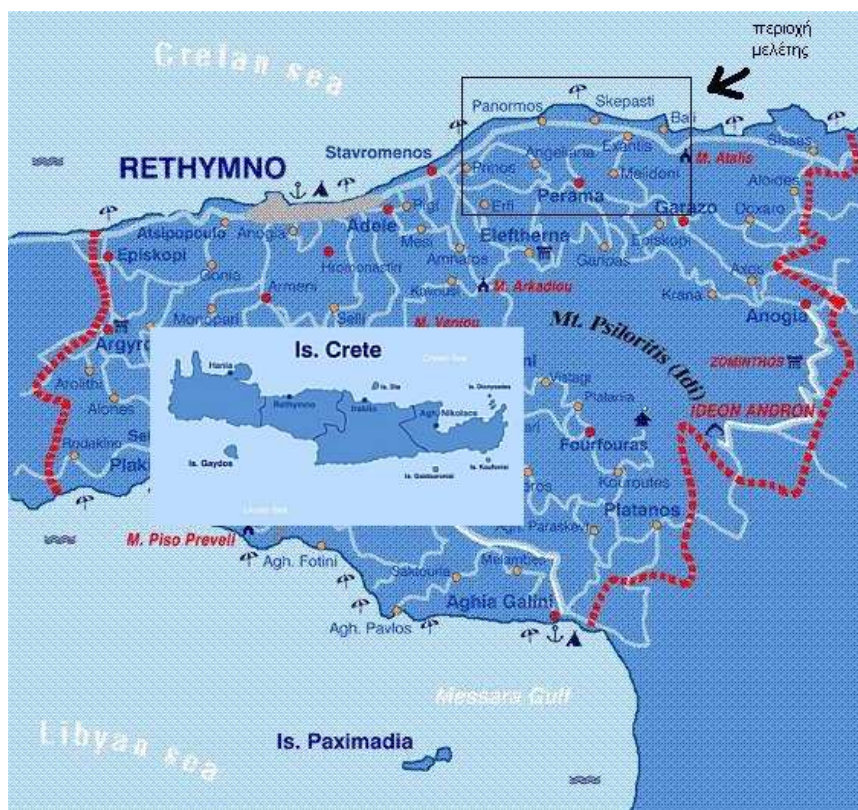
#### 1.2.1 Έκταση-πληθυσμός και υδρολογική λεκάνη

Ο Δήμος Γεροποτάμου βρίσκεται στην βορειοκεντρική ακτή της Κρήτης, περίπου 30km ανατολικά του Ρεθύμνου με πληθυσμό 12658 κατοίκους κι έχει έκταση 197km<sup>2</sup> και αποτελείται από 7 δημοτικά διαμερίσματα (Πέραμα, Αγγελιανά, Αχλάδες, Μελιδόνι, Πάνορμος, Ρούμελη, Σκεπαστή) και 14 χωριά (Πέραμα, Δάφνη, Αγγελιανά, το Χάνι του Αλεξάνδρου, Χανοθιανά, Αχλάδες, Σιριπιδιανά, Σολοκιανά, Μελιδόνι, Εξάδη, Πάνορμο, Λαβρής, Ρούμελη, Σκεπαστή). Στα ανατολικά συνορεύει με το Ν.Ηρακλείου και στα δυτικά με το Δήμο Αρκαδίου.Οι μεγαλύτεροι πληθυσμιακοί οικισμοί είναι τα Αγγελιανά, το Χούμερι, η Ρουμελή, οι Σίσσες, το Μπαλί και ο Πάνορμος.

Σύμφωνα με την κατανομή επιφανειών του (Ζαρρής, 2008) το 81% της επιφάνειας του Δήμου Γεροποτάμου βρίσκεται σε υψόμετρο μέχρι και 500m.Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής βρίσκεται στο μέσο τμήμα του ποταμού Γεροποτάμου ο οποίος έχει διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ και εκβάλλει στον οικισμό Πάνορμο.

Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Γεροποτάμου έχει πιο ορεινή μορφολογία και έκταση 376km<sup>2</sup>.Επεκτείνεται υψομετρικά μέχρι και 2100 περίπου που είναι οι κορυφές του Ψηλορείτη με μέσο υψόμετρο +640m.διπλάσιο του αντίστοιχου της περιοχής του Δ.Γεροποτάμου. Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου ακολουθεί δενδριτική μορφή γενικά

με τοπικές διαφοροποιήσεις ακτινωτής μορφής σε περιοχές με ανθρακικές εξάρσεις εν μέσω αδιαπέρατων σχηματισμών όπως μάργες και φυλλίτες (Μελιδόνι). (Ζαρρής, 2008).



**Εικόνα 1:** το μαύρο πλαίσιο διευκρινίζει την περιοχή μελέτης η οποία είναι στην βορειο-κεντρική Κρήτη.

### 1.2.2 Τοπική οικονομία

Η οικονομία του Δήμου Γεροποτάμου είναι βασισμένη στην ανάπτυξη της γεωργίας, κτηνοτροφίας, ελάχιστα της βιομηχανίας και στον τομέα του τουρισμού.

Στον Δήμο Γεροποτάμου το μεγαλύτερο ποσοστό των καλλιεργειών είναι ελιές και ένα μικρό τους μέρος αποτελείται από άλλους καρπούς όπως λαχανικά φρούτα και σταφύλια.

Η κτηνοτροφία περιλαμβάνει πρόβατα και αίγες (περίπου 65000 ζώα). Υπολογίζεται ότι η απαίτηση του νερού είτε για την γεωργία είτε για την εκτροφή κάθε πρόβατου και αίγας για το δήμο Γεροποτάμου για το 2005 είναι  $18000000\text{m}^3/\text{έτος}$ . (General Secretariat of National Statistical Service of Greece, 2008).

Η ελάχιστη βιομηχανία του Δήμου Γεροποτάμου αποτελείται από 9 εργοστάσια λαδιού, δύο μικρές τσιμεντοβιομηχανίες και ένα τοπικό μικρό εργοστάσιο που παράγει υλικά για την τροφή των ζώων.

Ο τουρισμός για την περιοχή του Γεροποτάμου αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της τοπικής οικονομίας. Το πιο δημοφιλές θέρετρο είναι ο Πάνορμος που βρίσκεται στο βορειότερο τμήμα και είναι κατάλληλο για διακοπές κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, όπου υπάρχουν πάνω από 5 πολυτελή ξενοδοχεία και ξεχωριστά διαμερίσματα δίπλα στην θάλασσα.

Ακόμη, ένα δημοφιλές μέρος είναι η σπηλιά του Μελιδονιού που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό μέρος της περιοχής, βορειοδυτικά του χωριού του Μελιδονιού. Το μέρος αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, διότι έχουνε βρεθεί αρχαιολογικά ευρήματα τα οποία βρίσκονται στο Αρχαιολογικό μουσείο του Ρεθύμνου. Επίσης, η σπηλιά αυτή ενδείκνεται να ήταν το μυθικό σπίτι του Τάλου, ο γιγαντιαίος χαλκός, προστάτης της Κρήτης (Psilakis, 1996).



**Εικόνα 2α:** βλέπουμε πολυτελή ξενοδοχείο του Γεροποτάμου.

**Εικόνα 2β:** βλέπουμε την σπηλιά του Μελιδονιού και τον τουρισμό του.

### 1.2.3 Απαίτηση σε νερό

Δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες για την ανάγκη του νερού του τοπικού πληθυσμού. Το νερό που απαιτείται υπολογίζεται περίπου 2.000.000 m<sup>3</sup> /έτος, το οποίο είναι βασισμένο σε αξιόπιστα δεδομένα από το Δήμο Γεροποτάμου του έτους 1999 και 2000. Τα παραπάνω στοιχεία δεν απεικονίζουν την αληθινή κατάσταση δηλαδή την κανονική κατανάλωση νερού. Στην πραγματικότητα ο όγκος του νερού καταναλώνεται για παροχή και για άρδευση αλλά αυτό δεν φαίνεται σωστά εξαιτίας των σωλήνων ή διαρροών ή κακών μετρητών νερού και παράνομη χρήση του νερού στα δημόσια φρεάτια.

### **1.3 Γεωμορφολογικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης**

#### **1.3.1 Γεωμορφολογία**

Η λεκάνη του Γεροποτάμου υπολογίζεται ως περιοχή 375km<sup>2</sup> και η σειρά ανύψωσης 0-2,456 m και μέσο υψόμετρο 664,8m. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο βόρειο κομμάτι της λεκάνης και καλύπτεται από 66.4m<sup>2</sup>. Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από ημιορεινά πεδινά και το φάσμα ανύψωσης είναι 0-502m με μέσο υψόμετρο 106,4m.

#### **1.3.2 Υδρομετεωρολογικά και υδρολογικά δεδομένα**

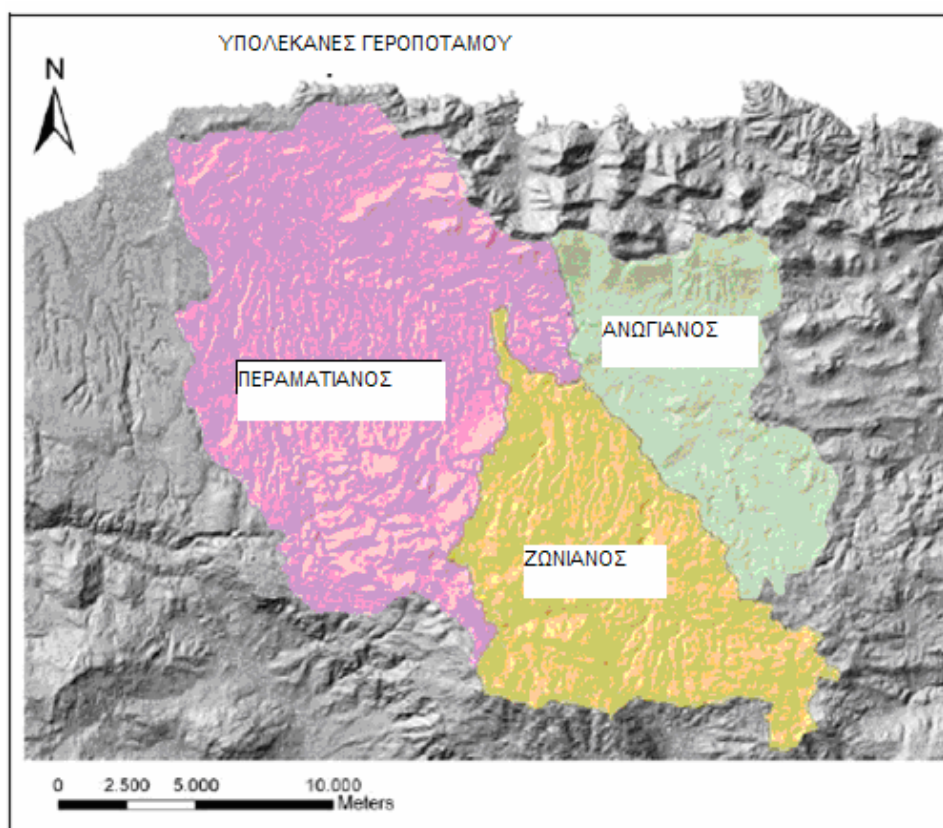
Η Κρήτη έχει ένα κλίμα το οποίο επηρεάζεται από το Μεσογειακό σύστημα καιρού. Ξηρό, ζεστά καλοκαίρια και υγρασία, ήπιοι χειμώνες είναι τυπικά χαρακτηριστικά του καιρού της Κρήτης. Η βροχόπτωση που έχει τον περισσότερο χώρο στο χειμώνα, κυμαίνεται από 300-700mm ετησίως στην παράκτια ζώνη και από 700-1000mm στις πεδιάδες της ηπειρωτικής Κρήτης όπου τα βουνά φτάνουν τα 2000 mm. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος είναι οι πιο ζεστοί μήνες και αυτή την περίοδο έχουμε την χαμηλότερη βροχόπτωση. Πέρα από τις διαφορές που υπάρχουν εξαιτίας του υψόμετρου υπάρχει επίσης διαφορά στο δυτικό με το ανατολικό κομμάτι. Το ανατολικό κομμάτι είναι πιο ξηρό και πιο ζεστό από το δυτικό κομμάτι όπου είναι φανερό στη βλάστηση. Η θερμοκρασία δείχνει μεγάλη ποικιλία από 17-20<sup>0</sup>C και κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου μπορεί να έχουμε θερμοκρασίες υψηλότερες από 40<sup>0</sup>C όπου αυτό συμβαίνει στην παράκτια ζώνη (Chartzoulakis, 2001).

Διάφορες τοπικές αρχές εγκατέστησαν μετεωρολογικούς σταθμούς στην Κρήτη (ΥΕΒ, ΕΜΥ, ΥΠΕΧΩΔΕ), αλλά η περιοχή μελέτης δεν καλύφθηκε. Υπάρχουν 6 σταθμοί των οποίων τα δεδομένα μπορεί να χρησιμοποιηθούν για υδρολογική έρευνα (3 στην λεκάνη και 3 κοντά στην λεκάνη ανατολικά) (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1:Μετεωρολογικοί σταθμοί στην ευρεία περιοχή της λεκάνης Γεροποτάμου (Ζαρρής, 2008).**

/α	Σταθμός	Υπηρεσία	Υψόμετρο(m)	Χρονική περίοδος
	ΓΑΡΑΖΟ	ΥΕΒ	260	1996-2005
	ΑΝΩΓΕΙΑ	ΥΠΕΧΩΔΕ	740	1967-2000
	ΠΕΡΑΜΑ	ΥΠΕΧΩΔΕ	90	1963-2006
	ΒΥΖΑΡΙ	ΥΕΒ	310	1969-2004
	ΚΑΒΟΥΣΙ	ΥΕΒ	580	1969-1996 & 2006-2007
	ΡΕΘΥΜΝΟ	ΕΜΥ	5	1967-1996

Η λεκάνη του Γεροποτάμου αποτελείται από 3 υπολεκάνες:Περαματιανός, Ανωγιανός και Ζωνιανός. Η περιοχή μελέτης είναι στο βορειότερο κομμάτι της υπολεκάνης του Περαματιανού.



**Εικόνα 3:** Υπολεκάνες Γεροποτάμου: Περαματιανός, Ανωγιανός, Ζωνιανός.



### 1.3.3 Γεωλογία: σύντομη αναφορά

Η γεωλογία της επιφάνειας συνθέεται από πλειοπλειστοκαινικές θαλάσσιες καταθέσεις που καθορίζονται στο παλαιότερο στρώμα βράχου. Μειοκαινικές βιογενείς ασβεστόλιθοι, μαργαικοί ασβεστόλιθοι, λατυποκροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμους, μάργες και άργιλοι βρίσκονται στο κεντρικό και ανατολικό κομμάτι της περιοχής μελέτης και οι κλαστικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Τρίπολης βρίσκονται στο δυτικότερο κομμάτι της περιοχής. Το στρώμα φυλλίτη-χαλαζίτη (το οποίο αποτελεί τον πιο παλιό βράχο της περιοχής) βρίσκεται στο βορειότερο κομμάτι της λεκάνης (Kalisperi, 2009).

Το τοπικό τεκτονικό καθεστώς χαρακτηρίζεται από βλάβες ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ κατευθύνσεων που επικαλύπτονται από του γεωλογικούς σχηματισμούς καθώς και η κατεύθυνση της ροής των υπόγειων υδάτων και η πιθανή μόλυνση από την παρείσφρηση του θαλασσινού νερού. Σε μερικές περιπτώσεις, αυτές οι τεκτονικές δομές μπορούν να λειτουργήσουν ως υπόγεια εμπόδια στην κίνηση του υπόγειου νερού. Τα τεκτονικά χαρακτηριστικά δεν αρχίζουν από την ακτή και θα συνεχίσουν για πολλά χμ κάτω από τη θάλασσα της Κρήτης. Παρολαυτά, η γεωλογική χαρτογράφηση δείχνει ότι είναι από τις ακτες και συνεχίζουν μέχρι τις εσωτερικές για περίπου 5 km, μέσω αυτού του γεγονότος παρατηρούμε πόσο αυτά τα σφάλματα μπορούν να διευκολύνουν την ροή του νερού στα εσωτερικά των υδροφόρων οριζώντων από την θάλασσα.

### 1.3.4 Υδρογεωλογία

Το βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης αποτελείται από φαινομενικά αδιαπέραστους σχηματισμούς που αναμένεται να λειτουργήσουν ως εμπόδια των υπόγειων υδάτων για τυχόν διείσδυση του θαλασσινού νερού ή απόρριψη των υπόγειων υδάτων στη θάλασσα. Η επαναφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα μελέτης αναμένεται να προέλθει από α) το ανατολικό και το νότιο τμήμα της περιοχής που αποτελείται από σχηματισμούς υψηλής διαπερατότητας –πρωτοβάθμιας επαναφόρτισης και β) διαρροές από πυκνές όχθες του ποταμού-δευτερεύουσας επαναφόρτισης.

Ακόμη, τα υδρογεωλογικά δεδομένα από γεωτρήσεις είναι διαθέσιμες από τις τοπικές αρχές και τα δεδομένα από 22 δημόσιες γεωτρήσεις [9 γεωτρήσεις = πόσιμο νερό, και 14 γεωτρήσεις = νερό μόνο για άρδευση, κακή ποιότητα, όπως είχαν χαρακτηριστεί από την τοπική αυτοδιοίκηση].

### **1.3.5 Πρόβλημα περιοχής-Υφαλμύριση**

Η εισβολή θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς και η συνεπαγόμενη επιδείνωση της ποιότητας νερού αποτελεί μεγάλο και παγκόσμιο πλέον πρόβλημα, όπου συναντάται και στην περιοχή μελέτης. Η διασκόπηση συμβάλλει σημαντικότερα στην αναγνώριση, στον εντοπισμό του μετώπου υφαλμύρισης και παρακολούθηση της εξέλιξης του.

### **1.4 Περίγραμμα**

Στην εισαγωγή δίνονται ο σκοπός και οι πληροφορίες για την περιοχή μελέτης όπως έκταση, γεωμορφολογικά, υδρολογεωλογικά, υδρομετεωρολογικά, υδρολογικά στοιχεία, γεωλογία και υδρογεωλογία της περιοχής μελέτης και τέλος γίνεται αναφορά στο πρόβλημα της υφαλμύρισης.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 2 γίνεται μία σύντομη περιγραφή για τη γεωλογία της Κρήτης και για τη γεωλογία του Γεροποτάμου. Επίσης, αναφέρεται η υδρογεωλογία της περιοχής και το πρόβλημα της διείσδυσης του θαλασσινού νερού. Τέλος, γίνεται αναφορά για το πρόβλημα της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στον κόσμο.

Στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζονται η μέθοδος προσέγγισης της μελέτης (γεωφυσική μελέτη- εφαρμογή γεωφυσικής μεθόδου βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM), γεωτρήσεις που έλαβαν χώρα στην περιοχή).

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται παρουσίαση, επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων και στη συνέχεια μοντελοποίηση αυτών.

Στο κεφάλαιο 5, γίνεται μία αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ της γεωμορφολογίας-τύπων πετρωμάτων και τη δομή τους. Επίσης, γίνεται αναφορά στην 3D-απεικόνιση TEM και την ποιότητα των υπόγειων νερών.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τη μελέτη αυτή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ-ΜΕΘΩΔΟΣ ΤΕΜ ΠΑΡΕΛΘΟΝΤΟΣ

#### 2.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό είναι κυρίως μια ανασκόπηση σε προηγούμενες μελέτες όπου περιγράφονται σε συντομία η γεωλογία της Κρήτης και η υδρογεωλογική της κατάσταση.

Έπειτα, εισήχθησαν προβλήματα για τα κοιτάσματα των εβαποριτών και την διείσδυση του θαλασσινού νερού. Κάποιες μελέτες οι οποίες αναφέρονται στο παρελθόν έχουν εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία. Κάποιες άλλες, αντίστοιχα στην σημερινή εποχή είναι ακόμα καλύτερες λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας.

#### 2.2 Γεωλογική τοποθεσία

Η γεωλογία της Κρήτης είναι ενδιαφέρουσα λόγω της θέσης του νησιού (στο πρόσθιο κεντρικό τόξο ελληνικής ζώνης καταβύθισης) και την πολυπλοκότητα της τεκτονικής δομής.

##### 2.2.1 Γεωδυναμική εξέλιξη Αιγαίου

Η Κρήτη βρίσκεται στο Νότιο Αιγαίο ανάμεσα στα νησιά Κύθηρα, Κάσο, Κάρπαθο και Ρόδο, τα οποία είναι 5 νησιά όπου αποτελούν το ελληνικό τόξο (Angelier, 1976). Η άνω καινοζωική εξέλιξη της Κρήτης χαρακτηρίζεται από την καταβύθιση της Αφρικάνικης πλάκας η οποία είναι βοράδες στο πλαίσιο της λιθόσφαιρας του Αιγαίου (Makris, 1977, McKenzie, 1978, Papazachos & Komnikakis 1978, Le Pichon & Angelier, 1979). Εξαιτίας του γεγονότος της Αφρικάνικης πλάκας που κινείται προς το βορρά, και λόγω της συμπίεσης που προκαλείται ανάμεσα στην Αραβική και Ευρασιατική πλάκα (Molnar & Tapponier, 1975). Το ποσοστό σύγκλισης αποτελείται από την κίνηση των NNΔ περύγων 3-4 cm/year της Κρήτης σε σχέση με την σταθερή Ευρασία (Jackson, 1994; Le Pichon et al.; 1995; Cocard et al. 1999; Noomenn et al.; 1999; Bohnhoff et al., 2001) και 1 cm/year η κίνηση της βόρειας πτέρυγας της Αφρικής προς την Ευρασία (McKenzie, 1970; Le Pichon et al., 1995; Taymaz et al., 1990; Bohnhoff et al. 2001) με συνέπεια το καθαρό ποσοστό σύγκλισης να είναι από 4 έως 5 cm/year στα όρια της πλάκας.

Η ζώνη σεισμικότητας φτάνει τα 180km (Makris& Rower, 1986) βρίσκεται σε βάθος 140 km κάτω από το μαγματικό τόξο, με ηφαιστειακή δραστηριότητα από τα νησιά Αίγινα, Μήλος, Σαντορίνη και Νίσυρος στο Αιγαίο. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών του Αιγαίου και της Ανατολίας προς τα Δυτικά και στην συνέχεια η εξάπλωση βαρύτητας του Αιγαίου στην Αν. Μεσόγειο (McKenzie 1972, Angelier 1981). Αυτή η εξάπλωση βαρύτητας του Αιγαίου αποδεικνύεται από το μεγάλο ύψος των κανονικών ρηγμάτων (Άνω Μειόκαινο). Λαμβάνοντας υπόψη το ελληνικό τόξο εμφανίζεται ανυψωμένο στα βόρεια, σε σύγκριση με τη θάλασσα της Κρήτης (Angelier, 1982). Πιστεύουν ότι αυτή η ανύψωση του ελληνικού τόξου οφείλεται σ' ένα μηχανισμό όπου τα ιζήματα μεταβαίνουν από την αφαιρετική πλάκα (Αφρικανική) για να δημιουργηθεί το καινούριο θεμέλιο του ελληνικού τόξου (Barton, 1983). Από την άλλη, το αποτέλεσμα των γεωλογικών δεδομένων είναι η επιλογή ότι πιθανότατα η συμπίεση των τεκτονικών κινήσεων είναι κυρίαρχοι στην Κρήτη, σε σύγκριση με τις τεκτονικές κινήσεις και σε σύγκριση με την υπόλοιπη περιοχή του Αιγαίου (Angelier, Postma, 1993).

### **2.2.2 Εισαγωγή γεωλογίας**

Η Κρήτη δε φημίζεται μόνο για τις αρχαιότητες της, τον πολιτισμό και τη βιοποικιλότητα της, αλλά και για τον εκπληκτικό γεωλογικό της πλούτο. Πάνω στο νησί σχηματίζεται ένα πολύμορφο ανάγλυφο ως αποτέλεσμα της ενεργούς ορογενετικής διαδικασίας που προκαλείται από την υποβύθιση της αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική. Επιπλέον, η αναγνώριση πάνω στην Κρήτη δύο τουλάχιστον παλιότερων ορογενειακών διαδικασιών που έχουν αποτυπωθεί μέσα στα μεταμορφωμένα πετρώματα, επιτρέπει την ανάπλαση ζωολογικής εξέλιξης ολόκληρου του Αιγαίου χώρου, από το Ηώκαινο μέχρι και σήμερα.

### **2.2.3 Γεωλογία Κρήτης**

Η γεωλογική δομή της Κρήτης χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη κυρίως αλπικών και προ-αλπικών πετρωμάτων τα οποία συνθέτουν ένα πολύπλοκο οικοδόμημα τεκτονικών καλυμμάτων (Fytrolakis 1980, Bonneau 1984). Επιπλέον όμως χαρακτηρίζεται και από την εμφάνιση πολλών μετά-αλπικών ιζημάτων τα οποία καλύπτουν τις λεκάνες που χωρίζουν τα ψηλά βουνά. Το οικοδόμημα των καλυμμάτων της Κρήτης δημιουργείται από έναν αριθμό

τεκτονικών ενοτήτων που τοποθετούνται η μία πάνω από την άλλη. Ανάλογα με την τεκτονο-στρωματογραφική τους θέση και με τη μεταμορφική τους ιστορία (Killas et al 1993, Fassoulas et al 1994, Fassoulas 1995) οι τεκτονικές αυτές ενότητες χωρίζονται από μία κύρια, κανονική ρηξιγενή, ζώνη απόστασης, σε δύο μεγάλες ομάδες, τα ανώτερα και τα κατώτερα καλύμματα.

#### **2.2.4 Αλπικά και Προ-αλπικά πετρώματα**

Τα αλπικά και προ-αλπικά πετρώματα της Κρήτης, αυτά δηλαδή που σχηματίστηκαν πριν ή κατά τη διάρκεια της αλπικής ορογένεσης, εμφανίζονται στα διάφορα καλύμματα του νησιού.

Τα κατώτερα καλύμματα περιλαμβάνουν τρία επιμέρους καλύμματα. Το κατώτερο κάλυμμα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων αποτελείται από νηριτικά και πελαγικά, ανθρακικά κυρίως, πετρώματα (Ertting et al 1972, Fytrolakis 1978). Στη βάση εμφανίζονται Περμικής ηλικίας σχιστόλιθοι και κλαστικά ιζήματα. Με στρωματογραφική ασυμφωνία ακολουθούν άνω Περμικής ηλικίας, νηριτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες, αγνώστου ηλικίας (Creutzburg et al 1975), το στρώμα Γκήγκιλου, ακολουθεί και εμφανίζεται κυρίως στη περιοχή του οροπεδίου του Ομαλού Χανίων. Από το Μέσο Ιουρασικό μέχρι το Ηώκαινο, η ιζηματογένεση συνεχίζεται με την από θέση των τυπικών πλακωδών ασβεστόλιθων με πυριτικές στρώσεις και κονδύλους και κλείνει με την απόθεση του Ολιγοκαινικού φλύσχη (Fytrolakis 1980), που εμφανίζεται με μικρό πάχος σε διάφορες περιοχές (π.χ. Ρεθύμνου). Τα πετρώματα των πλακωδών ασβεστόλιθων αποτέθηκαν αρχικά σε ένα ρηχό, νηριτικό περιβάλλον, που σταδιακά μεταβλήθηκε σε καθαρά πελαγικό, βαθιάς θάλασσας (Fytrolakis 1980).

Το κάλυμμα των φυλλιτών –χαλαζιτών βρίσκεται στην ανώτερη, τεκτονικά, θέση των κατώτερων καλυμμάτων. Αποτελείται από δύο επιμέρους τμήματα, το ανώτερο με φυλλίτες, σχιστόλιθους, χαλαζίτες, μάρμαρα και μετά ηφαιστειακά πετρώματα και το κατώτερο με μετά-γραουβάκες, χαλαζίτες, σχιστόλιθους, δολομίτες και εβαπορίτες. Το κάλυμμα των φυλλιτών-χαλαζιτών, όπως και τα υπόλοιπα κατώτερα καλύμματα, μεταμορφώθηκε κατά το Άνω Ολιγόκαινο /Κάτω Μειόκαινο σε συνθήκες υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας, (8-10 kb, 300-400°C, Seidel et al 1982, Theye et al 1992). Σύμφωνα με τους (Fytrolakis, 1980) και (Seidel et al, 1982) τα πετρώματα των φυλλιτών-χαλαζιτών πιθανόν αντιπροσωπεύουν ένα προ-αλπικό ηπειρωτικό τεμάχιο.

Τα ανώτερα καλύμματα αποτελούνται από τεκτονικές ενότητες που μπορούν να συσχετιστούν με τις λιθοτεκτονικές ενότητες της κεντρικής Ελλάδας και των Κυκλάδων (Bonneau 1984, Kiliias et al 1993).

Πάνω από το κάλυμμα της Πίνδου και κάτω από τα κρυσταλλικά πετρώματα του καλύμματος των Αστερουσίων βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένες και ανακατεμένες μεταξύ τους ενότητες του Βάτου, Μιαμούς, Άρβης, Σπηλίου και Πρέβελι, σχηματίζοντας ένα “mélange” (τεκτονικό ανακάτεμα). Η ενότητα της Πρέβελι περιλαμβάνει σχιστόλιθους, μάρμαρα και πετρώματα μεταμορφωμένα σε συνθήκες υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας, που μεταμορφώθηκαν πιθανά κατά το Παλαιόκαινο-Ηώκαινο (Kiliias et al 1993) ή κατά το Άνω Ιουρασικό (Seidel et al 1977). Τα πετρώματα της Πρέβελι περικλείουν υπολειμματικές δομές που σχετίζονται με κάποια παλιά ζώνη υποβύθισης (Fassoulas, 1995). Στην κορυφή τέλος των τεκτονικών καλυμμάτων της Κρήτης βρίσκονται τα πετρώματα των Αστερουσίων και των Οφιολίθων.

### **2.2.5 Μετά-αλπικά πετρώματα**

Τα μετά-αλπικά πετρώματα της Κρήτης αποτελούνται από τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, που εμφανίζονται ασύμφωνα πάνω στα κατώτερα και ανώτερα καλύμματα, μέσα σε λεκάνες με ανατολή- δύση ή βορρά-νότου, διεύθυνση.

Τα παλιότερα νεογενή ιζήματα ανήκουν στην ενότητα της Πρίνας. Αυτή αποτελείται από σκουρόχρωμα ασβεστολιθικά κράματα και κροκάλες, που είναι συνήθως πολύ καλά συγκολλημένα με ασβεστιτικό υλικό. Πολύ καλές εμφανίσεις της υπάρχουν στην περιοχή δυτικά της Τυλίσου στην λεκάνη του Μυλοποτάμου της Κεντρικής Κρήτης, βόρεια της Ιεράπετρας στην ανατολική Κρήτη και στην περιοχή Τοπολίων δυτικά από τα Χανιά.

Τα ιζήματα της ενότητας Τεφελίου αποτέθηκαν με ασυμφωνία, κατά το ανώτερο Σερραβάλιο/ κατώτερο Τορτόνιο, πάνω στα πετρώματα του υποβάθρου ή της ενότητας της Πρίνας. Η ενότητα αποτελείται από χερσογενή, κλαστικά ιζήματα, όπως κροκαλοπαγή, άμμους και αργίλους που αντιπροσωπεύουν ένα περιβάλλον απόθεσης γλυκού, υφάλμυρου ή θαλάσσιου νερού. Πετρώματα της ενότητας Τεφελίου εμφανίζονται κυρίως στην Κεντρική Κρήτη και στα Χανιά.

### 2.2.6 Γεωλογική εξέλιξη

Για πάρα πολλά χρόνια η τεκτονική εξέλιξη της Κρήτης και του νοτίου Αιγαίου γενικότερα, θεωρούνται ως το αποτέλεσμα της τελικής αλπικής, συμπίεστικής τεκτονικής και του μεταγενέστερου νεοτεκτονικού εφελκυσμού (Fytrolakis 1980, Angelier et al. 1982, Bonneau 1984, Hall et al. 1984).

Αντίθετα, κατά την διάρκεια του νεογενούς η Κρήτη επηρεάστηκε κυρίως από εφελκυστική-εκτατική τεκτονική με πιθανά διαλείμματα συμπίεστικών φάσεων. Η γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα είναι αποτέλεσμα δύο κυρίων γεωδυναμικών διεργασιών της συνεχούς σύγκλισης των πλακών, της Αφρικής και Ευκρασίας με την ταυτόχρονη οπισθοχώρηση της ζώνης υποβύθισης και της τεκτονικής διαφυγής προς τα νοτιοδυτικά της μικρόπλακας της Ανατολίας.

Το νότιο ελληνικό τόξο σχηματίστηκε κατά τα τελικά στάδια της αλπικής ορογένεσης ως αποτέλεσμα της καταστροφής των υπολειμμάτων του ωκεανού της νέο-Τυθής που υπήρχε ανάμεσα στην αφρικανική και Ευρασιατική ήπειρο (Bonneau 1984, Papanikolaou 1988). Όπως τα περισσότερα τμήματα του ελληνικού τόξου έτσι και η περιοχή της Κρήτης ήταν καλυμμένα από θάλασσα μέχρι τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους.

Κατά το νεογενές η πρώτη ξηρά στο χώρο της Κρήτης εμφανίστηκε στο τέλος του Ολιγόκαινου/αρχές Μειόκαινου (23 εκατομμύρια χρόνια, Dermitzakis & Papanikolaou 1981). Την περίοδο αυτή μια εκτενής ξηρά που ονομαζόταν Αιγηίδα, κάλυπτε ολόκληρο το νότιο Αιγαίο και συνέδεε την Ηπειρωτική Ελλάδα με την Μικρά Ασία. Η Αιγηίδα σχηματίστηκε κατά την ορογενετική διαδικασία που επηρέασε όλο το νότιο Αιγαίο στο τέλος του Ολιγόκαινου. Μέσα στα Νεογενή πετρώματα που αποτέθηκαν στις νεοτεκτονικές λεκάνες της Κρήτης βρίσκονται πολλά απολιθώματα. Όμως, το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της Μειοκαινικής πανίδας της Κρήτης είναι η παρουσία σε ιζήματα της περιοχής της Μεσσαράς (περιοχή Καστελιανών), μικρό- και μάκρο- απολιθωμάτων θηλαστικών (Meulenkamp et al. 1979).

Κατά την διάρκεια του τεταρτογενούς στο Πλειστόκαινο παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές τόσο στο ανάγλυφο όσο και στην πανίδα της Κρήτης. Την περίοδο αυτή λόγω ευρύτατων ανυψωτικών κινήσεων η Κρήτη απέκτησε το σχήμα και την μορφή που έχει και σήμερα. Μικρές παραθαλάσσιες περιοχές παρέμειναν ακόμη κάτω από την θάλασσα και δέχτηκαν χονδρόκοκκα κλαστικά ιζήματα και ασβεστόλιθους. Η πανίδα και η χλωρίδα της Κρήτης υπέστησαν μεγάλες αλλαγές λόγω των συνεχών μεταβολών του ανάγλυφου και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Αποτέλεσμα της φυσικής επιλογής των ειδών ήταν ο νανισμός στα μεγάλα θηλαστικά, ενώ ταυτόχρονα αναπτύχθηκε και έντονος ενδημισμός.

Μεταξύ άλλων Killias et al (1994), Fassoulas et al (1994), Jolivet et al (1996), Ring και Reischman (2002) κ.ά. δείχνουν ότι η πίεση στην επαφή μεταξύ των ψηλών βράχων και των υπερκείμενων φύλλων είναι ένα ρηχό ομογενές απόσπασμα το οποίο διαμορφώνεται στο Κάτω Μειόκαινο.

Όπως αυτή περιγράφεται στον οδηγό του Fassoula «Η επέκταση του φλοιού B-N στο Μειόκαινο (χαμηλή N1) συσχετίστηκε με βορρά προς νότο-η αποκόλληση προβληματική, η κατάρρευση του σωρού. Η προβληματική αποκόλληση επιτάχυνε την κατάρρευση των τουλάχιστον 10 km. του φλοιού τώρα που λείπουν μεταξύ της ανώτερης μη μεταμορφωμένα και της κατώτερης επιφάνειας μεταμορφωμένα καλύμματα. Στην επέκταση του Μειόκαινου είχαν σαν αποτέλεσμα την εκ νέου τοποθέτηση του συνόλου της σωρού του καλύμματος και να ορίσουν όλες σχεδόν τις τεκτονικές μονάδες που βρίσκονται πάνω από την σειρά των πλακωδών ασβεστόλιθων» (Fassoulas 2000).

Ακόμη αναφέρεται ότι από το μέσο Μειόκαινο (μέση N1- σήμερα) ότι η τεκτονική εξέλιξη της Κρήτης ήταν κυρίως το αποτέλεσμα διαδοχικών ομογενών περιόδων που δημιούργησε 3 ομάδες βλάβης (3 γενεές)

A) Ρήγματα που τείνουν προς την ανατολή και τη δύση

B) Ρήγματα που τείνουν προς βορρά και νότο

Γ) Κανονικά ρήγματα μεγάλης κλίμακας ΒΑ-ΝΔ

Αντίθετα, τα πρότυπα στην Πελοπόννησο δείχνουν ότι η εκταφή των πετρωμάτων υψηλής πίεσης έχει επιτευχθεί με ένα συμπιεστικό μηχανισμό (Xyrolias και Doutsos, 2000). Μία πρόσφατη εργασία στην κεντρική Κρήτη (Chatzaras et al, 2006) πρότεινε ένα ορογενικό πρότυπο για τις Ελληνίδες στην Κρήτη που συμφωνεί αρκετά με εκείνο που προτείνεται για την Πελοπόννησο. Τρεις μεγάλες παραμορφώσεις (D1-D3) διακρίνονται σε αυτή την μελέτη και είναι εμφανή τα δομικά χαρακτηριστικά τους που παρουσιάζουν τα παρακάτω:

D1: Πρόωρη κατασκευαστική φάση – χαμηλή γωνία

D2: Καθυστερημένη κατασκευαστική φάση – επωθήσεων και πτυχώσεις

D3: Ομογενής φάση – μέτρια προς απότομα κανονικά ρήγματα που χτυπούν ΔΒΔ-ΑΝΑ και ΒΒΑ-ΝΝΔ.



### 2.2.7 Γεωλογία Γεροποτάμου

Τα γεωλογικά δεδομένα της περιοχής του Γεροποτάμου έχουν εξεταστεί επαρκώς στο παρελθόν και κυρίως από τις τοπικές αρχές οι έρευνες βασίστηκαν στη βιβλιογραφία και κάποιες διερευνητικές γεωτρήσεις από τους τοπικούς γεωλόγους. Το ΙΓΜΕ (ινστιτούτο γεωλογίας και μεταλλευτικών ερευνών της Ελλάδας), έχει δημοσιεύσει κάποιες γεωλογικές μελέτες για την περιοχή αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις περιλαμβάνεται ως τμήμα σε υδρο-γεωλογικές μελέτες. Φυσικά υπάρχει λεπτομερής γεωλογικός χάρτης που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης στο βόρειο-ανατολικό τμήμα του χάρτη.

Η γεωλογία του Γεροποτάμου που χρησιμοποιείται για το τμήμα αυτό, προκειμένου να δηλώσει την γεωλογία της περιοχής, έχει αποκτηθεί κυρίως από το ΙΓΜΕ γεωλογικό χάρτη (Πέραμα Φύλλο) (IGME, 1991). Η γεωλογική χαρτογράφηση έγινε από τον Ι. Μυλωνάκη, γεωλόγο του ΙΓΜΕ, 1982 - 1987.

Στο βόρειο τμήμα κοντά στην ακτή θέτει τα καλύμματα φυλλιτών-χαλαζιτών. Η μονάδα αυτή αποτελείται από τα χαμηλά διαπερατά πετρώματα (φυλλίτες-χαλαζίτες) και θεωρείται ότι είναι ένα μπλοκ για το νερό της θάλασσας από τους ντόπιους. Σύμφωνα με το Φασουλά κοντά στην περιοχή μελέτης το πάχος του καλύμματος είναι περίπου 500m.

Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής υπάρχουν τα Τάλεα Όρη. Το νότιο τμήμα του βουνού αποτελείται από δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες. Επίσης, το βόρειο τμήμα αποτελείται από στρωματολίτες μαρμάρων και δολομιτικούς ασβεστόλιθους.

Υπάρχουν θαλάσσια κοιτάσματα στο Πλειόκαινο/Πλειστόκαινο και βιογενείς ασβεστόλιθοι, μάργες, άργιλοι και κροκαλοπαγή στο Μειόκαινο, στο κεντρικό και νότιο τμήμα που καλύπτει το μεγαλύτερο κομμάτι της περιοχής μελέτης. Τα ιζήματα Νεογενούς (N1) είναι πάνω από τα νεότερα ιζήματα και το θαλάσσιο (N2-Q1), μετά από μία υποτιθέμενη ακολουθία. Στην κορυφή της στρωματογραφικής σειράς είναι παρόντες οι προσχώσεις (Q2).

Το τοπικό καθεστώς της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από κανονικά ρήγματα ΒΔ-ΝΔ κατεύθυνσης. Αυτά τα σφάλματα καθορίζουν την κατεύθυνση της ροής υπογείων υδάτων και την πιθανή μόλυνση από τη διείσδυση της θάλασσας. Σε κάποιες περιπτώσεις οι τεκτονικές δομές μπορούν να δράσουν όπως τα υπόγεια τοιχώματα κατά την κίνηση υπογείων υδάτων. Η μόνη ανησυχία όσο αφορά τη συμβολή τεκτονικών στην προαναφερθείσα μόλυνση των υδάτων, προέρχεται από το γεγονός ότι οι τεκτονικές ξεκινούν από την ακτή και φαίνεται να συνεχίζονται για περίπου 5km.

### 2.2.8 Υδρογεωλογία περιοχής

Ένας μεγάλος αριθμός υδρολογικών μελετών έχουν γραφτεί για την Κρήτη και μερικά από αυτά αποκλειστικά για την περιοχή του Ρεθύμνου. Μερικές έρευνες βεβαιώνουν άλλη μία φορά την τεράστια αξία του γλυκού νερού και της αυξημένης ζήτησης. Κάποια δημόσια έκθεση έχει γραφτεί για τον υδρογεωλογικό καθορισμό του Ρεθύμνου, κυρίως πραγματοποιώντας διερευνητικές γεωτρήσεις. Ο ΙΓΜΕ (υποκατάστημα Ρεθύμνου), ΟΑΔΥΚ (οργανισμός για την ανάπτυξη της δυτικής Κρήτης), ο περιφερειακός κυβερνήτης της Κρήτης, ο Δήμος του Γεροποτάμου και πολλοί άλλοι προσπάθησαν να αποκτήσουν και να ερμηνεύσουν υδρογεωλογικά δεδομένα από όλο τον νομό του Ρεθύμνου. Παρ' όλα αυτά, ο Γεροπόταμος, η περιοχή μελέτης της εργασίας αυτής έχει ελάχιστα ερευνηθεί και κάποιες παραδοχές εξακολουθούν να είναι ανεπιβεβαιώτες (ειδικά για την μόλυνση και για τα υπόγεια ύδατα).

Η πρώτη ολοκληρωμένη μελέτη σχετικά με της υδρογεωλογίας του Ν. Ρεθύμνου είναι αυτή του 1995 από την ΙΓΜΕ (Knithakis, 1995) η οποία ανατέθηκε το 1983 από το Ελληνικό Υπουργείο περιβάλλοντος.

Η μελέτη περιλαμβάνει έξι κεφάλαια: χάρτες γεωλογικών, υδρογεωλογικής περιγραφής, διερευνητικών γεωτρήσεων, υδρομετεωρολογικών δεδομένων και συμπεράσματα.

Το πρόβλημα της μόλυνσης στο βόρειο τμήμα της λεκάνης του Γεροποτάμου ερευνάται για πρώτη φορά. Μετά από κάποιες αναλύσεις υποθέτουν ότι υπάρχουν δείγματα εβαπορίτων (χαλίτες) στο νεογενές.

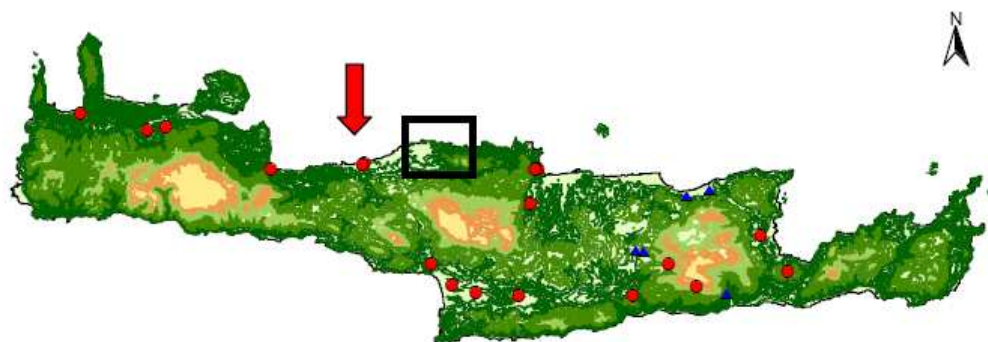
Ο λόγος στον οποίο καταλήξαμε στο συμπέρασμα αυτό είναι το κάλυμμα φυλλιτών/χαλαζιτών που βρίσκεται κοντά στην ακτή, έχοντας τον ρόλο ενός ορίου για την διείσδυση της θάλασσας. Ακόμη, ένας λόγος είναι ο γύψος που έχει στην πηγή Αδέλε, δυτικά της περιοχής μελέτης.

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει καμία μελέτη όσον αφορά αυτό το πρόβλημα ούτε βρέθηκαν στοιχεία στην λεκάνη του Γεροποτάμου όπου είναι συμπέρασμα διερευνητικών γεωτρήσεων.

Η διασαφήνιση της Κρήτης της Περιφέρειας Κρήτης το 1999 [από την ηγεσία του γεωλόγου Μαρίνος Κριτσωτάκης] (Κυβερνήτη της Περιφέρειας Κρήτης, 1999) είναι μια πλήρης και λεπτομερής μελέτη σχετικά με την υδρογεωλογική ρύθμιση της Κρήτης και των υδατικών πόρων (τα δεδομένα που συλλέγονται από ΙΓΜΕ, ΟΑΔΥΚ (οργάνωση για την ανάπτυξη της Δυτικής Κρήτης), ΟΑΝΑΚ (οργάνωση για την ανάπτυξη της Ανατολικής Κρήτης), Περιφέρεια Κρήτης, του Υπουργείου Γεωργίας και του Υπουργείου

Περιβάλλοντος, νομαρχιακών αυτοδιοικήσεων, των τοπικών Δήμων, κλπ). Χωρίζεται σε τρεις φάσεις: Η πρώτη περιλαμβάνει τη συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση στοιχείων, καθώς και την βάση δεδομένων κατασκευής και οι άλλες δύο φάσεις αποτελούνται κυρίως από τη διαχείριση και σχέδια ανάπτυξης. Όσον αφορά την περιοχή μελέτης του Γεροποτάμου και το πρόβλημα της μόλυνσης, το έργο αυτό δεν κάνει καμία περαιτέρω έρευνα, αλλά εξετάζει τη ΓΜΕ, μελέτη του 1995. Έτσι, καταλήγει στο ίδιο συμπέρασμα, η ύπαρξη του χάλιτη ως πηγή μόλυνσης.

Από το 2000 η Περιφέρεια Κρήτης έχει αρχίσει την εγκατάσταση του on-line υδρολογικού δικτύου και μέχρι τώρα έχουν 21 υδρολογικούς σταθμούς που έχουν εγκατασταθεί σε όλη την Κρήτη.



**Εικόνα 4:** υδρολογικό δίκτυο της Κρήτης (Περιφέρεια Κρήτης, 2008).

Το κόκκινο βέλος δείχνει τον πιο κοντινό σταθμό στην περιοχή μελέτης (Kalisperi, 2009).

Οι παράμετροι που παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο από τις 21 σταθμούς (γεωτρήσεις και πηγάδια) είναι: το βάθος, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), και η θερμοκρασία.

Ένα άλλο έργο που περιφερειακού κυβερνήτη της Κρήτης που συμμετείχε είναι το χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ έργο που καλείται MEDIS. Ο συνολικός στόχος του MEDIS είναι να συμβάλει προς την κατεύθυνση της αειφόρου χρήσης του νερού σε νησιά της Μεσογείου όπου η συγκρουόμενη ζήτηση νερού συνδυάζεται με ένα ευρύ φάσμα των υδρολογικών, κοινωνικών και οικονομικών συνθηκών.

Η μελέτη που πραγματοποιείται σε μια λεκάνη κλίμακας σε μεγάλα νησιά της Μεσογείου, που εκτείνονται από τα δυτικά προς ανατολικά: η Κορσική, Κρήτη, Κύπρος, Μαγιόρκα και Σικελία. Εκτός της Περιφέρειας Κρήτης, η κοινοπραξία MEDIS αποτελείται από πολλά όργανα, συμπεριλαμβανομένων των πανεπιστημίων, ερευνητικών κέντρων και

οργανισμών από τη Γερμανία, Κύπρο, Ελλάδα, Ιταλία, Γαλλία και Ισπανία. Το σχέδιο αφορά κυρίως τη διαχείριση των υδάτων των νησιών.

Η γεωφυσική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Κρήτη μελετά τη διείσδυση της θάλασσας σε δύο τομείς.

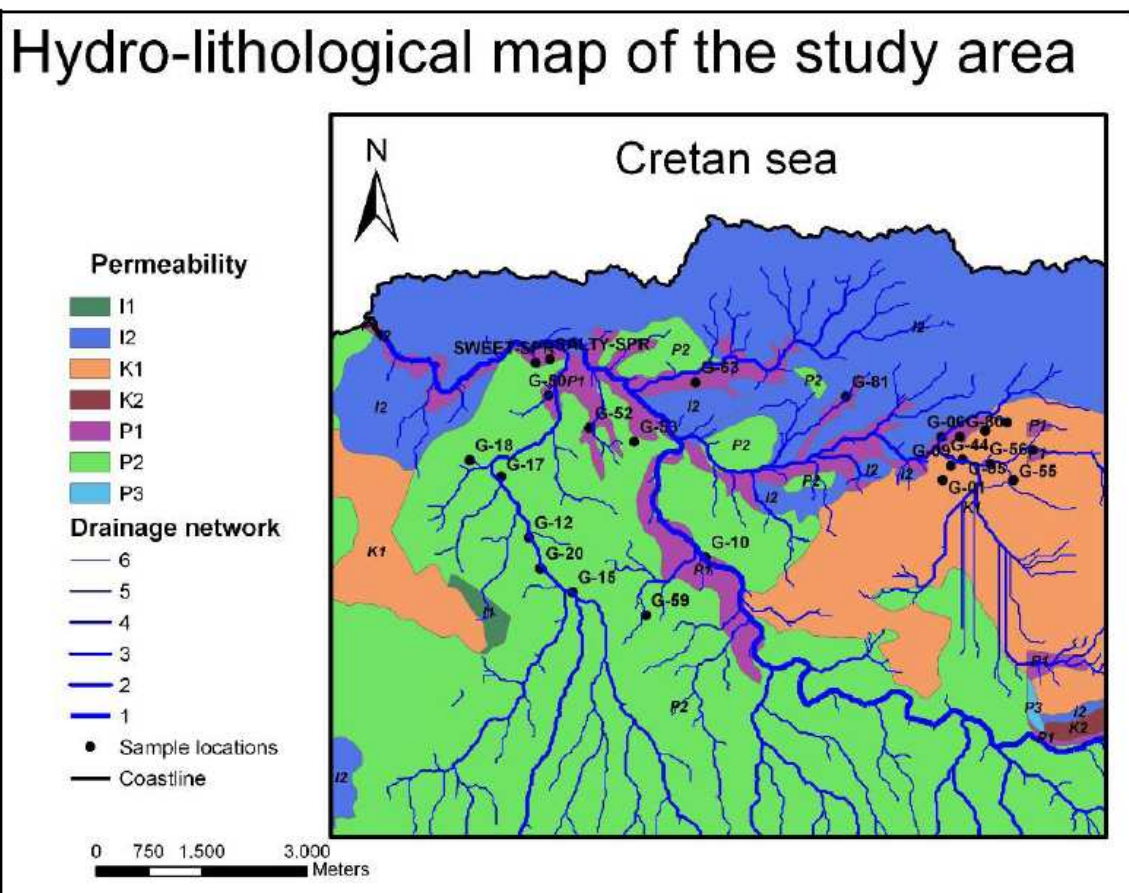
Ο γεωλόγος Βασίλης Σμιτζής από ΟΑΔΥΚ, έχει διερευνήσει την λεκάνη του Γεροποτάμου για περισσότερα από 25 χρόνια και έχει κατασκευάσει περισσότερες από δεκαπέντε γεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή.

Έχουν δοθεί κάποιες πληροφορίες σχετικά με την υδρογεωλογική κατάσταση της μελέτης περιοχής. Όπως ήδη αναφέρθηκε στην εισαγωγή στο βόρειο τμήμα της λεκάνης Γεροποτάμου αποτελείται από αδιαπέραστους σχηματισμούς (φυλλίτες, χαλαζίτες) που αναμένονται να λειτουργήσουν ως φραγμοί υπογείων υδάτων για κάθε πιθανή επαναφόρτιση και εισχώρηση του θαλασσινού νερού της μελέτης του υδροφόρου ορίζοντα όπου αναμένεται να προέλθει από τα Ταλέα Όρη, στο ανατολικό και νότιο τμήμα της περιοχής, η οποία αποτελείται από σχηματισμούς υψηλής διαπερατότητας (ασβεστόλιθους και δολομιτικούς στρωματολίτες) και από διαρροές από τις πυκνές όχθες του ποταμού.

Οι δύο διαφορετικοί τύποι του υδροφόρου ορίζοντα αναμένονται σύμφωνα με τους τύπους πετρωμάτων α) υδροφόροι, σε πορώδη υλικά (τεταρτογενούς και νεογενή ιζήματα) και β) σε βαθιά υδροφόρα στρώματα στην ζώνη διάρρηξης (φυλλίτης, χαλαζίτης)/ καρστικά πετρώματα (Πλακώδεις)-δευτεροβάθμιου πορώδους (Kallergis, 2001).

Τα υδρογεωλογικά δεδομένα είναι από τα γυμνάσια, τα οποία ήταν διαθέσιμα από τις τοπικές αρχές, όπου συλλέχθηκαν και ενσωματώθηκαν σε ένα GIS με βάση τα δεδομένα του περιβάλλοντος στην περιοχή μελέτης από 22 δημόσια γυμνάσια που χρησιμοποιήθηκαν (9 γυμνάσια = πόσιμο νερό και 14 = νερό μόνο για άρδευση, η κακή ποιότητα. Όπως είχαν χαρακτηριστεί από τις τοπικές αρχές) Τα υπόγεια νερά των γυμνασίων, τα οποία χρησιμοποιούνται για άρδευση, όπου χαρακτηρίζονται από υψηλή αλατότητα και αγωγιμότητα.

Στον τομέα πολλές διερευνητικές ασκήσεις έχουν κατασκευαστεί, κυρίως στο κεντρικό τμήμα (όπου έχουν την έδρα τους δεν γυμνάσια), αλλά στη συνέχεια δεν είχαν εγκαταλειφθεί λόγω της μικρής ποσότητας του νερού, αλλά λόγω της κακής ποιότητας του δείγματος υπογείων υδάτων.



**Εικόνα 5:** Υδρολιθολογική κατάσταση της περιοχής μελέτης.  
 Βλ. πίνακα 2 για επεξήγηση των βασικών χρωμάτων.

**Πίνακας 2:** Η υδρολιθολογική κατάταξη των γεωλογικών μονάδων με βάση την διαπερατότητα.

I1	Στεγανές, χαμηλής-πολύ χαμηλής διαπερατότητας
I2	Στεγανές ή επιλεκτικά χαμηλής-πολύ χαμηλής διαπερατότητας
P1	Καταθέσεις, κυμαινόμενης Διαπερατότητας
P2	Καταθέσεις, μέτριας-χαμηλής διαπερατότητας
P3	Χαμηλής-πολύ χαμηλής διαπερατότητας
K1	Καρστικά, υψηλής- μέτριας διαπερατότητας
K2	Καρστικά, μέτριας-χαμηλής διαπερατότητας.

Η αυξανόμενη πυκνότητα των ασκήσεων (κυρίως των ιδιωτικών), η οποία επηρεάζει αρνητικά το περιβάλλον (τα ποσοτικά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων) επίσης διερευνάται. Τέλος, οι κορμοί από τις διαθέσιμες γεωτρήσεις αποτελούν τις μόνες αξιόπιστες γεωλογικές πληροφορίες, έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση και την επιβεβαίωση είχε ως αποτέλεσμα την γεωφυσική διαμόρφωση.

Οι δύο τοπικές πηγές, γλυκές και αλμυρές, που βρίσκονται στο βόρειο-δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, διερευνούνται ρητά, καθώς αποτελούνται από ένα ασυνήθιστο υδρολογικό περιστατικό. Η απόσταση μεταξύ τους είναι μικρότερη από 200 μέτρα αλλά η ποιότητα του νερού διαφέρει σημαντικά. Στην πραγματικότητα, τα υπόγεια ύδατα από τη γλυκιά πηγή θεωρείται ότι έχει την καλύτερη ποιότητα και το δείγμα από την αλμυρή πηγή, το χειρότερο. (με βάση τις 15 χημικές παραμέτρους σύμφωνα με την ΠΟΥ (Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας), κανονισμοί).

## **2.2.9 Προέλευση του θαλασσινού νερού**

Το υπόγειο αλατούχο νερό μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα ύδρευσης, ειδικά σε ξηρές κλιματικές συνθήκες.

Εκτός από ανθρωπογενικές επιδράσεις (π.χ. λίπασμα, καταθέσεις αποβλήτων), η κύρια προέλευση του θαλασσινού νερού είναι (Kirsch, 2006):

Διεισδύσεις θαλασσινού νερού σε παράκτιες περιοχές, θόλους άλατος και αυξημένη συγκέντρωση του μετάλλου στα υπόγεια ύδατα υπό ξηρές συνθήκες.

Σε αυτή την ενότητα, μια σύντομη περιγραφή των δύο κύριων προβλημάτων που υποτίθεται ότι επηρεάζουν την λεκάνη του Γεροποτάμου είναι η διείσδυση του θαλασσινού νερού και οι εβαπορίτες. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η μόλυνση του Γεροποτάμου ακόμα εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα προς συζήτηση και δεν υπάρχει καλά τεκμηριωμένη απάντηση.

### **2.2.9.1 Το πρόβλημα της διείσδυσης του θαλασσινού νερού**

Με την μορφή υδροφορέων κατά μήκος μιας ακτογραμμής, απορρίπτονται τα υπόγεια ύδατα στην θάλασσα. Ακόμη οι εισβολές του θαλασσινού νερού οφείλονται σε μεγαλύτερη πυκνότητα (ελαφρώς βαθύτερο) του αλμυρού από το γλυκό νερό. Ως αποτέλεσμα στις

παράκτιες περιοχές της θάλασσας αποτελεί ένα φυσιολογικό ορό σφήνα κάτω από το γλυκό νερό, δηλαδή το γλυκό νερό υπέρκειται του αλμυρού.

Ο Ghyben (Drabbe and Badon Ghyben, 1888-1889) και ο Herzberg (1901) ήταν δύο Ευρωπαίοι επιστήμονες, όπου η αρχή τους αφορά εμπειρικά το βάθος της διεπιφάνειας στην ανύψωση της επιφάνειας του εδάφους με μια σειρά από απλές παραδοχές: Η θεωρητική διασύνδεση υπάρχει, σε βάθος κάτω από την στάθμη της θάλασσας που είναι 40 φορές το ύψος του γλυκού νερού πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

Η ισορροπία μεταξύ του γλυκού και του θαλασσινού νερού μπορεί να διαταραχθεί από υψηλά ποσοστά άντλησης από ένα παράκτιο υδροφόρο ορίζοντα. Έτσι το επίπεδο του γλυκού νερού γίνεται πιο χαμηλό και το θαλασσινό νερό όλο και περισσότερο στον υδροφόρο ορίζοντα .

### **2.2.9.2 Εβαπορίτες**

Εβαπορίτες είναι τα ιζήματα ή κρύσταλλοι όπως ο γύψος ή ανυδρίτης που αποτίθενται με κατακρήμνιση λόγω της εξάτμισης του θαλασσινού νερού.

Τα ουσιαστικά πάχη των εβαποριτών είναι θαμμένα σε ορισμένες ιζηματογενείς λεκάνες. Εκεί, ενεργούν ως σημαντικοί φραγμοί στην ροή των υπογείων υδάτων, αλλά είναι επίσης ευπαθείς στο να διαλυθούν από τα υπόγεια ύδατα. Οι θαμμένοι εβαπορίτες μπορούν να μεταναστεύσουν σιγά-σιγά αν και θεωρούνται υπερκείμενα ιζήματα, με τη μορφή θόλους άλατος (Ingebritsen and Sanford, 1998).

Στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στην Κρήτη, η ύπαρξη των κοιτασμάτων εβαποριτών οφείλεται κυρίως στην κρίση της αλατότητας της Μεσογείου που έλαβε χώρα στο ανώτερο χρονικό διάστημα του Νεογενούς. Το γεγονός αυτό προκάλεσε τη γένεση γύψου που βρίσκεται στο Νεογενές και του καλύμματος φυλλίτη / χαλαζίτη σε ορισμένα σημεία σε όλη την Κρήτη.

Κοντά στην περιοχή μελέτης, στην νοτιοανατολική πλευρά του Ρέθυμνου και τη δυτική λεκάνη του Γεροποτάμου, στην Πηγή-Αδέλε, έχει βρεθεί γύψος κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων και αυτό είναι και η αιτία για τη μόλυνση των υπόγειων υδάτων της περιοχής αυτής (Περιφέρεια Κρήτης ,1999).

### **2.2.10 Υφαλμύριση**

Υφαλμύριση είναι η ανάμιξη των υπόγειων υδάτων με το θαλασσινό νερό. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται στους παράκτιους υδροφορείς όπου υπάρχει υπεράντληση και όταν η πτώση της στάθμης στους υδροφορείς αυτούς ωθεί την πρόσμιξη γλυκού με αλμυρό νερό από τη θάλασσα.

### **2.2.11 Μέθοδοι αναγνώρισης διείδυσης θαλασσινού νερού**

Γενικά, το πρόβλημα της αλατοποίησης έχει μελετηθεί σε όλο τον κόσμο από διάφορες μεθοδολογίες συμπεριλαμβανομένου γεωφυσική, γεωχημική και τηλεσκοπικής ανάλυσης.

Παρακάτω περιγράφονται κάποιες από τις πιο σημαντικές έρευνες που είχαν θέμα κυρίως την παρείδυση του θαλασσινού νερού οι οποίες μελετήθηκαν με μεγάλη επιτυχία στο παρελθόν.

#### **2.2.11.1 Γεωφυσικοί μέθοδοι**

Ανάμεσα σε όλες τις γεωφυσικές μεθόδους, οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι είναι από τις πιο πετυχημένες όσον αφορά την εξερεύνηση των υπόγειων υδάτων.

Η υφαλμύριση των υπόγειων νερών αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα για το σύνολο των υδροφόρων στρωμάτων που περιέχουν σημαντικά αποθέματα αυτού του ευαίσθητου φυσικού πόρου. Οι βασικές ανθρωπογενείς δραστηριότητες που επιβαρύνουν το ποιοτικό καθεστώς των υπόγειων υδάτων είναι κυρίως η υπερεκμετάλλευση τους σε παράκτιες περιοχές (θαλάσσια διείδυση). Η μεθοδολογία όσον αφορά στην μελέτη για την ερμηνεία και ανάλυση της υφαλμύρισης εξαρτάται από το κάθε συγκεκριμένο πρόβλημα. Θεμελιώδες για κάθε μελέτη είναι η γνώση της κατάλληλης μεθόδου που αφορά σε κάθε ιδιαίτερο πρόβλημα.



## 2.2.11.2 Προβλήματα υφαλμύρινσης σε όλο τον κόσμο

### 2.2.11.2.1 Κεντρικό Ομάν (Σαουδική Αραβία)

Στην υπερβολικά ξηρή έρημο οι φακοί του γλυκού νερού βρίσκονται σε μία περιφερειακή αλατούχο στάθμη νερού. Αυτοί οι φακοί έχουν αναπτυχθεί όπου η επαναφόρτιση από τις σπάνιες κυκλωνικές βροχοπτώσεις έχει συλλέξει στις λεκάνες των αρχαίων καναλιών των ποταμών που στραγγίζουν το οροπέδιο. Στον κεντρικό βρόγχο του χρόνου των περιοχών ο ηλεκτρομαγνητικός ήχος (TEM) εφαρμόστηκε ως μέθοδος εξερεύνησης-αναγνώρισης για αυτούς τους φακούς που επεκτείνονται πέρα από μία έκταση  $60\text{km}^2$  και το ρέμα του φαραγγιού που στραγγίζει μια συλλογή  $3400\text{km}^2$ . Αυτά τα αποτελέσματα εξετάστηκαν στην συνέχεια με την διάτρηση. Η διάτρηση έκοψε έναν φρέσκο φακό νερού μέχρι 18m, πυκνά σε ένα βάθος 92m, TEM-ειδική αντίσταση-η αναστροφή βάθους έδειξε ότι η αντίστοιχη υψηλή ζώνη ειδικής αντίστασης περιέλαβε και το φακό επικαλύπτοντας ακόρεστους βράχους κι έτσι το βάθος στην αλατούχο διεπαφή θα μπορούσε να προβλεφθεί ακριβώς. Όπου η διάτρηση απέτυχε να κόψει έναν φακό, η TEM αντιστροφή οδήγησε με συνέπεια σε μια χαμηλή ζώνη ειδικής αντίστασης στην οποία η στάθμη νερού δε θα μπορούσε να επιλυθεί. Με την επίκληση τύπου Archie που τροποποιείται για την παρουσία αργίλων, θεωρείται ότι η υψηλότερη ειδική αντίσταση της ζώνης vadose που παρατηρείται πέρα από το φακό μπορεί να εξηγηθεί από μία μείωση του παράγοντα αγωγιμότητας αργίλου ως αποτέλεσμα της υψηλότερης ειδικής αντίστασης του νερού-πόρου. Στην περίπτωση του ρέματος του φαραγγιού οι χαμηλές περιφερειακές ειδικές αντιστάσεις καταγράφηκαν επίσης πέρα από τους ασβεστόλιθους στα περιθώρια ερευνών και τις υψηλές ανωμαλίες ειδικής αντίστασης πέρα από το φακό του γλυκού νερού μέσα στο φακό και εκτεινόμενος μακριά από το φαράγγι. Πάλι, το TEM βρέθηκε για να είναι χρήσιμο ως μέθοδο αναγνώρισης και για τη χαρτογράφηση στο αλατούχο στρώμα, αλλά όχι για την πρόβλεψη του πάχους του φακού του επικαλύπτοντα του γλυκού νερού (Young, 2004).

Το ένα τρίτο του πληθυσμού εξαρτάται από τα υπόγεια νερά που εξάγονται από τα αλλούβια ιζήματα της πεδιάδας Beitnah στην ακτή του κόλπου του Ομάν. Οι βαθιές γεωφυσικές τεχνικές εξερεύνησης χρησιμοποιήθηκαν για να καθορίσουν το βάθος και την φύση των ορίων των αλλούβιων ιζημάτων. Από το υδροφόρο στρώμα η βάση και οι δομικοί έλεγχοι της αλλούβιας λεκάνης στην επαφή της με τα τριτογενή θαλάσσια ιζήματα και τους οφιόλιθους χαρτογραφήθηκαν με τα σεισμικά στοιχεία αντανάκλασης που καταγράφηκαν αρχικά για την εξερεύνηση πετρελαίου. Τα ποικίλα προσωπεία του αλλούβιου ιζήματος χαρακτηρίζονται συνολικά από διαφορετικές σειρές της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης

επικαλύπτοντας τα, που εξαρτώνται κατά ένα μεγάλο μέρος από την περιεκτικότητα σε άργιλο και το βαθμό τσιμενταρίσματος οι ειδικές αντιστάσεις κοντά στην ακτή μειώνονται από την αλατούχο παρείσφρηση. Αυτές οι παραλλαγές της ειδικής αντίστασης χαρτογραφήθηκαν με τον ηλεκτρομαγνητικό ήχο- χρόνο των περιοχών κατά μήκος 400 km. του σχεδιαγράμματος, που διέκριναν μεταξύ των 3 ζωνών του αλλούβιου υδροφόρου στρώματος. Η σφήνα της αλατούχου παρείσφρησης σκιαγραφήθηκε επίσης μέχρι 10 km. από την ακτή. Το πάχος των διαποτισμένων σειρών των υδροφόρων στρωμάτων του αμμοχάλικου από 20-160 m. σε μια περιοχή μεγαλύτερη από 600 km<sup>2</sup> (Young et al., 1998).

#### **2.2.11.2.2 Βόρεια Αγγλία**

Οι παροδικές ηλεκτρομαγνητικές (TEM) μετρήσεις ρηχού βάθους έχουν εκτελεσθεί σε 6 θέσεις γεωτρήσεων σε μία εντατικά καλλιεργημένη περιοχή, για να αξιολογήσουν την χρησιμότητα τους στην χαρτογράφηση των γεωλογικών σχηματισμών κάτω από μία παχιά κάλυψη καταθέσεων μίας κλίσης των παγετωδών. Εξαιτίας της δυσκολίας των μεγάλων βρόχων και την εξαιρετικά σημαντική ανάγκη να ελαχιστοποιηθούν τα πλευρικά αποτελέσματα στους ελέγχους βάθους, οι τετραγωνικοί βρόχοι συσκευών αποστολής σημάτων 20, 40 και 50 δευτερεύοντα μήκη m επεκτάθηκαν στη διαμόρφωση κεντρικών βρόχων με το Geomatics TEM47 και τον υπερεξοπλισμό τομέων TEM 47/57. Χρησιμοποιώντας την τεχνική ερμηνεία στοιχείων 2 σταδίων διαπιστώνεται ότι το αποτελεσματικό βάθος της χαρτογράφησης κυμάνθηκε από περίπου 8 έως 150m, στις περισσότερες θέσεις μετρήσεων. Η σύγκριση των προτύπων αντιστροφής με τα στοιχεία των γεωτρήσεων δείχνει ότι το SSKαι μερικοί επικαλυπτόμενοι ιζηματώδεις βράχοι μπορούν να διακριθούν από τις μετρήσεις TEM. Υπάρχει ένα συνεπές σχέδιο της διανομής ειδικής αντίστασης μέσα σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Παρόλα αυτά, 7-11 m το παχύ ανώτερο στρώμα βρίσκεται σε όλα τα κατασκευασμένα πρότυπα, όπου δε συσχετίζει με οποιαδήποτε γνωστά όρια σχηματισμού, αλλά εμφανίζεται να δικαιολογείται σε σύγκριση με τις μετρήσεις συνεχούς ειδικής αντίστασης δειγμάτων σε 2 θέσεις. Επίσης, θα φαινόταν ότι τα πιο πρόωρα χρονικά παράθυρα είναι κάπως διαστρεβλωμένα από τη ζώνη λειτουργίας περιορισμού της οργάνωσης TEM. Αυτή η πειραματική μελέτη καταδεικνύει ότι η μέθοδος TEM είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη στρατογραφική χαρτογράφηση στην περιοχή, αλλά το ανώτερο (5-8m) παραμένει κατά ένα μεγάλο μέρος απρόσιτο στην μέθοδο, χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό κατάστασης προόδου και τα συμβαντικά στοιχεία-τεχνικές επεξεργασίας. Μπορεί επομένως να είναι απαραίτητο να συνδυάσει TEM και να διαδώσει μετρήσεις

βάθους συνεχούς ειδικής αντίστασης μήκους ( $AB/2 \leq 25m$ ) για να χαρτογραφήσει ακριβώς δίπλα στην επιφάνεια σε αυτήν την παγετώδης καλυμμένη έκταση (Meju, 2000).

### **2.2.11.2.3 Δανία**

Η παροδική ηλεκτρομαγνητική μέθοδος TEM έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για υδρογεωφυσική εξερεύνηση στη Δανία για την προηγούμενη δεκαετία. Η καινοτόμος οργάνωση που συνδυάζεται με την πολυδιάστατη διαμόρφωση και οι ερμηνευτικές ιδέες βασισμένη στην εμπειρία που αποκτιέται μέσω των πολυάριθμων μελετών έχουν αποδειχθεί μια επιτυχής στρατηγική. Στην περίπτωση αυτή αναφερόμενοι εδώ ο συνδυασμός αποκάλυψε μία άγνωστη και απροσδόκητη σύνθετη θαμμένη κοιλάδα. Τα στοιχεία των τρυπανιών των τρυπών ήταν σε καλή συμφωνία με τις εκτιμήσεις και των ρουλεμάν και των βαθών των κοιλάδων που καθορίστηκαν από τις έρευνες TEM. Το σύστημα Πατέμ χτίστηκε για να παρέχει την υψηλή συχνότητα για το αυξανόμενο πλευρικό σύστημα. Ένα υψηλό παροδικό ηλεκτρομαγνητικό σύστημα στιγμής (lightem) αναπτύχθηκε για την σκιαγράφιση των υδροφόρων στρωμάτων στα βάθη μέχρι και 400m. Επειδή και τα δυο συστήματα παρέχουν την υψηλή συχνότητα στοιχείων, οι ποιότητες των στοιχείων μπορούν να αξιολογηθούν ως τμήμα της ερμηνευτικής στρατηγικής. Κατά την απόκτηση των μετρήσεων TEM τόσο στις περιοχές που κατοικούνται πυκνά όπως η Δανική επαρχία πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις για να ελαχιστοποιήσει την σύζευξη μεταξύ του συστήματος TEM και τον προκαλούμενο αγωγό από τον άνθρωπο. Η διαμόρφωση των πλευρών των θαμμένων κοιλάδων έχει προκαλέσει την επάρκεια της μονοδιάστατης υπόθεσης (1-D) για την αντιστροφή των στοιχείων TEM. Η μελέτη δείχνει ότι για μια δομή της κοιλάδας σε ένα χαμηλό ανθεκτικό στρώμα, η υπόθεση 1-D είναι επαρκής για να ακολουθήσει την παρουσία μάλλον απότομων κλίσεων. Για μια δομή κοιλάδων σε ένα υψηλό ανθεκτικό στρώμα παρολαυτά η αναισθησία της μεθόδου TEM στους αντιστάτες το καθιστά δύσκολο να καθορίσει μια κλίση με μια αντιστροφή 1-D. (Danielseu et al., 2003).

### **2.2.11.2.4 Γουατεμάλα**

Στο αγροτικό μέρος της Γουατεμάλα, τα φρεάτια νερού κατανάλωσης είναι σπάνια προϊόντα λόγω της έλλειψης στοιχείων σχετικά με το βάθος και ικανότητα υποστήριξης των υπόγειων νερών. Σε μια μελέτη Lemoa, η ικανότητα υποστήριξης των υδροφόρων

στρωμάτων και άλλα χαρακτηριστικά υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τα υδρογραφικά στοιχεία και την μέθοδο αποκατάστασης Thei's για τις δοκιμές. Αυτές οι δοκιμές έδειξαν ότι ενώ η συγκεκριμένη ικανότητα παρέμεινε αρκετά σταθερή, η μεταβιβασιμότητα αυξήθηκε δείχνοντας την ανάπτυξη του φρεατίου μετά από την εγκατάσταση της μελέτης. Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος (TEM) των χρονικών περιοχών αξιολογήθηκε επιτόπου ως ενδεχόμενη τεχνική έρευνα των υπόγειων νερών. Ο χαρακτηρισμός των κάτω όρων από την επιφάνεια που χρησιμοποιούν TEM είναι εφικτός σε σχέση με τα μετατοπικά κάτω στοιχεία από την επιφάνεια για τον συσχετισμό. Παρολαυτά περιορίζεται στην σκιαγράφηση των χαμηλών ηλεκτρικών ανθεκτικών ζωνών χωρίς γεωλογικά στοιχεία για τον συσχετισμό. Τα στοιχεία έδειξαν ότι τα υπόγεια νερά που παράγονται από τις ηφαιστειακές αλλουβιανές κατά περίπου 76 m σε βάθος είναι βιώσιμα στην περιοχή μελέτης στα τρέχοντα ποσοστά χρήσης (Lepper and Elmore, 2005).

#### **2.2.11.2.5 Αυστραλία**

Η αλάτωση σημαντικών συστημάτων, πλάνων στην Αυστραλία και σε άλλες χώρες, καθορίζεται πρώτιστα από την ανοδική μετακίνηση του αλατούχου νερού από τα περιφερειακά υδροφόρα στρώματα στον ποταμό. Η μετανάστευση ήταν λόγω των σχεδίων άρδευσης και των πρακτικών καλλιέργειας που έχουν αλλάξει τις περιφερειακές υδραυλικές κλίσεις που οδηγούν το αλατούχο νερό στα υδροφόρα στρώματα προς τα σημαντικότερα σημεία αποξηράνσεων στο όργανο ελέγχου η εισροή του αλατούχου νερού μέσω των ιζημάτων των υποκοιτών του ποταμού. Η επέκταση ήταν μια ρύθμιση για να επιπλεύσει μια γρήγορη εμπορική δειγματοληψία συστήματος TEM που είναι ευαίσθητη στις ρηχές (<50 m βάθος) παραλλαγές ειδικής αντίστασης. Η τεχνική ήταν εκτενώς γύρω από την πόλη Murray των ποταμών Waikerie στην νότια Αυστραλία. Μία αρχική σειρά ερευνών κατά μήκος ενός τμήματος 40km του ποταμού παρουσίασε μια σειρά των ειδικών αντιστάσεων των υπόκοιτων του ποταμού μεταξύ 1 και 20 Ω με ένα κορυφαίο στρώμα περίπου 10-15 Ω πολύ μετά από το βάθος του νερού. Οι περιοχές της υψηλής ειδικής αντίστασης στα ιζήματα των κοιτών του ποταμού συσχέτισαν καλά με τις θέσεις άντλησης των γεωτρήσεων και των αλατούχων –υδροφόρων στρωμάτων, δείχνοντας εντοπισμένο κάτω του φρεσκότερου νερού του ποταμού. Οι χαμηλές ανωμαλίες ειδικής αντίστασης έχουν ερμηνευτεί ως περιοχές της αλατούχου εισροής νερού στον ποταμό. Η τεχνική χρησιμοποιείται τώρα για την στερεότυπη χαρτογράφηση στην Αυστραλία, με πάνω από 800 km του Murray ερευνημένη και έχει την πιθανή εφαρμογή σε άλλα σημαντικά συστήματα παγκόσμιων ποταμών (Barret et al, 2006).

#### **2.2.11.2.6 Ταιβάν**

Ένα μεγάλο σύνολο στοιχείων περισσότερων από 330 παροδικών ηλεκτρομαγνητικών (TEM) μετρήσεων συλλέχθηκε στην νοτιοδυτική ακτή της Ταιβάν.

Οι στόχοι της μελέτης ήταν: για να καθορίσουν την ρηχή γεωηλεκτρική και για να εντοπίσουν τους μεγάλους οργανισμούς του υπόγειου νερού με την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών ανωμαλιών και των στοιχείων πάνω από 40 φρεάτια. Μια ομαλή πρότυπη μονοδιάστατη αντιστροφή των στοιχείων TEM χρησιμοποιήθηκε και η ανάλυση επιφάνειας τάσης εκείνων των αποτελεσμάτων υιοθετήθηκε για να καθαρίσει τα αποτελέσματα για την ημερομηνία. Μια ανθεκτική ζώνη (ειδική αντίσταση 15-160 Ω/M) στις ανυψώσεις 20-120 m κάτω από την στάθμη της θάλασσας στην βόρεια περιοχή της εξεταζόμενης περιοχής ερμηνεύεται ως φρέσκο διαποτισμένο νερό άμμος ή αμμόχαλκος. Το νότιο μέρος έχει εξαιρετικά χαμηλή ειδική αντίσταση, λιγότερο από ένα Ω -m, που δείχνει μια διαδεδομένη παρείσφρηση νερού- θάλασσας. Η διαίρεση μεταξύ αυτών των δύο περιοχών βρίσκεται περίπου στη μέση της περιοχής μελέτης. Αυτή η μελέτη αποδεικνύει ότι η έρευνα TEM μπορεί να βοηθήσει να επιλύσει τις ασάφειες ακόμη και στην περιοχή με πολλά φρεάτια και με αυτόν τον τρόπο να αυξήσει την πιθανότητα της επιτυχίας στην εξερεύνηση του υπόγειου νερού (Clief, 1999).

#### **2.2.11.2.7 Σικελία**

Αποτέλεσμα των γεωηλεκτρομαγνητικών ερευνών και τρισδιάστατη χαρτογράφηση της χωρικής διανομής της φρέσκιας αλατισμένης διεπαφής νερού που διευθύνεται κατά την διάρκεια του υποβρυχίου πειράματος απαλλαγής των υπόγειων νερών (Μάρτιος 2002) στην νοτιανατολική Σικελία. Το γεωηλεκτρομαγνητικό σχεδιάγραμμα υψηλής ευκρίνειας εμφάνισε την παρουσία διάφορων φρέσκων αλατισμένων οριζόντων νερού με τις διάφορες ειδικές αντιστάσεις σχηματισμού των γεωλογικών μέσων. Τα γεωηλεκτρομαγνητικά στοιχεία επιβεβαίωσαν τις παρατηρήσεις που έγιναν από τα μέτρα διήθησης που στο κεντρικό μέρος των υψηλών ποσοστών διήθησης των λεκανών στην Donnalucata διανεμημένου εκ νέου νερού θάλασσας παρατηρήθηκαν. Η τρισδιάστατη χωρική διανομή των σχηματισμών των ειδικών αντιστάσεων σε σχέση με το βάθος που παρουσιάζει η παρείσφρηση του θαλασσινού νερού στην αποβάθρα η οποία ενεργεί ως εμπόδιο για την μεταφορά φρέσκου νερού στη θάλασσα. Οι γεωηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις παρουσίασαν χωρική και χρονική μεταβλητότητα της φρέσκιας διεπαφής άλατος/νερού, δεδομένου ότι οι

σχηματισμοί των μετρημένων ειδικών αντιστάσεων ήταν σε αντίστροφη σχέση με την καθημερινή παλίρροια που παρουσιάζει μη γραμμικό μετασχηματισμό του ορίου της φρέσκιας/αλατισμένης διεπαφής νερού στο στάδιο της διάδοσης της παράκτια με το χρόνο (Kontar, 2006).

#### **2.2.11.2.8 Βολιβία**

Στο κεντρικό μέρος του Βολιβιανού Altiplano τα ρηγά υπόγεια νερά παρουσιάζουν τις ηλεκτρικές αγωγιμότητες που κυμαίνονται από 0-1 έως 20 ms/cm. Προκειμένου να μελετηθεί η προέλευση αυτού του σχεδίου αλατότητας μια καλή γνώση απαιτείται από την γεωμετρία του υδροφόρου στρώματος σε βάθος. Σε αυτή την μελέτη η γεωφυσική έχει χρησιμοποιηθεί για να συμπληρώσει τα αραιά στοιχεία τα οποία είναι διαθέσιμα από τις τρύπες των τρυπανιών. 100 ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις (TEM) χρόνου- περιοχών πραγματοποιήθηκαν πέρα από μια περιοχή 1750 km<sup>2</sup>. Περίπου 20 γεωλογικά κούτσουρα ήταν διαθέσιμα κοντά σε μερικές από τις μετρήσεις TEM. Τρία ενδιάμεσα αποτελέσματα επιτευχθήκαν από τα συνδυασμένα στοιχεία. Η σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων νερών και των σχηματισμών της ειδικής αντίστασης, 2 γεωηλεκτρικές διατομές και 3 γεωηλεκτρικών χαρτών στα διάφορα βάθη. Το περιορισμένο σύνολο στοιχείων παρουσιάζει μια σχέση της ειδικής αντίστασης και της φύσης του βράχου. Από τις διατομές προσδιορίστηκε ένα αγωγίμο υπόστρωμα με μια ειδική αντίσταση λιγότερο από 1 Ω των περιοχών στα βάθη που κυμαίνονται από 50-350 m. Αυτό το υπόστρωμα θα μπορούσε να είναι άργιλος- πλούσιος σχηματισμός που περιέχει τις άλμες. Η χρήση παρήγαγε από τις σχέσεις τους χάρτες της φύσης με τους σχηματισμούς (αμμώδη ενδιάμεσα και αργιλώδη ιζήματα) όπου καθιερώθηκαν στα βάθη 10- 50m. Η διάκριση μεταξύ της άμμου και των αργίλων ήταν αδύνατη όπου η αγωγιμότητα των υπόγειων νερών είναι υψηλή (μεγαλύτερο 3 ms/cm). Στο κεντρικό μέρος της περιοχής όπου η αγωγιμότητα των υπόγειων νερών είναι χαμηλή, τα αμμώδη ιζήματα είναι πιθανό να είναι παρόντα από την επιφάνεια σε ένα βάθος περισσότερο από 200 m. Τα αργιλώδη ιζήματα είναι πιθανότερο να είναι παρόντα στο νοτιοανατολικό σημείο και να αποτελέσουν πιθανώς ένα υδραυλικό εμπόδιο στην ροή των υπόγειων νερών. Συμπερασματικά, η μελέτη καταδεικνύει την αποδοτικότητα της μεθόδου ήχου TEM για να χαρτογραφήσει τις αγωγίμες ζώνες (Guerin et al., 2001).

#### **2.2.11.2.9 Αίγυπτος**

Ο υπολογισμός της διήθησης του νερού από την λίμνη Nasser, στην Ν. Αίγυπτο στο παρακείμενο υδροφόρο στρώμα πετρών και άμμου είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την ισορροπία του νερού στην λίμνη. Μέχρι τώρα δεν υπάρχει καμία πληροφορία για τις τιμές διήθησης και ιδιαίτερα στο βορειοδυτικό μέρος της λίμνης λόγω μιας πλήρους απουσίας γεωτρήσεων. Η παρούσα μελέτη είναι μια προσέγγιση που χρησιμοποιεί την ηλεκτρομαγνητική τεχνική των χρονικών περιοχών για να υπολογιστούν οι υδραυλικές παράμετροι του ρηχού υδροφόρου στρώματος ψαμμίτη που είναι ουσιαστικές στους υπολογισμούς της διήθησης του νερού. Το μέσο πορώδες του υδροφόρου στρώματος ψαμμίτη υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις μαζικές ειδικές αντιστάσεις που συνάγονται από ένα πρότυπο TDM με την εφαρμογή του τύπου Archie. Δεδομένου ότι οι υπολογισμένες τιμές του πορώδους είναι σύμφωνες με τις εργαστηριακές μετρήσεις, αναλόγως η κενή αναλογία υπολογίζεται από το υπολογισμένο πορώδες. Η υπολογισμένη κενή αναλογία σε σχέση με την διάμετρο του μεγέθους του σιταριού του ρηχού μέρους του ψαμμίτη χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την υδραυλική αγωγιμότητα. Στην συνέχεια, το χαμηλό του Darcy εφαρμόζεται για να υπολογίσει την αξία διήθησης του νερού των λιμνών στο παρακείμενο υδροφόρο στρώμα ψαμμίτη. Το κύριο αποτέλεσμα της τρέχουσας μελέτης δείχνει ότι η προσδοκωμένη αξία διήθησης νερού είναι  $2,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$ . Αυτή η αξία φαίνεται λογική σε σύγκριση με την συνολική αξία διήθησης που προκύπτει από τις μελέτες των ισότοπων γύρω από την λίμνη Nasser (Metwaly et al, 2006).

#### **2.2.11.2.10 Ανθεμόντας, Ελλάς**

Μια λεπτομερής έρευνα που χρησιμοποιεί τις ηλεκτρομαγνητικές (TEM) μετρήσεις χρονικών περιοχών πραγματοποιήθηκε στην λεκάνη Ανθεμόντας στην βόρεια περιοχή της Ελλάδας προκειμένου να σκιαγραφηθεί η παρείσφρηση του νερού της θάλασσας στο παράκτιο φρέσκο υδροφόρο στρώμα νερού που ανιχνεύθηκε από τα φρεάτια διατρήσεων. Υιοθετήσαμε τον αλγόριθμο αντιστροφής 1-D λόγω της υψηλού επιπέδου μόλυνσης θορύβου των προκαλούμενων στοιχείων από τον κοντινό αερολιμένα. Τα αποτελέσματα αντιστροφής συνδυάστηκαν και σχεδιάστηκαν στα ψευδή 2-D και 3-D τμήματα. Οι γεωφυσικές ερμηνείες συσχετίζουν καλά με τις υπάρχουσες γεωλογικές και υδρογεωλογικές πληροφορίες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέθοδος TEM μπορεί να παρέχει την ακριβή

πληροφορία σε ένα ιδιαίτερο αγώγιμο περιβάλλον ακόμη και στην περίπτωση των στοιχείων θορύβου (Papadopoulos et al, 2004)

#### **2.2.11.2.11 Νότια και Βόρεια Καρολίνα**

Ο καθορισμός του υδρολογικού πλαισίου στα βαλμένα σε στρώσεις ιζήματα ποτάμιας και δελταικής προέλευσης είναι μια δύσκολη πρόκληση για τα περιβαλλοντικά προγράμματα χαρακτηρισμού και επανόρθωσης λόγω των λιθολογικών και στρατογραφικών ετερογενών έμφυτων σε αυτές τις τοποθετήσεις. Καθορίζουμε να χρησιμοποιήσουμε τις συμπληρωματικές γεωφυσικές έρευνες για να καθορίσουμε την φύση και την έκταση μιας βαθιάς μονάδας περιορισμού επί του τόπου ποταμών στην Νότια Καρολίνα. Στο TEM χρησιμοποιήθηκε ένα πλαίσιο για να καθορίσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα της αργιλώδους αντανάκλασης κυμάτων μονάδων. Με βάση τους συσχετισμούς με τα γεωφυσικά κούτσουρα γεωτρήσεων και τα στοιχεία κόσκινων, ο σεισμικός ορίζοντας των κυμάτων αποδεδειγμένος να ναι ικανός με την σχετικά λεπτή διάταξη σε στρώματα στα παράκτια σαφή ιζήματα, τις ανώτερες και χαμηλότερες επιφάνειες μιας κρίσιμης μονάδας περιορισμού και των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων στην επιφάνεια της μονάδας περιορισμού.

Οι έρευνες TEM καθόρισαν την παρουσία ή την απουσία των προσωπείων αργίλου της μονάδας περιορισμού. Επιπλέον, με τον περιορισμό της ερμηνείας του TEM με το πάχος της μονάδας του περιορισμού που προήλθε από τα σεισμικά στοιχεία που χαρτογραφήσαμε την έκταση της μονάδας που παρουσιάζει όπου ο άργιλος είναι παχύτερος απ'όπου πιθανώς δεν κατατέθηκε ποτέ και διαβρώθηκε με τα κανάλια. Αυτά τα αποτελέσματα έχουν τις σημαντικές επιπτώσεις στο σχέδιο και την βελτίωση των θεραπευτικών συστημάτων (Eddy-Dilek, 1997).

Χρησιμοποιούμε τις ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις (TEM) των χρονικών περιοχών για να ελέγξουμε τους όρους του επίγειου νερού κάτω από την παράκτια πεδιάδα στην ανατολική βόρεια Καρολίνα. Η μέθοδος TEM μετρά την γήινη απάντηση σ' ένα προκληθέντα ηλεκτρομαγνητικό τομέα. Το σήμα που προκύπτει μετατρέπεται μέσω μιας σύνθετης διαδικασίας αντιστροφής στις προφανείς τιμές ειδικής αντίστασης, οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν άμεσα στα κούτσουρα γεωτρήσεων ειδικής αντίστασης. Οι μετρήσεις TEM χρησιμοποιούνται για να χαρτογραφήσουν την διεπαφή μεταξύ του φρέσκου και του αλατισμένου νερού μέσα στα παράκτια υδροφόρα στρώματα και υπολογίζουν το βάθος στο υπόγειο κατά την τοποθέτηση των νέων φρεατίων ελέγχου. Οι TEM έρευνες έχουν προσδιορίσει τους τομείς της αλατισμένης καταπάτησης νερού που προκαλείται από



τις υψηλές εντάσεις απαλλαγής από τα τοπικά φρεάτια ανεφοδιασμού. Ο ηλεκτρομαγνητικός ήχος, όταν χρησιμοποιείται με το κρατικό δίκτυο των αυτοκινητιστικών φρεατίων, είναι ένα ακριβές και μη δαπανηρό εργαλείο για το φρέσκο νερό / τις αλατισμένες σχέσεις νερού και στις τοπικές και στις περιφερειακές κλίμακες μέσα στα παράκτια υδροφόρα στρώματα (Land et al, 2004).

#### **2.2.11.2.12 Νικαράγουα**

Η διανομή των υπόγειων νερών κάτω από το ηφαίστειο Masaya, στην Νικαράγουα και το περιβάλλον της καλντέρα χαρακτηρίστηκαν χρησιμοποιώντας το TEM. Οι πολλαπλάσιες μετρήσεις διευθύνθηκαν επί 30 τόπων. Τα πρότυπα των στοιχείων TEM δείχνουν με συνέπεια ένα ανθεκτικό στρώμα που κρύβεται κάτω από ένα ή περισσότερα αγωγίμα στρώματα. Αυτά τα δύο στρώματα αντιπροσωπεύουν τις ακόρεστες και διαποτισμένες ζώνες, αντίστοιχα με το όριο μεταξύ τους, που δείχνουν την επιτραπέζια ανύψωση του νερού. Ένας χάρτης των στοιχείων TEM δείχνει ότι η στάθμη του νερού του καλντέρα είναι ένα κατακτημένο αντίγραφο της τοπογραφίας με τις υψηλότερες ανυψώσεις κάτω από το νότιο κεντρικό οικοδόμημα της καλντέρα και τις χαμηλότερες ανυψώσεις στο ανατολικό καλντέρα, που συμπίπτουν με την ανύψωση Laguna De Masaya. Αυτά τα στοιχεία TEM που συνδυάζονται με τα περιφερειακά υδρολογικά στοιχεία δείχνουν ότι η καλδέρα υδρολογικά είναι απομονωμένη από την περιοχή περιβάλλοντος με τουλάχιστον 60m. διαφορά στην ανύψωση του πίνακα πέρα από την καλδέρα και σφάλματα οριοθέτησης. Οι επιτραπέζιες πληροφορίες του νερού και οι εκτιμήσεις των ροών του νερού μέσω του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν για να περιορίσουν μια αριθμητική προσομοίωση της ροής των υπόγειων νερών. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι οι ροές των βασαλών στα εξωτερικά μέρη της καλδέρα έχουν μια σχετικά υψηλή μεταβίβαση, ενώ το κεντρικό οικοδόμημα έχει μια χαμηλότερη μεταβίβαση. Ένα στρώμα της σχετικά υψηλής μεταβίβασης πρέπει να είναι παρόν σε βάθος μέσα στο οικοδόμημα προκειμένου να παραδοθεί η παρατηρηθείς ροή του νερού και του ατμού στην ενεργό διέξοδο. Αυτές οι υδρολογικές πληροφορίες για την καλντέρα παρέχουν μια βασική γραμμή για την αξιολόγηση της απάντησης αυτού του απομονωμένου συστήματος υπόγειων νερών στις μελλοντικές αλλαγές στην μαγνητική δραστηριότητα (Macneil, 2007).

### **2.2.11.2.13 Πουέρτο Ρίκο**

Μια ηλεκτρομαγνητική αναγνώριση του γλυκού νερού στο Isla de Mona στο Πουέρτο Ρίκο διευθύνθηκε και με την αγωγιμότητα των εκτάσεων και με τις παροδικές ηλεκτρομαγνητικές γεωφυσικές τεχνικές επιφανείας (TEM). Αυτές οι γεωφυσικές έρευνες περιορίστηκαν στα νότια και δυτικά μέρη του νησιού λόγω των προβλημάτων με την πρόσβαση και των πολιτιστικών μεταλλικών αντικείμενων όπως τα ενισχυμένα συγκεκριμένα οδοστρώματα στη ανατολική πλευρά του νησιού. Τα γεωφυσικά στοιχεία συμπληρώθηκαν με την θέση ενός γλυκού νερού ελατηρίου που βρέθηκε από τους δύτες σκάφανδρων σε ένα βάθος περίπου 20 m. κάτω από την στάθμη της θάλασσας κατά μήκος της βόρειας ακτής του νησιού. Τα γεωφυσικά στοιχεία προτείνουν ότι ο φακός του γλυκού νερού έχει ένα μέγιστο πάχος 20 m. στο νότιο μισό του νησιού. Ο φακός του γλυκού νερού δεν είναι ο παχύτερος στο κέντρο του νησιού αλλά πλησιέστερα στη νοτιοδυτική άκρη των καταθέσεων των τεσσάρων καταστάσεων και στην ανατολική άκρη του νησιού στα τριτογενή ανθρακικά άλατα. Αυτή η εύρεση δείχνει ότι οι πορείες ροής των υπόγειων νερών στο Isla de Mona δεν είναι ακτινωτά συμμετρική από το κέντρο του νησιού στον ωκεανό. Η ασυμμετρία του φακού του γλυκού νερού δείχνει ότι οι διαφορές στην υδραυλική αγωγιμότητα είναι ένας κύριος παράγοντας στον καθορισμό της μορφής του φακού του γλυκού νερού. Το πορώδες του υδροφόρου στρώματος όπως καθορίζεται από τα γεωφυσικά στοιχεία είναι περίπου 33% (Richards et al, 1998).

### **2.2.11.2.14 Γουινέα**

Παρουσιάζουμε ένα πρότυπο της παρείσφρησης των φακών του γλυκού νερού και του θαλασσινού νερού 100m ευρέως και την μακροχρόνια μερίδα 2500m του εμποδίου “Γκάνα” που εδρεύει σε 96 ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις TEM .Οι παρεισφρήσεις θαλασσινού νερού από τον κόλπο της Γουινέας και από την λιμνοθάλασσα Κέτα στο Βορρά απειλούν τους πόρους του γλυκού νερού .Οι πόροι του γλυκού νερού είναι ουσιαστικά για την υποστήριξη του σχετικά μεγάλου πληθυσμού και την εντατικά καλλιέργεια στο εμπόδιο Κέτα. Είναι εξαιρετικά σημαντικό για να προσδιορίσει και να χαρτογραφήσει την παρείσφρηση θαλασσινού νερού προκειμένου να αποκτηθεί μία επισκόπηση των υπόλοιπων πόρων του γλυκού νερού. Η ιζηματώδης στήλη κάτω από το εμπόδιο χαρακτηρίζεται από τις καταθέσεις άμμου και αμμόχαλκου στα στρώματα του αργίλου και του βούρκου. Η ηλεκτρική ειδική αντίσταση της υπεπιφάνειας πιθανότατα ελέγχεται από την αλατότητα του νερού των πόρων.

Η μέθοδος TEM είναι καλοχρησιμοποιημένη για το βάθος και την ειδική αντίσταση των καλών αγωγών και επομένως ένα ισχυρό εργαλείο για την κορυφή ιζημάτων χαμηλής ειδικής αντίστασης που είναι διαποτισμένα με το αλατούχο νερό. Η επιφάνεια που κάνει την κορυφή των αλατισμένων διαποτισμένων ιζημάτων έχει μία μορφή όπως ένα πιατάκι που είναι τοποθετημένο στο βάθος 0-5 m κοντά στις ακτές του κόλπου Γουινέας και της λιμνοθάλασσας Κέτα. Ενώ είναι τοποθετημένα σε βάθος μέχρι 40-45 m στα κεντρικά μέρη του εμποδίου ο φακός του γλυκού νερού είναι λεπτός (0.5m) κοντά στις ακτές του κόλπου Γουινέας και τις λιμνοθάλασσες κι ενώ μπορεί να είναι μέχρι 20 m πυκνά στα κεντρικά μέρη των εμποδίων Κέτα. Ερμηνεύουμε την ύπαρξη μίας ζώνης μίξης με το υφάλμυρο νερό μεταξύ του γλυκού νερού του φακού και των στρωμάτων με το αλατούχο νερό των πόρων. Αυτή η ζώνη μίξης ποικίλει στο πάχος 0-5 m κοντά στις ακτές σε 1020 στο κεντρικό μέρος του εμποδίου (Nielsen, 2006)

## **Κεφάλαιο 3 ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ**

### **3.1 Εισαγωγή**

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή της μεθοδολογίας της γεωφυσικής τεχνικής TEM. Επίσης, αναφέρεται στα όργανα που χρησιμοποιούνται κατά τις μετρήσεις και στην συνέχεια ακολουθεί ο προσδιορισμός για την εξέταση του νερού. Τέλος, παρουσιάζει σφάλματα στην βυθοσκόπηση TEM.

### **3.2 Γεωφυσικές μετρήσεις**

Το γεωφυσικό εργαλείο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για το έργο αυτό μπορεί να τηρήσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα σε σχέση με το βάθος. Το τμήμα αυτό εξετάζει τις θεωρητικές παροδικές ηλεκτρομαγνητικές. Το κύριο μέρος της εργασίας είναι οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι., οι οποίες βασίζονται στην θεωρία του Maxwell για τον ηλεκτρομαγνητισμό.

### **3.3 Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος TEM**

Η μέθοδος TEM είναι σχετικά μία νέα μέθοδος σε συνδυασμό με την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο, η οποία πρωτοξεκίνησε στα μέσα του 1980. Σήμερα, έχει εξελιχθεί πολύ η μέθοδος αυτή και αυτό γιατί έχει εξελιχθεί περισσότερο η τεχνολογία μας.

### **3.4 Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος-βασικές αρχές**

Τα περισσότερα από Η/Μ μεθόδους κάνουν χρήση μίας ελεγχόμενης τεχνητής ηλεκτρομαγνητικής πηγής ως πρωτογενές πεδίο το οποίο στην συνέχεια επάγει ένα δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο(π.χ. Transient-EM (TEM), Controlled Source Audio-frequency Magneto Tellurics (CSAMT), Frequency Domain EM (FDEM), Ground

Penetrating Radar (GPR)). Από την άλλη, άλλες Η/Μ μέθοδοι χρησιμοποιούν τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία της Γης( π.χ. Magneto Telluric (MT)).

Έχουν πολλά πλεονεκτήματα :είναι ευαίσθητες στην ηλεκτρική ειδική αντίσταση και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα πέρα από έναν όγκο του εδάφους όπου τα προκληθέντα ηλεκτρικά κύματα είναι παρόντα. Σε σύγκριση με άλλες γεωφυσικές μεθόδους, παρέχουν την βαθύτερη ικανότητα βάθους διεξόδου επιλύοντας τη δύναμη (Everett and Meju, 2005). Παρόλα αυτά, οι βασικές ανησυχίες σε όλες τις Η/Μ μεθόδους είναι πολιτιστικές πηγές θορύβου, όπως τα ηλεκτροφόρα καλώδια, σωληνώσεις που μειώνουν την αναλογία σήματος/διαταραχή. Οι Η/Μ μέθοδοι επαγωγής, δεν είναι ευρύτατα χρησιμοποιημένες στις υδρογεωλογικές μελέτες. Παρόλα αυτά, το TEM είναι η υπόσχεση και η πιο ευπροσάρμοστη γεωφυσική μέθοδος για αυτό το σκοπό. (Edminister 1994;Stratton 2007).

Η γενική θεωρία Η/Μ μπορεί να βρεθεί στην λογοτεχνία και είναι πέρα από το πεδίο αυτού του τμήματος. Ύστερα, δίνεται ακριβώς μία εισαγωγή του Η/Μ που είναι πραγματικά η σπονδυλική στήλη της μεθόδου TEM. Η αρχή πίσω από τις Η/Μ μεθόδους στηρίζεται στις εξισώσεις του Maxwell που περιγράφουν το συνδεδεμένο σύνολο ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που αλλάζουν με το χρόνο.

E: ηλεκτρικό πεδίο ( $V m^{-1}$ )

B: μαγνητική επαγωγή (T)

H :μαγνητική ένταση ( $A m^{-1}$ )

D: ηλεκτρική μετατόπιση ( $C m^{-2}$ )

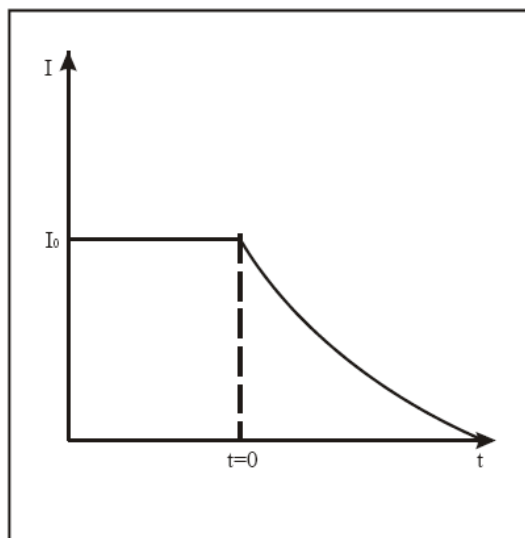
J: ηλεκτρική πυκνότητα ρεύματος εξαιτίας ελεύθερων δαπανών

Ένας χρόνος που ποικίλει το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο σύμφωνα με τον νόμο του Faraday προκαλεί ένα ηλεκτρικό πεδίο E που προκαλεί έπειτα ένα δευτεροβάθμιο εσωτερικό πεδίο μαγνητικό B σύμφωνα με τον νόμο Ampere.

Αναλυτικά σύμφωνα με τους McNeill (1980), Nabighian και Macnae (1991), το TEM είναι μια ηλεκτρομαγνητική μέθοδος ελεγχόμενης πηγής που χρησιμοποιεί τους μεγάλους βρόχους που τοποθετούνται στο έδαφος ως συσκευή πομπού /δέκτη. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές διαφορετικές διαμορφώσεις που δεν απαιτείται καμία άμεση ηλεκτρική επαφή με το έδαφος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ερευνηθεί την κορυφή λίγων εκατοντάδων μέτρων σε βάθος, είναι γρήγορη και οικονομικά αποδοτική μέθοδος αλλά δεν λειτουργεί κατάλληλα γιατί υπάρχει χαμηλή ανάλυση των σκληρών στρωμάτων και ο υψηλός βαθμός της σύγκρισης αποτελεσμάτων με τους προκαλούμενους από τον άνθρωπο αγωγούς.

Όσον αφορά το θεωρητικό μέρος της εισόδου, υλοποιώντας ένα ορθογώνιο βρόγχο στην επιφάνεια του εδάφους δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα το οποίο τροφοδοτείται με

ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης. Το κύκλωμα αυτό αποτελεί τον πομπό εκπομπής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.



**Εικόνα 6:** Η μηδενική απόκριση εισόδου είναι ένα κύκλωμα πηνίων και αντιστατών που περιγράφει την συμπεριφορά του κυκλώματος αφότου έχει φτάσει στις σταθερές τάσεις και ρεύματα και αποσυνδέεται από οποιαδήποτε πηγή ισχύος.

Ύστερα από κάποιο ικανό χρονικό διάστημα ώστε να μην παρατηρούνται ταλαντώσεις στο πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, το συνεχές ρεύμα διακόπτεται απότομα ( $t=0$ )(εικόνα 6). Με χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στην συνέχεια η πτώση του ρεύματος γίνεται γραμμικά από  $I_0$  μέχρι 0 και διαρκεί χρόνο  $t_0$ . Με την χρήση της μεθόδου TEM παρατηρούμε ότι παίρνουμε μετρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών ρεύματος και κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Τα παροδικά επαγωγικά ρεύματα διοχετεύονται μέσα στην Γη και διαχέονται με μορφή μετώπου. Η ένταση των ρευμάτων φθίνει με το βάθος και ανάλογα με τις γεωηλεκτρικές ιδιότητες του υπέδαφους. Στην συνέχεια, τα ρεύματα αυτά δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που ανιχνεύεται με κατάλληλο πηνίο- δέκτη και το μετρούμενο δυναμικό στο πηνίο είναι ανάλογο της έντασης του πηνίου. Κατά τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων της διαδικασίας μέτρησης γίνεται ο διαχωρισμός σε χρονικές πύλες (κανάλια). Στην συνέχεια της προσαρμογής των δεδομένων γίνεται μια επεξεργασία για αναγνώριση απομάκρυνση θορύβου, προσεγγιστική αντίστροφη απεικόνιση και γραμμικοποιημένη αντίστροφη.

### **3.5 TEM –FAST 48 SYSTEM**

Το TEM FAST 48 είναι ένα φορητό γεωφυσικό σύστημα που βασίζεται στην προηγμένη τεχνολογία FAST-TEM με παροχή υψηλής ανάλυσης, την αποτελεσματική λειτουργία υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών ζωνών της πόλης με περιορισμένο διάστημα, ερήμους, βουνά, και κάθε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές TEM FAST 48HPC μπορούν να εφαρμοστούν για την επίλυση πολύ δύσκολων προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών ερευνών, υδρογεωλογικών ερευνών, αρχαιολογικών, μεταλλευτικών ερευνών, MT στατική διόρθωση στροφής και άλλων. Το TEM-FAST 48 μπορεί να λειτουργήσει με οποιοδήποτε επιτραπέζιο υπολογιστή της IBM, σημειωματάριο ή τον υπολογιστή χειρός μέσω πρότυπο διεπαφής RS 232. Το TEM FAST 48 δημιουργεί και στέλνει σύντομους παλμούς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στη γη και η απάντησή της, εξαρτάται από το ηλεκτρικό τμήμα του εδάφους.

Χρησιμοποιώντας τερματικό υπολογιστή και λαμβάνοντας υπόψη το σήμα και το επίπεδο θορύβου, ο χειριστής μπορεί να ορίζει τον αριθμό των παλμών που απαιτούνται για την ακριβή επεξεργασία των δεδομένων. Μετά τη συσσώρευση του σήματος, ο υπολογιστής γυρνάει το σύστημα σε κατάσταση με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και κάνει υπολογισμούς για εξομάλυνση της τάσης και της ανακρίβειας των μετρήσεων. Αλγόριθμοι των μετρήσεων και επεξεργασίας δεδομένων που εφαρμόζονται σε TEM FAST 48 επιτρέπουν τον αποκλεισμό των συστηματικών σφαλμάτων που συνδέονται με μπαταρίες, μεταβολή της θερμοκρασίας και αυξάνουν το σήμα του θορύβου αν το επίπεδο του σήματος είναι μικρό.

Γενικά, το TEM FAST 48HPC είναι ένα βολικό και υψηλής αποτελεσματικότητας εργαλείο για την αναζήτηση, τον έλεγχο και την παρακολούθηση των υπόγειων υδάτων, για διαρροές και υπάρχουσα ρύπανση καθώς και για πολλές άλλες εφαρμογές, όπως και για ιζηματολογικές έρευνες. Σημειώνεται ότι το βάθος των ερευνών είναι από ορισμένα εκατοστά για την αναζήτηση των μικρών στόχων μέχρι 100 μέτρα (και πιο ευνοϊκές συνθήκες).

#### **Συστατικά του TEM-48**

Περιέχει: i) γεννήτρια ορθογωνίων σφυγμών (συσκευή αποστολής σημάτων) ii) μετρώντας φραγμός που παρέχει την εγγραφή των σημάτων (δέκτης) iii) φραγμός ελέγχου iv) παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (μπαταρία). Όλα συγκεντρώνονται σε μία ενιαία περίπτωση.

i) Γεννήτρια

Η γεννήτρια αναπτύσσει τους ορθογώνιους σφυγμούς ενός ρεύματος που περνούν μέσω της διαβιβάζοντας κεραίας. Η πραγματική κεραία μπορεί να παρουσιαστεί ως αδρανές ηλεκτρικό σύστημα με τη διανεμημένη ικανότητα και την αντίσταση αυτεπαγωγής. Τα σχεδιαγράμματα τάσης στην κεραία συσκευών αποστολής σημάτων 50x50 και 20x20m, την στιγμή του ρεύματος που πέφτει, μετριοούνται από τον ψηφιακό παλμογράφο.

Η αξία του αντιστάτη που συνδέεται πέρα από την κεραία είναι ίση με με  $560\Omega$ . Το τρέχον ρεύμα στην κεραία είναι ίση με 1 A. Οι παράμετροι Ton και Toff του σφυγμού του ρεύματος του TEM-48, ανάλογα με έναν τρόπο μέτρησης (FILTR=50/60HZ), δίνεται ο πίνακας 3.

**Πίνακας 3:** οι παράμετροι Ton και Toff των πιο πρόσφατων παλμών του TEM-fast 48 εξαρτώνται από τον τρόπο μέτρησης (FILTR=50/60Hz) (TEM- fast 48 manual, 2007).

Key	Max time ( $\mu$ s)	Active time gates	Ton+Toff (50Hz)(ms)	Ton+Toff (60Hz)(ms)
1	64	16	0.3125	0.26
2	128	20	0.625	0.52
3	256	24	1.25	1.042
4	512	28	2.5	2.08
5	1024	32	5	4.17
6	2048	36	10	8.33
7	4096	40	30	25
8	8192	44	50	41.67
9	16384	48	90	75

ii) Η μέτρηση του φραγμού αποτελείται από α) συσκευές που προστατεύουν από υψηλή τάση εισαγωγής (HPV), β) πολυκαναλικό σύστημα strobe, ολοκλήρωση και αποθήκευση αναλογικών πληροφοριών-DAS, γ) πολυδιαλωτής καναλιών και δ) αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα. Το σήμα μετά από την μετάβαση της συσκευής HVP μπαίνει στην DAS.Όπως αναφέρθηκε αυτή η συσκευή προορίζεται για την συσσώρευση μίας μετρημένης ενσωμάτωσης σημάτων ενός σήματος στις αναγνώσεις για την καταστολή του θορύβου και την συμπίεση μίας δυναμικής περιοχής και τελικά την αποθήκευση και την συσσώρευση των αναλογικών πληροφοριών. Η  $\Delta t$  είναι το πλάτος της πύλης και ο χρόνος της ολοκλήρωσης,



Tont Toff είναι ο χρόνος της κράτησης που καθορίζεται μέχρι την περίοδο της επανάληψης των παλμών της γεννήτριας.

iii) Ο Ελεγκτής

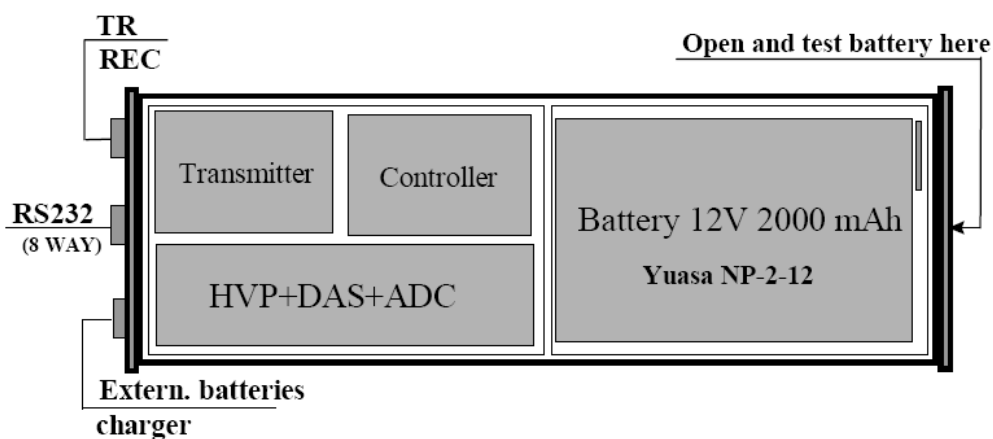
Ο ελεγκτής εκτελείται στη βάση στις προγραμματισμένης λογικής συσκευής και προσπαθεί να έχει τον έλεγχο από όλες τις μετρήσεις και την μεταφορά των πληροφοριών στον υπολογιστή.

iv) Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος

Στο TEM-Fast 48 η δυνατότητα να χρησιμοποιήσει ξεχωριστές μπαταρίες ενέργειας ορίζει:

- Εσωτερική μπαταρία, 12V 2000mAh
- Εξωτερική μπαταρία 12V για υποστήριξη του δέκτη και της γεννήτριας
- Εξωτερική μπαταρία 24V για υποστήριξη της γεννήτριας

Όλοι οι φραγμοί της συσκευής, συμπεριλαμβάνοντας την εσωτερική μπαταρία είναι στην ίδια ομοιόμορφη περίπτωση.



Εικόνα 7: Η διαρρύθμιση των τμημάτων της συσκευής σε αυτή την περίπτωση.

### 3.6 Περισσότερες πληροφορίες για την θεωρία TEM (βασισμένο στην ταχεία τεχνολογία TEM)

Μια μακρά περιγραφή των φυσικών και μαθηματικών βάσεων για τη θεωρία TEM σε γενικές γραμμές μπορεί να βρεθεί στη βιβλιογραφία (π.χ. Spies and Frischknecht, 1991), (Nabighian and Macnae, 1991) και (Kamenetsky, 1997).

Μια εικόνα της θεωρίας TEM η οποία βασίζεται στην ταχεία τεχνολογία tem, όπως αναφέρεται στο εγχειρίδιο του TEM-Fast 48 δίνεται δίπλα σε αυτήν την ενότητα που ακολουθείται από παρουσίαση σχετικά με την εννοχρήστρωση και τα συστατικά του.



**Εικόνα 8:** όργανα TEM και περιφερειακές μονάδες α) υπολογιστής παλμόμετρο β) εξωτερικό τροφοδοτικό (12 V+12V σε σειρά=24V ) γ) σύστημα TEM Fast 48 .

Παρακάτω ακολουθούν κάποιες πρακτικές λύσεις και προτάσεις όσον αφορά την θεωρία TEM και πρακτικά από τον Dr.Pavel Barsukov et al (2007), όπως αναφέρεται στο εγχειρίδιο του TEM-fast 48:

- Η αύξηση του μεγέθους της κεραίας στην μέθοδο TEM έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου των εγκατεστημένων σημάτων. Στα τελευταία στάδια, η αναλογία σήματος –διαταραχής είναι ανάλογη στην περιοχή της μεταφερόμενης κεραίας ( $TR^2$ ).

- Το μέγιστο βάθος των ερευνών με την διαμόρφωση βρόγχου- βρόγχου είναι ίδιο με την συμπίπτουσα διαμόρφωση θεωρητικά.

- Το μέγιστο βάθος των ερευνών καθορίζεται από τον μέγιστο χρόνο  $t$  στον οποίο είναι πιθανό να εγκατασταθεί ένα σήμα αξιόπιστα  $E(t)/I$ .

- Ο σχηματισμός του τμήματος από τα υψηλά επίπεδα της ειδικής αντίστασης είναι εξαιρετικά πολύπλοκος. Είναι πρακτικά αδύνατο να διακρίνουμε όρια με  $\rho=1000$  και  $\rho=10000$  ohm.m. Σε αυτά τα επίπεδα της ειδικής αντίστασης είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιούμε κεραίες σε μεγάλα μεγέθη. (για  $\rho=1000$  Ohm .m και  $TR=100$  m και πάνω).

- Η ευνοϊκότερη σειρά για την ειδική αντίσταση για τον σχηματισμό των βρόγχων βάζει στα όρια των  $10$  ohm.m  $< \rho < 300$  ohm.m.

- Βέλτιστη σειρά για τα μεγέθη των κεραιών διαβίβασης- λήψης για το TEM- FAST 48 είναι  $TR=REC=18*18- 100*100$  m.

- Στην επιλογή της βέλτιστης σειράς των κεραιών είναι αναγκαίο να θυμόμαστε το μεγαλύτερο μέγεθος των κεραιών όπου αυξάνει το όριο βάθους των ερευνών. Παρολαυτά, η εκτίμηση της σειράς των βαθών  $h$  για τα οποία αξιόπιστη ερμηνεία από τα ληφθέντα αποτελέσματα είναι πιθανό στην χρήση των κεραιών που συμπίπτουν με την μεριά  $TR=REC=L$  συνήθως βάζει στα όρια:  $h_{min}>L/10$  και  $h_{max}<3L$ .

### 3.7 Σφάλματα στην βυθοσκόπηση TEM

Κατά τη διάρκεια αποκτήματος δεδομένων με γρήγορη οργάνωση TEM, τρία φυσικά φαινόμενα παίρνουν μέρος τα οποία προκαλούν δυσκολίες στην διαδικασία της διάχυσης των τομέων και μπορεί να επηρεάζουν σημαντικά στην αποτελεσματικότητα της γεωλογικής ερμηνείας των μετρήσεων. Αυτά είναι: υπερπαραμαγνητική (SPM) επιρροή και προκληθείσα πόλωση (IP) Barsukov, 2007). Πέρα από όλα, ένας θόρυβος προκαλούμενος από τον άνθρωπο μπορεί να διαστρεβλώσει μια βυθοσκόπηση TEM που ηχεί επίσης.

i) Όταν οι μετρήσεις αποκτιούνται στους υπερπαραμαγνητικούς βράχους (υπερπαραγωγικό υλικό-επιφανειακό άργιλο μεταξύ των βράχων, παγετώνα), ανώμαλες παροδικές καταγραφές λαμβάνονται οδηγώντας στους άκυρους προφανούς προσδιορισμούς της ειδικής αντίστασης με το χρόνο.

ii) Η επίδραση IP έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τάσης σε μία καμπύλη αποσύνθεσης στις αρχές των χρόνων. Αυτή η επίδραση είναι ελάχιστη στις συμπίπτουσες κεραίες. Γενικά η μείωση της επίδρασης IP εξαρτάται από την αύξηση της κεραίας πάνω από την επίγεια επιφάνεια (tem-fast 48, manual 2007).

iii) Τα ρεύματα που προκαλούνται σε μεταλλικούς αγωγούς είναι αίτια διαστρέβλωσης για τα στοιχεία που παίρνουμε από το TEM. Έτσι, δεν είναι πιθανόν να πραγματοποιηθούν οι

μετρήσεις TEM σε περιοχές με υψηλό θόρυβο ρευματωδών ακόμα και αν η οργάνωση έχει εσωτερικά φίλτρα εγκοπών για την μείωση της επίδρασης.

iv) “kriging” είναι μια μέτρια γρήγορη παρεμβολή που μπορεί να είναι ακριβής ή να εξομαλύνεται ανάλογα με την μέτρηση του λάθος μοντέλου. Είναι πολύ ευέλικτο και έχουμε την δυνατότητα να ερευνηθούν τα γραφήματα χωρικής ενίσχυσης. Το “Kriging” χρησιμοποιεί στατιστικά υποδείγματα που επιτρέπει μια σειρά αποτελεσμάτων ενός χάρτη συμπεριλαμβάνοντας προβλέψεις, τυπικό σφάλμα προβλέψεων, πιθανότητα κλπ. Η ευελιξία του “Kriging” μπορεί να απαιτήσει πολλές λήψεις αποφάσεων (ESRI ArcGIS Desktop Βοήθεια, 2004).

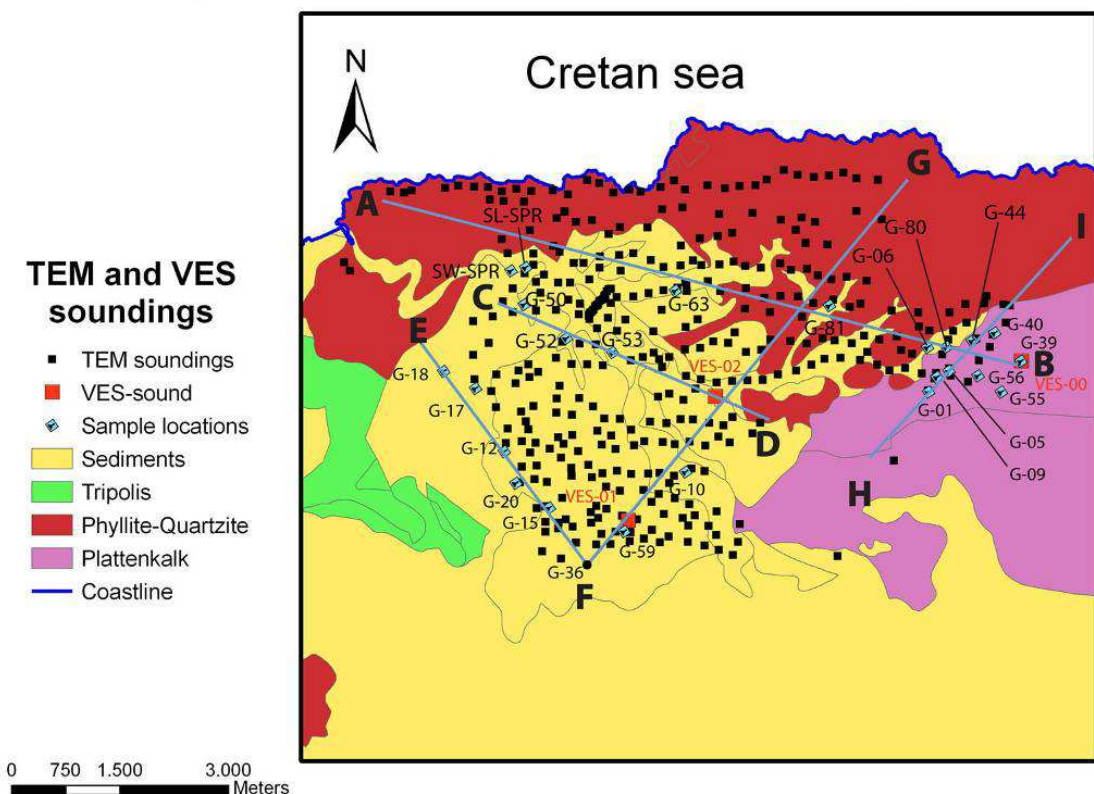
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ, ΑΝΑΛΥΣΗ, ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### 4.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει όλα τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις μεθόδους που περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σύμφωνα με την Δρ. Καλησπέρη και σε συνεργασία με τον Δρ. Σουπιό όπου έγιναν οι μετρήσεις στην περιοχή του Γεροποτάμιου παρουσιάζονται GIS παράγωγα και γεωφυσικά δεδομένα. Επίσης, παρουσιάζεται η επεξεργασία τους, η ανάλυση και μοντελοποίηση και τέλος η περιγραφή των τελικών εικόνων που έχει δοθεί.

### Geophysical Fieldwork of the study area



Εικόνα 9 καλύμματα της περιοχής μελέτης με: TEM προφίλ (που έχουν την ίδια θέση με AB, CD, EF, FG και HI διατομές) και τοποθεσίες δείγματος με υπέρθεση στρωμάτων.

## **4.2 TEM-Τεχνικές μέθοδοι**

### **4.3 Μετρήσεις TEM στην περιοχή μελέτης του Γεροπόταμου**

Όλα τα δεδομένα συλλέχθηκαν για το TEM, κυρίως μέσα σε 3 μήνες (Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστο του 2008). Συνολικά, χίλια εκατόν εβδομήντα εννέα (1179) βολιδοσκοπήσεις TEM έχουν αποκτηθεί σε τριακόσια εβδομήντα δύο (372) διαφορετικούς τόπους, σε μια λεπτομερή έρευνα πλέγματος (περίπου 200-250 στο x και y διάσταση), κυρίως με ενιαία διαδρομή 50 x 50m. Stack 5 (65 πλήρεις κύκλοι) και ώρα 5 ή 6 (δηλαδή 32 ή 36 πύλες χρόνου), προκειμένου μία εικόνα να είναι σε μία σωστή θέση (3D είτε λόγω των τεκτονικών υποστρώματος. Ο μεγάλος αριθμός βυθοσκοπήσεων του TEM αντικατοπτρίζει το γεγονός ότι οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν πολλές φορές σε κάθε περιοχή ανίχνευσης, προκειμένου να καθοριστούν και να αποφευχθούν επιδράσεις (υψηλή συχνότητα HF-θόρυβος από τις πηγές του ραδιοφώνου) και γενικά για τη βελτιστοποίηση των πρώτων δεδομένων.

Κατά τη διάρκεια της επιτόπιας έρευνας TEM, ο Δρ. Παντελής Σουπιός και η Δρ Καλησπέρη Δέσποινα ήταν πολύ προσεκτικοί για την καλύτερη δυνατή επιλογή των τόπων, την ορθή τοποθέτηση του βρόχου, και άλλες προϋποθέσεις που μπορούν να παράγουν θόρυβο και την κακή ποιότητα των στοιχείων, όπως και ο άνθρωπος-έκαναν θόρυβο (ρεύματος και τηλεφωνικών γραμμών, αγωγών, περιφράξεις, κλπ). Παρόλα αυτά, ορισμένα από τα τελικά στοιχεία που αποκτήθηκαν είχαν επηρεαστεί από συντονισμό των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας, από την ισχυρή SPM (Super Para Magnetic) επιπτώσεις στις θέσεις που αποτελείται από δολομιτικά ασβεστολίθων (πλακωδών καλύμματος στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης), και από σπάνιες επιπτώσεις από θόρυβο υψηλής συχνότητας. Τελικά, από δεδομένα των 350 μέχρι και 372 τοποθεσίες χρησιμοποιήθηκαν. Αυτά τα δεδομένα φιλτράρονται, λειαίνονται και διορθώνονται πριν από την τελική μοντελοποίηση και την απεικόνιση.

### **4.4 Επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων TEM**

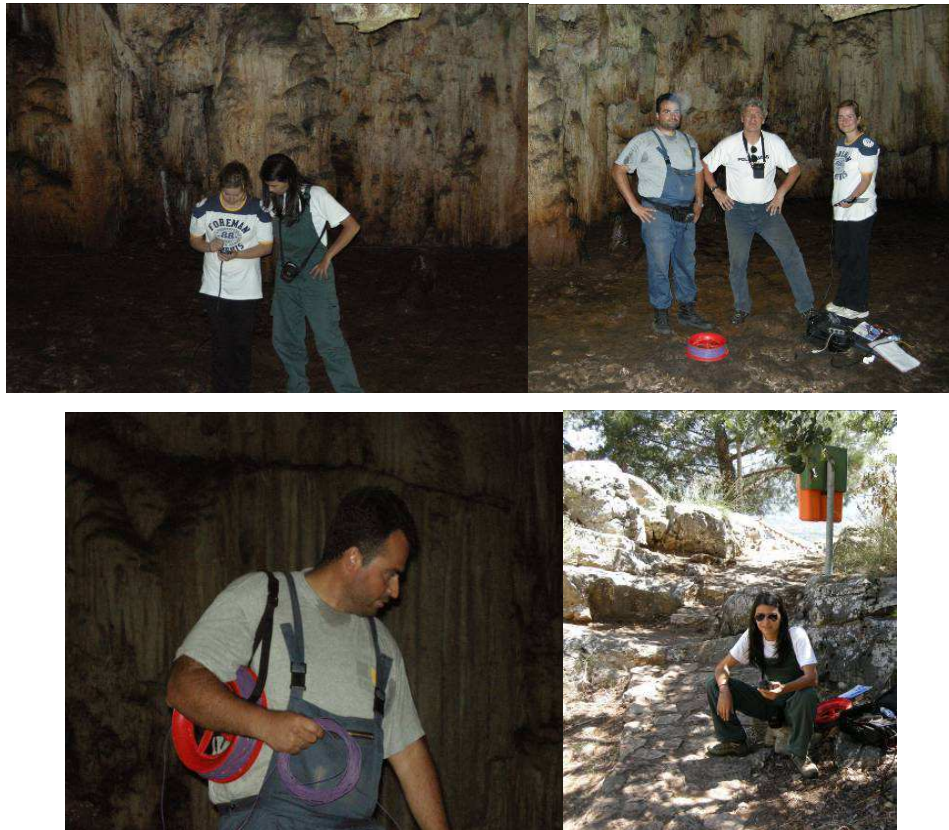
Τα δεδομένα του TEM από ένα μέσο πεδίο αποτελούνται από μία περίπου εκθετική αποσύνθεση τάσης καμπύλης. Ο τρόπος για την ερμηνεία αυτών των δεδομένων είναι η μετατροπή των δεδομένων στον τομέα της φαινομενικής αντίστασης,  $\rho(t)$ , TEM FAST 48 ακατέργαστα δεδομένα που έρχονται απευθείας σε ohm.m (δεδομένα αντίστασης).

Το λογισμικό TEM-RES, που διατίθεται με το TEM FAST 48 μέσο, είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό σύστημα, το οποίο ήταν το εργαλείο για την επεξεργασία των TEM δεδομένων και στη συνέχεια για τη λύση της αντιστροφής. Αυτό το πρόγραμμα χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των δεδομένων TEM, ανάλυση, επεξεργασία και μοντελοποίηση (TEM-RES εγχειρίδιο, 2007). Τα δεδομένα της αντίστασης μόλις αντλήθηκαν, το επόμενο στάδιο ήταν η μοντελοποίηση των δεδομένων, καθώς ο απώτερος στόχος ήταν να συναχθεί το υπέδαφος από τις αντιστάσεις (αντίσταση-βάθος-πληροφορίες) και τις βυθοσκοπήσεις.

Η προσεγγιστική αντιστροφή απεικόνιση ήταν ένα πολύ σημαντικό μέρος της ανάλυσης των δεδομένων της περιοχής μελέτης. Για παράδειγμα, ο συντάκτης / αναλυτής έπρεπε να διορθώσουν τα λάθη που περιέχονται στα δεδομένα του πεδίου (όνομα, TR, REC, συντεταγμένες). Άλλες επιλογές ήταν ο αποκλεισμός των σημείων από τις καμπύλες ειδικής αντίστασης και της αλλαγής της θέσης ενός σημείου. Γενικά, η ποιότητα των δεδομένων ήταν πολύ υψηλή

Το επόμενο βήμα μετά την επεξεργασία και πριν από την μοντελοποίηση, ήταν η εξομάλυνση των δεδομένων. Στην εικόνα 9 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της εξομάλυνσης των δεδομένων. Δύο ακόμη καμπύλες, εκτός από την καμπύλη αντίστασης, δίνονται ως αποτέλεσμα των πρώτων στοιχείων. Το πρώτο (επάνω) είναι η συνεχή καμπύλη που προσεγγίζει την αρχική  $\rho_a(t)$ , τα δεδομένα και η δεύτερη (κάτω) καμπύλη είναι η υπολογιζόμενη.

Κατά το παρόν στάδιο, πριν την μοντελοποίηση, αποφασίστηκε ποιες τοποθεσίες τελικά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για περαιτέρω μοντελοποίηση και στην συνέχεια για κάθε τοποθεσία επιλέχθηκε η καλύτερη μέτρηση. Σε ορισμένες περιοχές υπάρχει ισχυρό υπερπαραμαγνητικό αποτέλεσμα όπου καταστρέφονται τα δεδομένα, τα οποία στο τέλος αποκλείστηκαν. Τέτοιου είδους παραδείγματα είναι το Μανιάκι (ανατολική πλευρά) και το σπήλαιο του Μελιδονιού (στο νοτιο-ανατολικό τμήμα).



**Εικόνα 10 α, β, γ:** TEM μετρήσεις στην σπηλιά του Μελιδονιού  
**10 δ :** TEM μετρήσεις μπροστά απο την Σπηλιά

#### 4.5 Μοντελοποίηση δεδομένων TEM

Η κατασκευή ενός τμήματος μπορεί να ολοκληρωθεί με δύο τρόπους από το λογισμικό TEM-RES :μετασχηματισμού και αντιστροφής.

Η πρώτη περιλαμβάνει την περιγραφή της θεωρίας του μετασχηματισμού της καμπύλης αντίστασης  $\rho_a(t) = \text{Res}(t)$  σε ψεύτικο τμήμα  $\rho(h) = \text{Res}(h)$ , όπου  $\text{Res}(h)$  είναι η ειδική αντίσταση, δεν είναι το πεδίο εφαρμογής του παρόντος τμήματος όπως περιγράφεται αναλυτικά στο (Sveton & Barsukov, 1984). Είναι μια γρήγορη και απλή προσέγγιση στην ερμηνεία EM, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επί τόπου καθώς και μετά την απόκτηση των στοιχείων TEM.

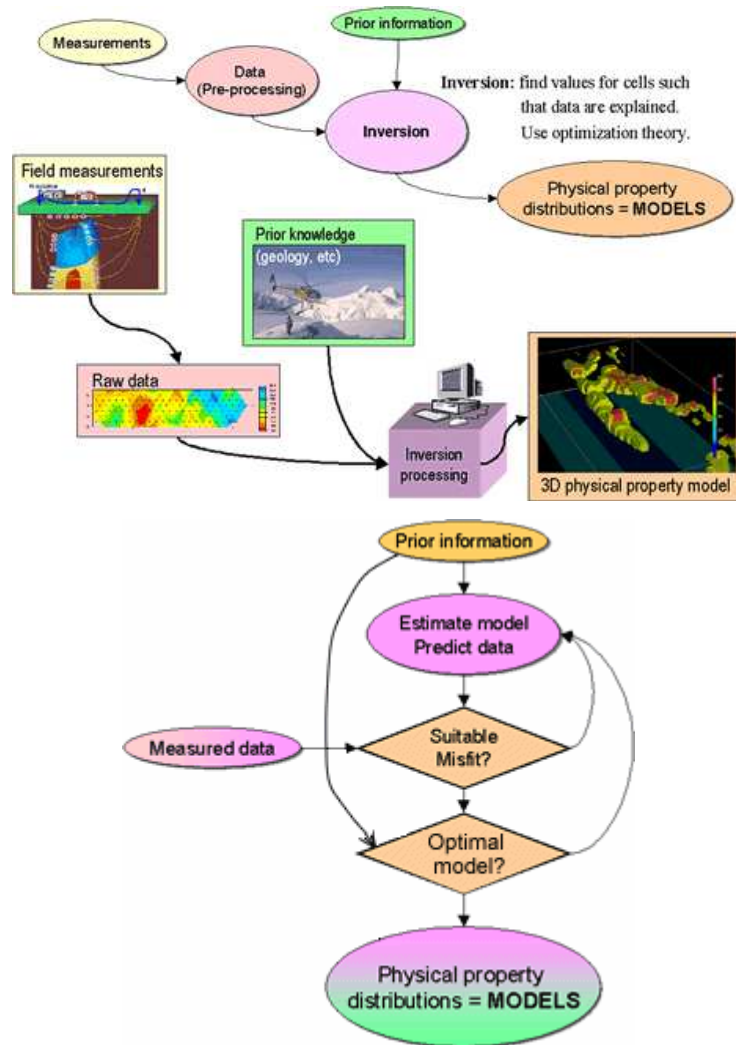
Στην συνέχεια, το τμήμα αυτό ασχολείται με τις βασικές έννοιες στις οποίες βασίζονται γεωφυσική αντιστροφή, όταν παρέχεται μία επισκόπηση των βασικών ιδεών χωρίς να παραπέμπουν σε μαθηματικές λεπτομέρειες ως πρώτη περιγραφή από τον D.W. Oldenburg και F.H.M. Jones (2007). «Σε μια τυπική γεωφυσική έρευνα, βάλουμε την ενέργεια στο έδαφος για να καταγραφεί η αντίδραση, την οποία αναφέρουμε ως δεδομένα ή παρατηρήσεις. Οι τιμές των δεδομένων εξαρτώνται από την κατανομή των φυσικών



ιδιοτήτων στο υπέδαφος. Ο στόχος του αντιστρόφου προβλήματος είναι ο προσδιορισμός της διανομής του φυσικού ακινήτου ή ακινήτων που προκάλεσαν τα δεδομένα. Δυστυχώς, αυτό δεν είναι αυστηρά δυνατό στην πράξη γιατί έρευνες έδειξαν ότι μόνο ένας περιορισμένος αριθμός δεδομένων δεν μπορεί πάντα να καταγράφεται και τα στοιχεία είναι επίσης ανακριβή. Παρ' όλα αυτά, κατά προσέγγιση, λύσεις μπορούν να βρεθούν, καθώς και η μεθοδολογία που έχει σχεδιαστεί για να συμπεριληφθούν και άλλες πληροφορίες σχετικά με το πρόβλημα, έτσι ώστε η υπολογιζόμενη λύση είναι πιο πιθανό να αντιπροσωπεύει την πραγματική δομή της γης», (Oldenburg και Jones, 2007).

Αντιστροφή είναι μια μαθηματική διαδικασία που μπορεί να πάρει πολλές μορφές. Προκειμένου να παραχθεί κατανόηση σχετικά με το υπέδαφος, χωρίς σκάψιμο ή γεώτρηση, οι μετρήσεις πρέπει να συγκεντρωθούν, τα δεδομένα πρέπει να προέρχονται από τις μετρήσεις αυτές, και σε κάποιο βαθμό κατανόηση σχετικά με το τι αποτελεί αντικείμενο έρευνας θα πρέπει να υπάρχει («εκ των προτέρων γνώση»). Τότε με την επεξεργασία της αντιστροφής μπορεί να πραγματοποιηθεί, με την χρήση των δεδομένων και με τις γνώσεις ως είσοδο.

Το αποτέλεσμα θα είναι μια σειρά από «μοντέλα» που χαρακτηρίζει τον τρόπο όπου οι σχετικές φυσικές ιδιότητες είναι διανεμημένες στο έδαφος. Αυτά τα μοντέλα θα έχουν χαρακτηριστικά καθορισμένα από την μέθοδο αντιστροφής που χρησιμοποιείται από τα στοιχεία και από την εκ των προτέρων γνώση. (εικόνα 11) (Oldenburg και Jones, 2007).



**Εικόνα 11:** διαγράμματα ροής που δείχνουν τα βασικά συστατικά της αντιστροφής.

Τα βέλη δείχνουν πώς οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται και όπου εμφανίζεται όπου υπάρχει επανάληψη (feedback). (Oldenburg and Jones, 2007).

Το τμήμα αντιστροφής της εικόνας 11 αποτελείται από ένα πρότυπο αλγόριθμο εκτίμησης και δύο αποφάσεις που πρέπει να γίνουν πριν το μοντέλο θεωρηθεί ικανοποιητικό. Οι απαιτήσεις της αρχής της αντιστροφής είναι: 1) το μοντέλο θα πρέπει να έχει εκτιμηθεί και να έχουν προβλεφθεί τα στοιχεία που προκύπτουν που θα πρέπει να υπολογίζονται 2) Τα προβλεπόμενα και τα στοιχεία μετρήσεων πρέπει να συγκρίνονται ευνοϊκά, και 3) το μοντέλο πρέπει να είναι βέλτιστο, σε ορισμένες σαφώς καθορισμένες καταστάσεις (Oldenburg and Jones, 2007).

Η λύση για το πρόβλημα της αντιστροφής προκύπτει από την εκτίμηση ενός μοντέλου, χρησιμοποιώντας απροσάρμοστες δοκιμές και τα κριτήρια αποδοχής, και τότε επαναληπτικά διαταραχές (δηλ. αναπροσαρμογή) του μοντέλου έως ότου ικανοποιηθούν τα δύο κριτήρια του ελέγχου.

Τα βέλη στην εικόνα 11 δείχνουν πώς οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται και που συμβαίνει η επανάληψη (feedback).

Όπως προαναφέρθηκε, είναι TEM βυθοσκοπήσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως για τον καθορισμό των ιδιοτήτων του υδροφορέα και άλλα χαρακτηριστικά του υπεδάφους.

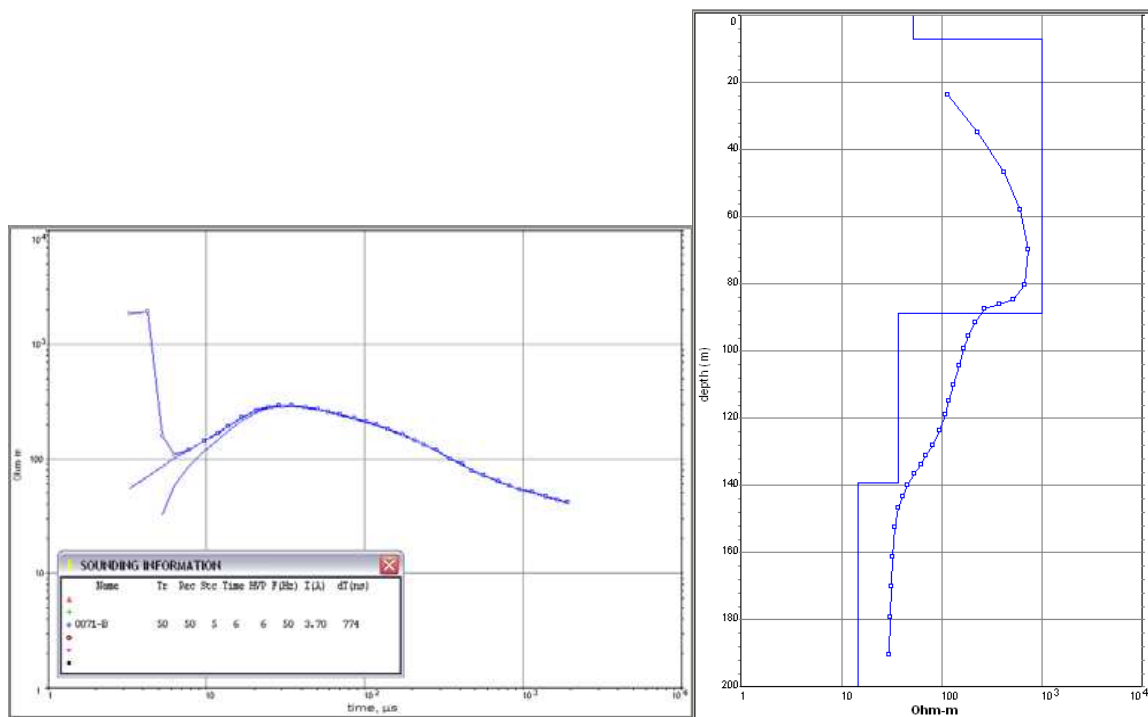
Φυσικά, αυτού του είδους οι δομές είναι πολυδιάστατες, αλλά οι αναστροφές 1D χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις γεωλογικές δομές των υπόγειων υδάτων των μοντέλων ροής.

Γενικότερα, μπορούν να εικονιστούν χωρίς σημαντικά σφάλματα.

#### **4.6 1D μοντέλο**

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα στοιχεία 12a και 12b δείχνουν 0071-B άκουσμα, ως παράδειγμα μεταμόρφωσης Res (η), στα οποία η διανομή των ειδικών αντιστάσεων έναντι του βάθους (ομαλή καμπύλη), και το μοντέλο μετά την 1D αναστροφή (ομοιόμορφο διάγραμμα). Παρουσιάζονται 12b.μαζί με το σχήμα με την καμπύλη αντίστασης (εικ. 12a), άλλα δύο καμπύλες εμφανίζονται ως αποτέλεσμα της πρώτης εξομάλυνσης.

Τα δεδομένα (άνω) της συνεχούς καμπύλης προσεγγίζει  $\rho_{full}(t)$ . Για την καλύτερη ερμηνεία είχε οριστεί, από τον K. Pavel Barsukov της σύστασης, ένα ανώτατο όριο 1000ohm.m.



α

β

**Εικόνα 12:** καμπύλη της φαινόμενης αντίστασης  $\rho_A(t)$  (π.χ. της βυθοσκόπησης 0071).

Δύο ακόμη καμπύλες δίνονται ως αποτέλεσμα τα ανεπεξέργαστα δεδομένα εξομάλυνσης.

Η εικόνα 12α συνεχούς καμπύλης προσεγγίζει την αρχική  $\rho_A(t)$  και τα δεδομένα και η εικόνα 12β καμπύλη είναι η υπολογιζόμενη εξάρτηση  $\rho_{full}(t, \beta)$  Η μετατροπή ( $\rho(h)$ ) και αναστροφή (π.χ. της βυθοσκόπησης 0071) είναι υποβληθείσα από την ομαλή καμπύλη και το ενιαίο διάγραμμα παραγωγής, αντίστοιχα.

#### 4.7 Εικόνα 3D των δεδομένων του TEM

Τα τελευταία 1D μοντέλα αντιστροφής από όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες TEM τελικά συγχωνεύθηκαν για να σχηματίσουν διαφοροποιούμενες φέτες σε βάθος.

Η οροφή και το κάτω μέρος της κάθε καμπύλης [στρώμα για παράδειγμα βλέπε επόμενο: για τη φάση A, στέγη = 0,0 m (Επιφάνεια) και πίσω = 20,0 m (20 m βαθιά από την επιφάνεια του εδάφους)] έχουν οριστεί με βάση το λογισμικό του TEM. Έτσι, τα επιλεγμένα στρώματα προέρχονται, όπου κάθε στρώμα περιλαμβάνει την πληροφορία του μέσου όρου της αντίστασης (είσοδος ohm.m) για κάθε σημείο. Για παράδειγμα, για τη φάση A (0,0 - 20,0 m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους) για κάθε μία από τις 350 μονάδες κατά μέσο όρο της αντίστασης η αξία που εξάγεται (για τα εν λόγω μέτρα 20 μόνο).

Στη συνέχεια, όλες αυτές οι πληροφορίες εισάγονται σε ένα περιβάλλον GIS για τον χωροταξικό χάρτη της κατασκευής της διανομής (ένα χάρτη για κάθε στρώμα). Η τακτική Kriging χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των χαρτών χωρικής κατανομής των παραμέτρων αντίστασης όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.7 του κεφαλαίου 3. Ως εκ

τούτου, κατ' αρχάς, τα στοιχεία ελέγχονται (από το ιστόγραμμα και της κανονικής QQPlots στο ArcGIS Γεωστατιστικός Αναλυτής), εφόσον δε χρειάζεται καμία μετατροπή. Για να γίνει πιο φυσιολογική η κατανομή (για τον τέλειο κανονικό τρόπο διανομής η λοξότητα θα πρέπει να είναι 0 και kurtosis 3). Έτσι, για την αντίσταση του στρώματος A, τα οποία δεν παρουσιάζουν κανονική κατανομή, ο μετασχηματισμός έχει εφαρμοστεί για να κάνουν τη διανομή πιο κοντά στην κανονική (πίνακας 4).

**Πίνακας 4:** Κανονικός έλεγχος διανομής με παράμετρο Log ohm.m παράμετρο (Βλέπε κείμενο για επεξήγηση)

	Kyrtosis	Skewness	Transfromation
Layer A	4.4348	0.9581	Log
Layer B	4.6666	0.0032	None
Layer C	3.8425	-0.5057	None
Layer D	2.7532	0.0083	None

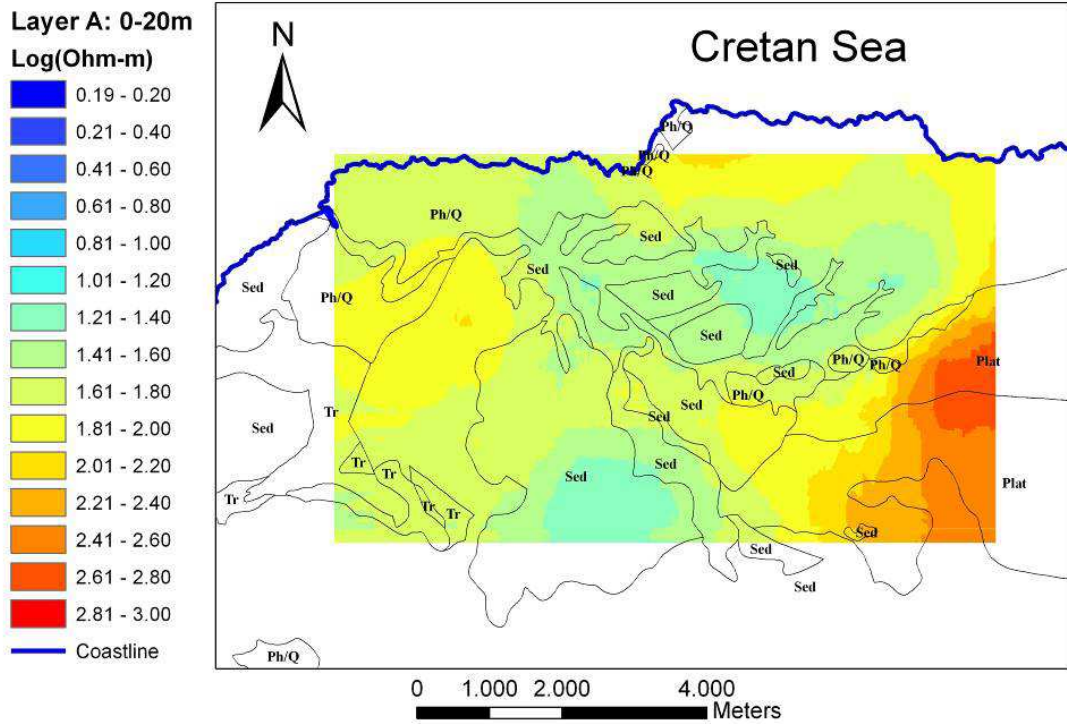
**Πίνακας 4** δείχνει τα μοντέλα που είχαν επιλεγεί για κάθε στρώμα. Για κάθε επιλεγόμενο μοντέλο, το τυποποιημένο μέσο (MS) σφάλμα ήταν κοντά στο 0, η ρίζα του μέσου- όρου- (RMS) και μέσου επιπέδου (ASE) σφάλμα ήταν όσο το δυνατόν μικρότερος, και η ρίζα του μέσου- όρου- Τυποποιημένου (RMSS) σφάλματος ήταν κοντά στο 1.

Οι θέσεις των 350 βυθοσκοπήσεων δεν περιλαμβάνονται στην τελική εικόνα με τις φέτες, προκειμένου να έχουν σαφείς εικόνες, αλλά και η πυκνότητα των μετρήσεων (για τον έλεγχο κάλυψης) φαίνεται στην εικόνα 9.

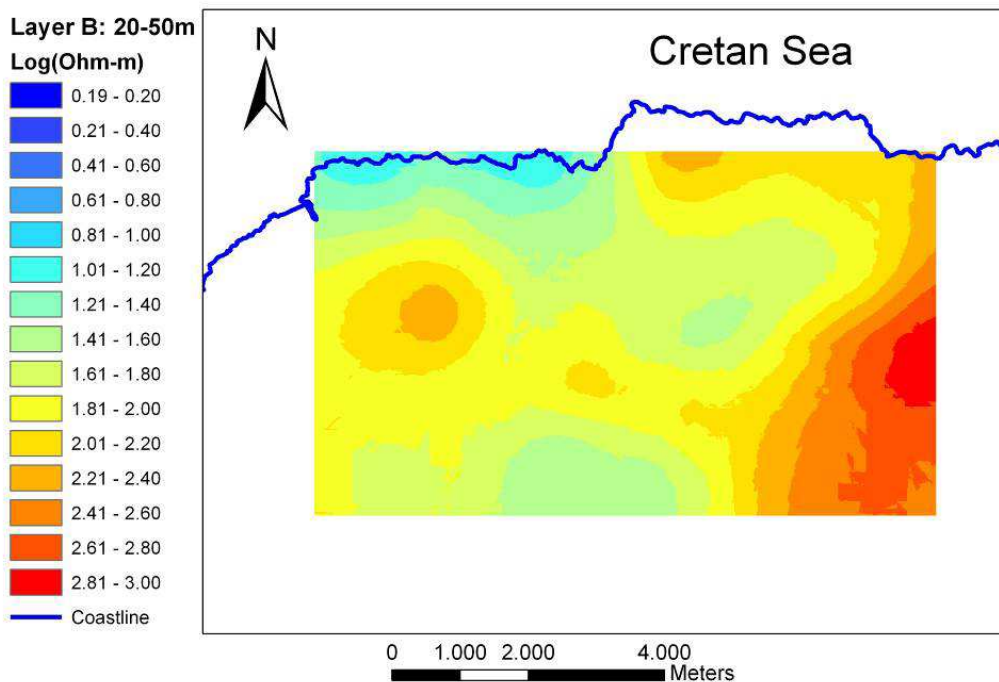
Το εκτιμώμενο μοντέλο αναπαρίσταται ως τέσσερα διαφορετικά βάθη. Έχουμε ως εξής, φέτες με βάθη: Layer A = 0,0 έως 20,0 m, Layer B = 20,0 - 50,0 m, Layer C = 50,0 - 100,0 m, και Layer D = 100,0 έως 200,0 m αντίστοιχα (σχήματα 13a, 13b, 13c & 13d). Μόνο για την ανώτατη αντίσταση- στρώμα A- το στρώμα του καλύμματος βρίσκεται επάνω, απεικονίζει την επιφανειακή γεωλογία. Σημειώστε ότι οι τιμές αντίστασης (ohm.m) για 3D μοντέλα κατασκευής μετατράπηκαν σε Log (ohm.m) μονάδες.

Εικόνες 13a, 13b, 13c & 13d απεικονίζουν τους παρένθετους χάρτες των τιμών αντίστασης TEM με ύψος που λαμβάνεται με DEM. Όλα τα στρώματα μαζί φαίνονται στην εικόνα 13.

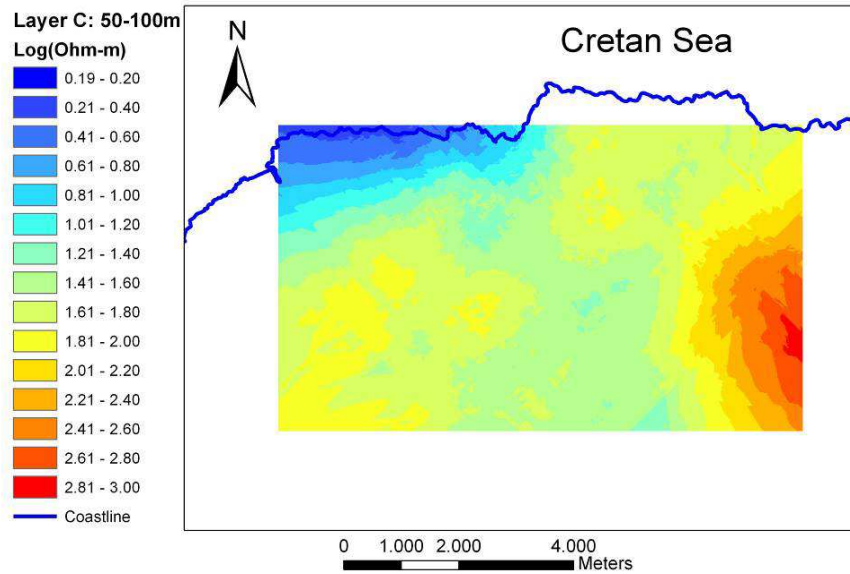
### Layer A: 0-20m depth 1D Inversion



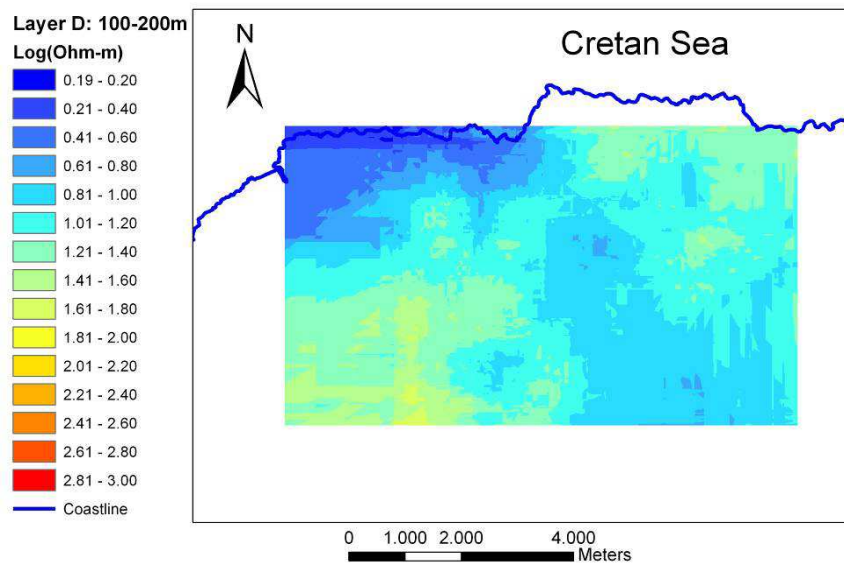
### Layer B: 20-50m depth 1D Inversion



### Layer C: 50-100m depth 1D Inversion



### Layer D: 100-200m depth 1D Inversion

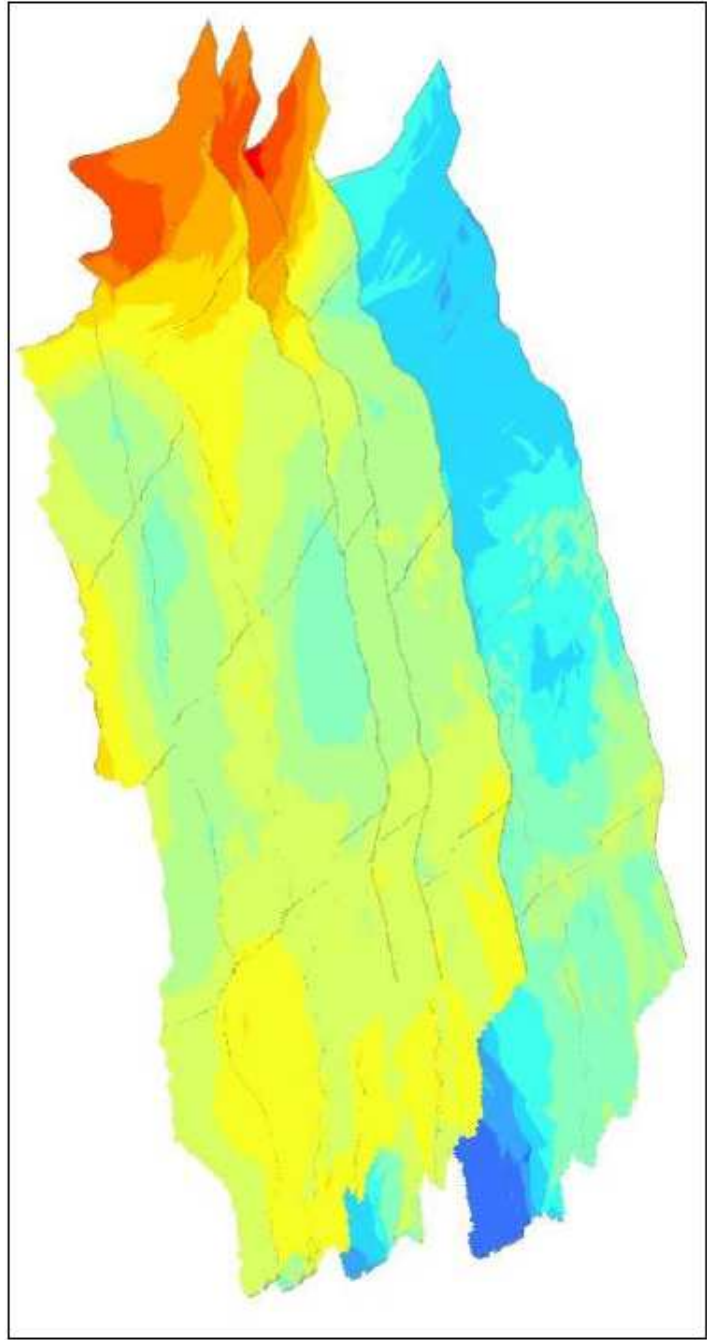


**Εικόνες 14a, 14b, 14c & 14d:** 3D απεικόνιση των δεδομένων αντίστασης (χαρτής χωροταξικής κατανομής-παρουσίαση των αποτελεσμάτων αντιστροφής 1D). Γεωηλεκτρική ερμηνεία σε βάθος 200 m παρουσιάζεται.

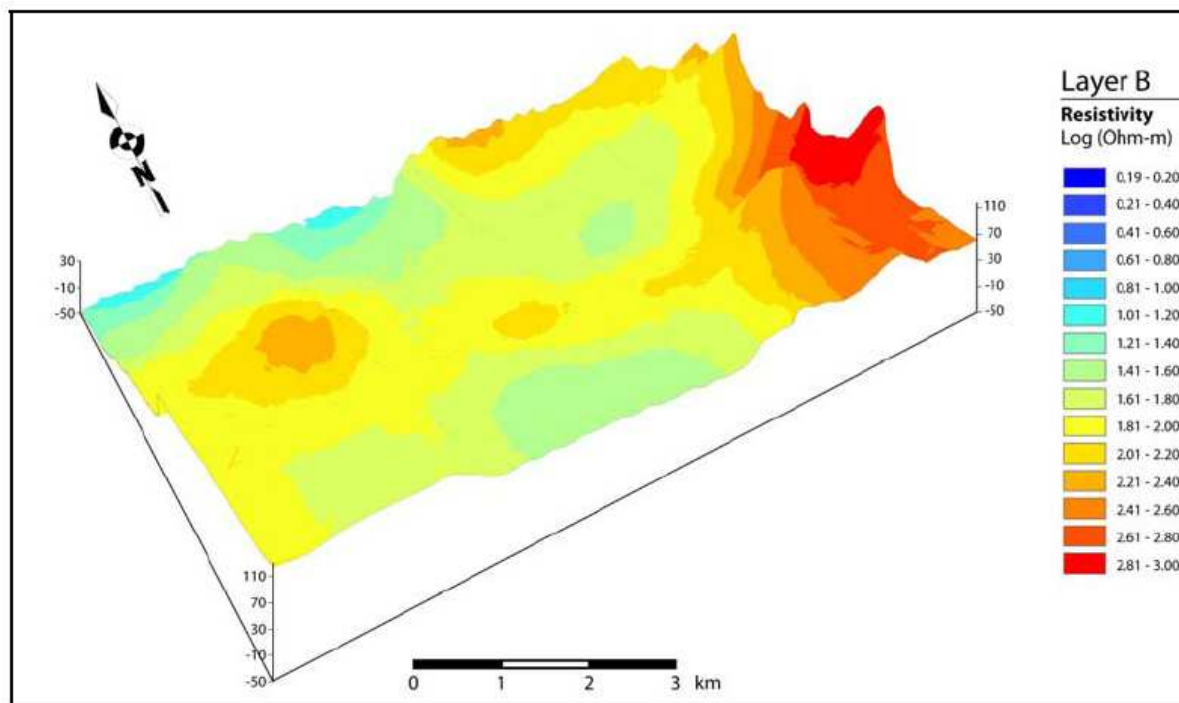
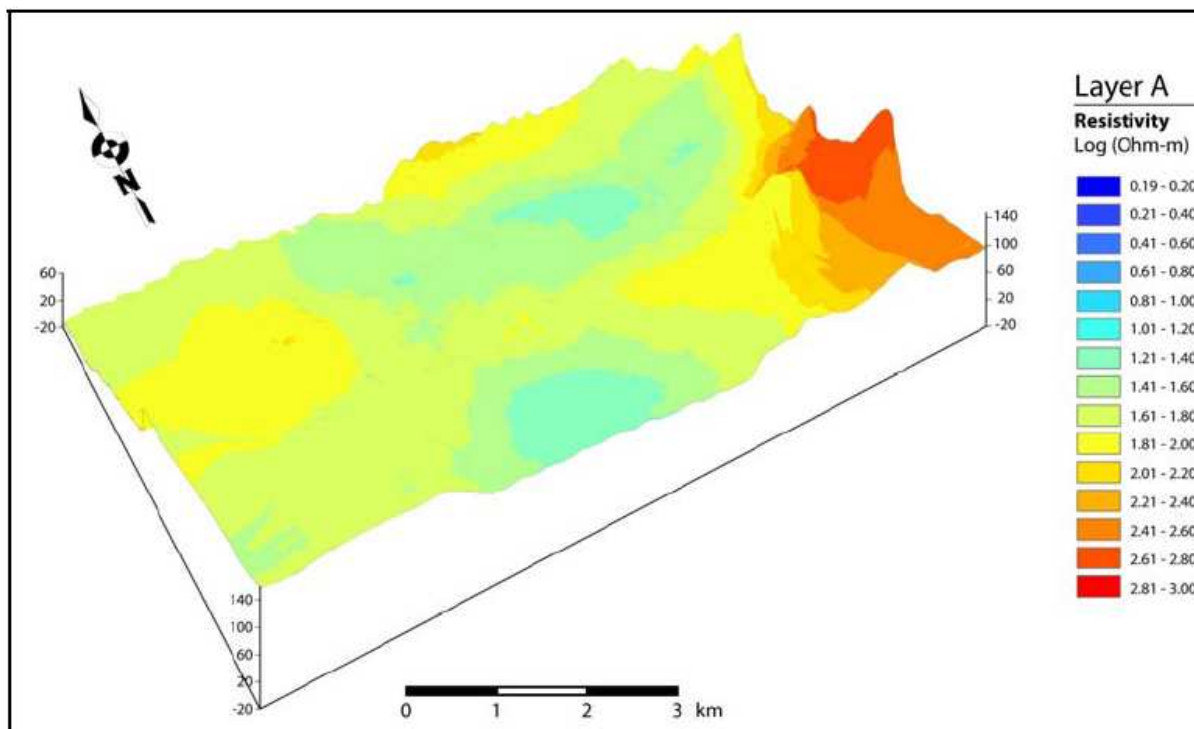
Ζεστό (κόκκινο) χρώμα αντιπροσωπεύουν σχηματισμούς υψηλής αντίστασης και το κρύο (μπλε) χρώμα απεικονίζουν την χαμηλή αντίσταση . α) μόνο για το κομμάτι Α το στρώμα των καλυμμάτων αλληλεπικαλύπτονται, που απεικονίζει την επιφανειακή γεωλογία.

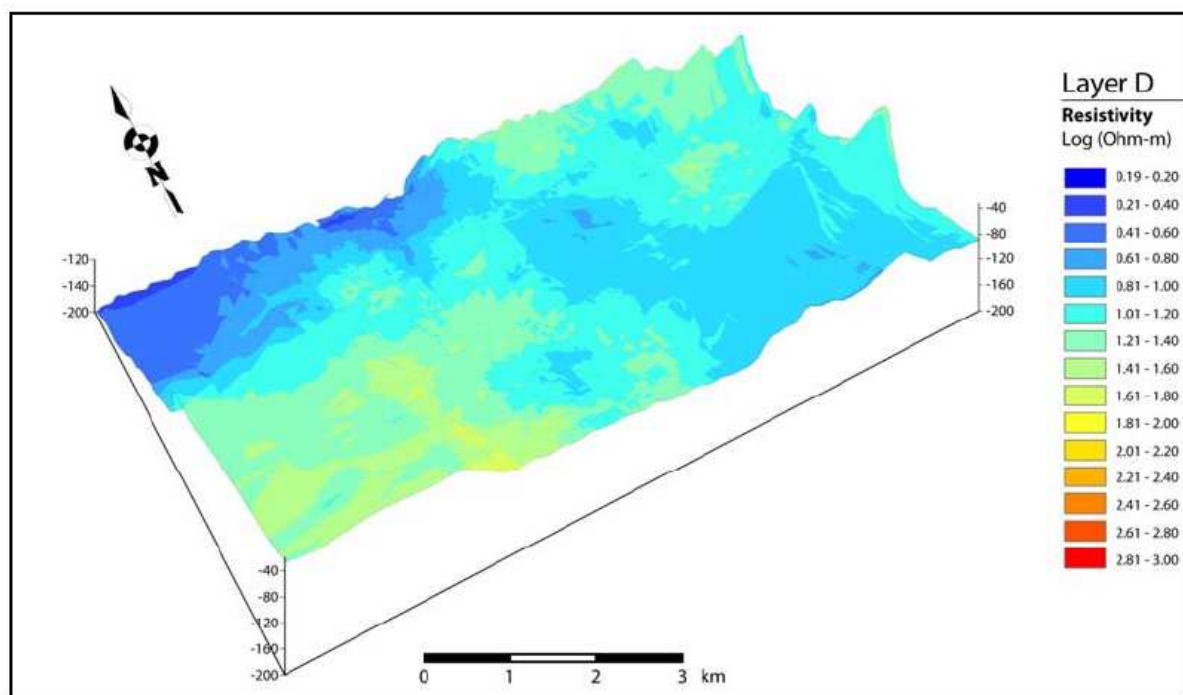
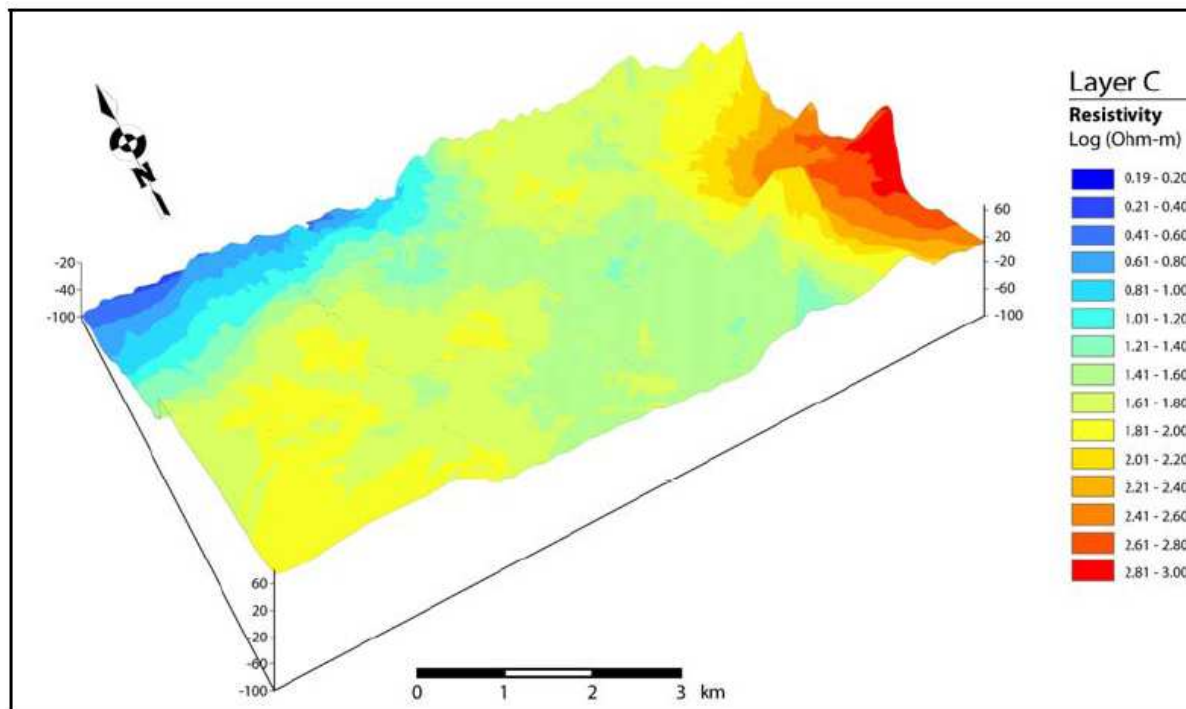
**Εικόνα 14:** οι τέσσερις προερχόμενες στρώσεις Α, Β, C και D (παρεμβολή χαρτών με τιμές αντίστασης TEM σε διαφορετικά βάθη) ως 3D απεικόνιση.

	Trans	Models	Neighbourhood				Prediction Errors				
			Neighbourhoods to include	Include at least	Shape Type	No of Sectors	Mean	Root-Mean Square (RMS)	Average Standard Error (ASE)	Mean Standardized (MS)	Root-Mean-Square Standardized (RMSS)
<b>Layer A</b>	Log	Rational Quadratic	5	2	Neighbours in the centre of Ellipse	4	0.0007	0.2661	0.3131	0.0096	0.8565
<b>Layer B</b>	None	Rational Quadratic	5	2	Neighbours in the centre of Ellipse	8	0.0038	0.3648	0.3131	0.0141	1.0050
<b>Layer C</b>	None	J-Bessel	5	2	Neighbours in the centre of Ellipse	4	0.0026	0.4501	0.4491	0.0067	1.0020
<b>Layer D</b>	None	Gaussian	5	2	Neighbours in the centre of Ellipse	4	-0.0082	0.5350	0.5263	-0.0157	1.0170









**Εικόνα 15:** τα τέσσερα επίπεδα αντίστασης (επίπεδο A:0-20 m. Επίπεδο B: 20-50 m, επίπεδο C: 50-100m επίπεδο D: 100- 200 m) που περιγράφηκαν προηγουμένως με ύψη που λαμβάνονται με DEM που δείχνει το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης.

### **5.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρεται η τεκτονική ρύθμιση που είναι βασικό σημείο και στηρίζει το σενάριο της υφαλμύρισης, αφού φαίνεται ότι τα στρώματα ενεργούν ως αγωγοί στο θαλασσινό νερό που εισβάλλουν στα υδροφόρα στρώματα. Στην συνέχεια, θα συζητηθεί η σχέση μεταξύ χαρακτηριστικών γεωμορφολογίας και γεωλογίας με 3D γεωηλεκτρικά μοντέλα. Τέλος, δείχνει ότι τα προβλήματα οφείλονται στην διείσδυση θαλασσινού νερού και όχι στους εβαπορίτες.

### **5.2 Μια αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ της γεωμορφολογίας, τύποι πετρωμάτων και η δομή τους**

Τα δεδομένα που παρέχονται στο κεφάλαιο 1.3.4 καταδεικνύουν τη μεταβλητή γεωμορφολογίας της βόρειας Κρήτης, σύμφωνα με την οποία η περιοχή μελέτης είναι κατερχόμενο τμήμα από τα βουνά και επομένως το ποτάμι του Γεροποτάμου τροφοδοτείται από τις βροχοπτώσεις. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαίο να αξιολογηθεί η σχέση μεταξύ της ροής του νερού από ξηρά και θάλασσα, στο πλαίσιο της γεωμορφολογίας, λιθολογίας και γεωλογικής δομής. Αναπόσπαστο στοιχείο αυτής είναι ο πιθανός αντίκτυπος των κοιτασμάτων των εβαποριτών στην περιοχή μελέτης, όπου αναλύεται στη συνέχεια, μαζί με τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία.

Στο παρελθόν, είχε προταθεί ότι οι εβαπορίτες ήταν παρόντες στην περιοχή μελέτης (Κνιθάκης, 1995, Περιφέρεια 1999). Υπάρχει το δυναμικό όπου η υφαλμύριση των υπόγειων υδάτων στο μέρος της περιοχής μελέτης θα μπορούσαν να οφείλονται σε θαμμένους εβαπορίτες. Ωστόσο, ο λόγος αυτός προέρχεται από Λαμπράκη και Μαρίνος (Labrakis & Marinos, 2003) οι οποίοι επέστησαν την προσοχή στην παρουσία των νεογενών εβαποριτών στην Ελλάδα. Ωστόσο, το έργο τους δεν περιλαμβάνει συγκεκριμένα την περιοχή μελέτης. Περισσότερο εστίασε τις εργασίες στην περιοχή μελέτης όπου προέκυψαν οι ακόλουθες πληροφορίες:

- Η έκθεση του ΙΓΜΕ (Κνιθάκης, 1995) καταγράφει την παρουσία εβαποριτών στα Νεογενή ιζήματα μόνο (τμήμα 2.2.7). Από τη θεωρία, οι εβαπορίτες δημιουργούνται

στις λεκάνες, και τα κοιτάσματα των κρητικών εβαποριτών οφείλονταν στην κρίση της Μεσογείου (ενότητα 2.2.9.2 του κεφαλαίου 2).

- Υπάρχει επίσης ένα πρόβλημα με την ποιότητα των υπόγειων υδάτων στο βόρειο-ανατολικό τμήμα της περιοχής, που αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες. Αν και ο δολομίτης είναι γνωστό ότι σχετίζεται με τις διαδικασίες των εβαποριτών σε ορισμένα σύγχρονα περιβάλλοντα, στις περισσότερες περιπτώσεις ο δολομίτης είναι μεταγενέστερο προϊόν αλλοίωσης των ασβεστόλιθων, άσχετες με την επιφάνεια του περιβάλλοντος όπου υπάρχει μορφή νεογενών εβαποριτών (Tucker και Wright, 1990). Ως εκ τούτου, τα προβλήματα ποιότητας του νερού που σχετίζονται με τον δολομίτη είναι πιο πιθανά να συνδέονται με την διαγένεση των ασβεστόλιθων, που δεν ελέγχονται από την επιφάνεια της Γης όπου αναπτύσσονται οι εβαπορίτες.
- Όλα τα είδη των εβαποριτών που βρέθηκαν στην Κρήτη είναι γύψος. Το μεγαλύτερο ορυκτό του εβαπορίτη που συνδέεται συχνά με το γύψο δεν έχει βρεθεί ποτέ. Είναι πιθανό ότι ο χαλίτης διαλύεται από τους βραχώδεις σχηματισμούς και απομακρύνονται από το σύστημα.
- Όλα τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί σε αυτή τη μελέτη (στοιχεία από γεωτρήσεις logs) δεν αποκαλύπτουν την παρουσία εβαποριτών σε οποιαδήποτε από τις γεωτρήσεις.
- Οι θέσεις στα νεογενή ιζήματα που έχουν αλμυρό νερό βρίσκονται κοντά στη θάλασσα ή κοντά στα μεγάλα ρήγματα στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης.
- Στα νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης τα νεογενή ιζήματα έχουν πολύ καλή απόδοση στην ποιότητα των υδάτων.

### **Υπάρχουν 3 σενάρια για το πρότυπο του αλμυρού νερού στην περιοχή μελέτης:**

**Σενάριο 1:** διείσδυση του θαλασσινού νερού, **Σενάριο 2:** εβαπορίτες **Σενάριο 3:** συνδυασμός της υφαλμύρισης και των κοιτασμάτων των εβαποριτών. Από το άθροισμα των σημείων αυτών προκύπτει ότι τα μόνα μέρη που έχουν υφάλμυρο νερό, όπου επηρεάζουν τον υδροφόρο ορίζοντα βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης του Γεροποτάμου όπου το θαλασσινό νερό θα μπορούσε να μην συμπεριληφθεί. Η έλλειψη των εβαποριτών στα νεογενή ιζήματα στο νότιο τμήμα της λεκάνης είναι ισχυρά αποδεικτικά στοιχεία ότι οι εβαπορίτες δεν υπάρχουν στην περιοχή μελέτης. Ωστόσο, υπάρχουν εβαπορίτες (γύψος) στη γειτονική δυτική λεκάνη της περιοχής μελέτης. Συνολικά, η ανάλυση αυτή οδηγεί στην

αφαίρεση ότι υπάρχουν βásiμα στοιχεία ότι το υφάλμυρο νερό στον υδροφόρο ορίζοντα οφείλεται στην διείσδυση του θαλασσινού νερού και δεν οφείλεται στη διάλυση των εβαποριτών και θεωρείται ως εκ τούτου η πιο πιθανή αιτία.

Όπως περιγράφεται παραπάνω το πιο πιθανό σενάριο είναι η διείσδυση του θαλασσινού νερού και όχι η ύπαρξη των εβαποριτών.

Ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ συλλέγει δεδομένα με γεωλογικές παρατηρήσεις και πληροφορίες που είναι διαθέσιμες από τις γεωτρήσεις των υδρο-λιθολογικών χαρτών. Αυτά προέρχονται από την ανάλυση της τηλεπισκόπησης και συνδυάζονται για να οδηγήσουν στο συμπέρασμα ότι το αλμυρό νερό εισέρχεται στον υδροφόρο ορίζοντα από λάθη που επεκτείνουν τις εσωτερικές από την ακτογραμμή.

Από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, που ήταν η μόνη διαθέσιμη πηγή γνώσεων σχετικά με την γεωλογία της περιοχής μελέτης, έδωσε πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τους τύπους των πετρωμάτων και τη δομή τους. Όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.2.7 του κεφαλαίου 2, το βόρειο τμήμα της λεκάνης Γεροποτάμου αποτελείται κυρίως από δολομιτικά ασβεστόλιθων και στρωματολίτες μαρμάρων, και φυλλίτες / χαλαζίτες (κάλυμμα φυλλιτών/χαλαζιτών) που καλύπτονται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, ενώ η τεκτονική ρύθμιση χαρακτηρίζεται από ρήγματα ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνσης και ωθήσεων.

Από πληροφορίες που καταγραφθηκαν από τις γεωτρήσεις που παρέχονται από τις τοπικές αρχές έδωσαν πολύτιμα στοιχεία για τη λιθολογία της περιοχής μελέτης, η οποία χρησιμοποιήθηκε επίσης για τις γεωλογικές τομές της κατασκευής. Πέρα από αυτό στα έντυπα εγγραφής περιλαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με τις γεωτρήσεις και τη στατική στάθμη του νερού και την άντληση των περισσότερων από τις γεωτρήσεις.

Η υδρογεωλογική κατάταξη των γεωλογικών μονάδων με βάση τη διαπερατότητα βασίστηκε στην προηγούμενη μελέτη από την Περιφέρεια της Κρήτης (1999), όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.2.8 του Κεφάλαιου 2. Έτσι, μαζί με την κατάταξη αυτή, το βόρειο τμήμα της λεκάνης του Γεροποτάμου (όπου οι φυλλίτες/χαλαζίτες) χαρακτηρίζεται ως σχεδόν αδιαπέραστος σχηματισμός (I2), λαμβάνοντας υπόψη ότι το ανατολικό και νότιο τμήμα (δολομιτικά ασβεστόλιθοι και δολομίτες) της περιοχής έδειξε να αποτελείται από διαπερατούς σχηματισμούς (K1).

Συνοψίζοντας, τα ανωτέρω στοιχεία δείχνουν ότι υπάρχει ένας αδιαπέρατος σχηματισμός κατά μήκος της ακτογραμμής (κάλυμμα φυλλιτών/χαλαζιτών) το οποίο αποτελείται κατά πάσα πιθανότητα εμπόδιο για το θαλασσινό νερό για να έρθει στην ενδοχώρα. Η επιλογή αυτή φαίνεται να είναι σε αντίθεση με το σενάριο εισροής θαλασσινού νερού που φαινόταν να είναι η πιο πιθανή. Η τεκτονική ρύθμιση είναι ένας πολύ σημαντικός

παράγοντας που στηρίζει το σενάριο της υφαλμύρινσης, όπου τα λάθη αναγνωρίζονται ως οι μεγάλες δυνατότητες των αγωγών της ροής του νερού μέσα στο υδροφόρο στρώμα.

Κατά συνέπεια, η φαινομενική ενότητα έδειξε τη στενή σχέση μεταξύ της γεωμορφολογίας, τύποι πετρωμάτων και τη δομή, και ταυτόχρονα η αβεβαιότητα του σεναρίου 1 που ήταν μειωμένη, και φαίνεται να είναι η πιο πιθανή.

### **5.3.3 D απεικόνιση TEM και ποιότητα των υπογείων νερών**

Όπως περιγράφεται στο τμήμα 4.7 του κεφαλαίου 4, τέσσερις 3D εικόνες με γεωηλεκτρικά στρώματα αντίστασης έχουν κατασκευαστεί: Layer A (0-20m βάθος), Layer B (20-50m βάθος), Layer C (50-100m βάθος) και Layer D (100 -200m βάθος), προκειμένου να δώσει κάποιες πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την επιφανειακή γεωλογία (τύποι πετρωμάτων και γενικά τεκτονικές) καθώς και τα χαρακτηριστικά υδροφόρου ορίζοντα.

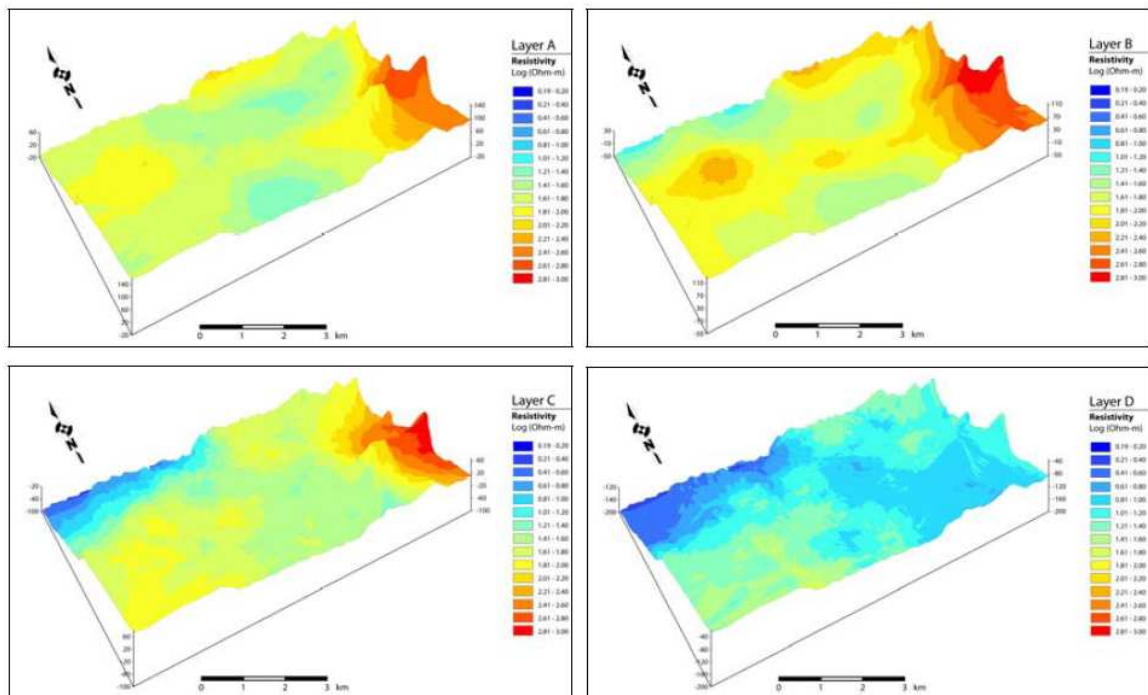
Η εικόνα 13a του κεφαλαίου 4 απεικονίζει: Στο ανατολικό τμήμα, φαίνεται η υψηλή αντίσταση του πλακώδους καλύμματος, ενώ τα ιζήματα και το κάλυμμα φυλλιτών / χαλαζιτών έχουν σχεδόν τις ίδιες τιμές αντίστασης. Δεν υπάρχουν αποδεικτικά στοιχεία της μόλυνσης, αλλά αντιθέτως στον υδροφόρο ορίζοντα εμφανίζεται στο κεντρικό και στο νότιο τμήμα (Τεταρτογενείς καταθέσεις και νεογενείς ασβεστόλιθοι, αντίστοιχα). Αυτό είναι σύμφωνα με τις πληροφορίες από ντόπιους λέγοντας ότι εκεί σε συγκεκριμένες περιοχές υπάρχουν πολλά ρηγά πηγάδια με νερό καλής ποιότητας.

Κατά το νοτιο-ανατολικό τμήμα, οι τιμές δεν είναι αντιπροσωπευτικές, επειδή δεν υπάρχουν στοιχεία TEM αλλά αυτές οι τιμές δίνονται μετά την παρεμβολή των δεδομένων της αντίστασης (συνήθη Kriging).

Στην πραγματικότητα, οι τιμές αυτές είναι αναμενόμενα υψηλότερες. Η ίδια κατάσταση στο κάλυμμα φυλλιτών/ χαλαζιτών στο βόρειο-ανατολικό τμήμα, η κάλυψη δεν είναι επαρκής. Το στρώμα D της εικόνας 13d δίνει πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος και τη γεωμετρία της μόλυνσης. Συγκεκριμένα, το νοτιο-δυτικό τμήμα του μοντέλου 3D φαίνεται ανεπηρέαστο από το θαλασσινό νερό. Το βορειο-ανατολικό μέρος της περιοχής δεν φαίνεται να έχει μολυνθεί, αλλά οι μετρήσεις TEM δεν είναι διαθέσιμες, και ίσως καταπατά θαλασσινό νερό και μολύνει το Πλακώδες κάλυμμα στο ανατολικό τμήμα. Τέλος, μια τάφος με ΒΔ-ΝΑ κατεύθυνση διασχίζει τη περιοχή μελέτης και προβλέπεται εδώ να είναι ένα σημαντικό μέσο για θαλασσινό νερό.

#### 5.4 Απλό υδρογεωλογικό μοντέλο

Τα τέσσερα επίπεδα αντίστασης (επίπεδο A:0-20 m, επίπεδο B: 20-50m, επίπεδο C: 50-100m, επίπεδο D:100-200m) τα οποία περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο (παρεμβολή χαρτών TEM με τιμές αντίστασης σε διαφορετικά βάθη) εκπροσωπούνται με ύψη που λαμβάνονται με DEM που δείχνουν την ανακούφιση της περιοχής μελέτης. Οι εικόνες αυτές έχουν κατασκευαστεί κυρίως για να καταστεί σαφής ο φυσικός μηχανισμός της στην διείσδυση της θάλασσας. Σύμφωνα με αυτή την άποψη το φαινόμενο της υφαλμύρινσης δεν μπορεί να συμβεί πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, έτσι ώστε το ΒΔ τμήμα της περιοχής μελέτης ήταν μολυσμένο μέσω ζωνών διάρρηξης (χαμηλού υψομέτρου) ενώ η μόλυνση του ΝΑ τμήματος της περιοχής μελέτης εμφανίζεται μόνο στρώμα D περίπου 80m.



**Εικόνα 16:** Τα τέσσερα στρώματα αντίστασης (Επίπεδο A: 0 - 20 m, Επίπεδο B: 20 - 50 m, Επίπεδο Γ: 50 - 100 m, Επίπεδο D: 100 - 200 m), με ύψος που λαμβάνεται με DEM που δείχνει το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης.

Τέλος, θα πρέπει να συζητηθεί πως τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας σχετίζονται με μελέτες που προέρχονται από άλλες περιοχές. Δύο χώροι επιλέχθηκαν για να δείξουν γενικές ομοιότητες και διαφορές με την περιοχή μελέτης (Γερόποταμος) καθώς θεωρούνται

οι πιο αντιπροσωπευτικοί. Η παράκτια λωρίδα του Ισραήλ και η παράκτια περιοχή της Ροδόπης (Βορειοανατολική Ελλάδα).

Φυσικά, είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι το βόρειο τμήμα του Γεροποτάμου μελετήθηκε επιστημονικά από την Δρ. Καλησπέρη (2009), ενώ η Ισραηλινή ακτή και τα υδροφόρα στρώματα της Ροδόπης έχουν εξεταστεί για πολλά χρόνια. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει η πρόθεση όπως οι Goldman M., Kafri U. και Melloul έκαναν παραπάνω για την περιοχή τους (Ισραήλ), έτσι ώστε να συνεχίσουν έρευνες TEM προκειμένου να καλύψουν την περισσότερη έκταση της Κρητικής ακτής. Επιπλέον, θα πρέπει να συνεχιστούν οι χημικές αναλύσεις των υπόγειων υδάτων (όπως έκανε ο Πεταλάς και άλλοι στην βορειοανατολική Ελλάδα), ενώ περισσότερο θα πρέπει να προστεθούν τα σημεία δειγματοληψίας. Ως εκ τούτου, η συνέχιση του έργου αυτού θα είναι μια καλή προσπάθεια για το πρόβλημα της υφαλμύρισης της Κρήτης.

Στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας του 2<sup>ου</sup> κεφαλαίου γίνεται μια σύντομη αναφορά στην διείδυση του θαλασσινού νερού με χαρτογράφηση των τελευταίων 25 ετών από την Goldman M. Kafri U. και Melloul A. Στο Ισραήλ έγινε (π.χ. Goldman et al. (1988), Melloul et Bibas (1991), Kafri et al (1997), Goldman et Kafri (2002), Kafri et Goldman (2006), Kafri et al. (2007). Χρησιμοποιούν κυρίως τεχνικές TEM κάνοντας εκτεταμένες έρευνες, οι οποίες καλύπτουν σχεδόν το σύνολο της Μεσογειακής παράκτιας λωρίδας του Ισραήλ.

Στην ίδια περιοχή Silvan et al. (2004) η δειγματοληψία των υφάλμυρων υπόγειων υδάτων από τον ισραηλινό παράκτιο υδροφορέα προκειμένου να πάρουμε την ποσότητα από τις γεωχημικές διαδικασίες και το χρονοδιάγραμμα της διείδυσης του θαλάσσιου νερού στο παράκτιο υδροφόρο ορίζοντα.

Και στα δυο σημεία η τεχνική TEM έδειξε ότι η διείδυση του θαλασσινού νερού είναι η μόνη αιτία μόλυνσης των υπόγειων υδάτων. Επιπλέον, για τις δύο θέσεις από πληροφορίες που υπήρχαν, χρησιμοποιήθηκαν γεωτρήσεις οι οποίες σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των ερευνών TEM, τα παράκτια υδροφόρα στρώματα έχουν οριοθετηθεί με επιτυχία. Όσον αφορά τον υδροφορέα της Ροδόπης επαναλαμβανόμενες υδρογεωλογικές έρευνες από τον Πεταλά την τελευταία δεκαετία (Petalas κ.ά. (1999), Petalas & Lambrakis (2006), Petalas κ.ά. (2009) έχουν δείξει την προέλευση των υπόγειων υδάτων στην παράκτια περιοχή, που απεικονίζουν την μεγάλη έκταση της υφαλμύρισης στο σύστημα του υδροφορέα της Ροδόπης.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 6.1 Εισαγωγή

Αυτο το κεφάλαιο συνοψίζει τα κύρια αποτελέσματα της έρευνας και εξηγεί σε ποιο βαθμό οι στόχοι έχουν επιτευχθεί: ποια είναι η σχέση μεταξύ της γεωμορφολογίας, των τύπων πετρωμάτων και τη δομή και ποια είναι η σχέση μεταξύ της ποιότητας των υδάτων και των φυσικών χαρακτηριστικών της γεωμορφολογίας και της γεωλογίας.

#### 6.2 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής καταγράφονται εδώ:

1. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στα προηγούμενα κεφάλαια είναι η καλύτερη ερμηνεία ότι το αλατούχο νερό οφείλεται στη διείσδυση θαλασσινού νερού Ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια της καθίζησης της χειμερινής περιόδου (κυρίως χιόνι και βροχή), που ως επί το πλείστον στα βουνά (Ψηλορείτη και Ταλέα Όρη), υπήρξε δημιουργία ποταμού, ή υπήρχε απορρόφηση στο έδαφος, όπως διείσδυση (ανασύσταση του υδροφόρου ορίζοντα βαθιά - καλύμματος Πλακώδεις, ή υδροφόρου - νεογενή ιζήματα). Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, εισέρχεται θαλασσινό νερό μέσω των εσωτερικών ρηγμάτων με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση (διακεκομμένες γραμμές χρώματος πορτοκαλί) και μόλυνση του γλυκού νερού.

2. Αποδεικτικά στοιχεία ότι τα υπόγεια ύδατα του υδροφόρου ορίζοντα Γεροποτάμου είχαν ήδη μολυνθεί από την καταπάτηση θαλασσινού νερού όπου παρουσιάζεται στην παρούσα πτυχιακή. Με την χειμερινή βροχόπτωση επαναφορτίζονται κάθε χρόνο οι φρεάτιοι υδροφορείς, παρέχοντας σχετικά φρέσκο ύδωρ για τον τοπικό πληθυσμό. Παρ' όλα αυτά, η αλλαγή του κλίματος και η αύξηση της ζήτησης του νερού (αυξάνοντας τα ποσοστά άντλησης), θα μπορούσε εύκολα να οδηγήσει σε έλλειψη προμηθειών του γλυκού νερού, και η αύξηση της αλατότητας των υδροφόρων οριζόντων της περιοχής. Γι 'αυτόν τον λόγο, τα σχέδια διαχείρισης των υδάτων είναι ουσιώδης

3. Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη διατριβή δείχνει συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων αυτών των μεθόδων. Τα φυσικά χαρακτηριστικά (γεωμορφολογία, γεωλογική δομή) σχετίζονται με τις γεωφυσικές ιδιότητες. Όλες οι πληροφορίες, σε συνδυασμό με την μείωση της αβεβαιότητας, και το θαλασσινό νερό είχε συναφθεί ως το μόνο μολύνων του βορείου τμήματος της λεκάνης του Γεροποτάμου.

4. Η εργασία αυτή τονίζει ότι η εφαρμογή της τεχνικής TEM είναι επιτυχής αξιολογώντας τα υπόγεια ύδατα των πόρων. Η αξιοπιστία των δεδομένων, η φορητή φύση του εξοπλισμού, η γρήγορη συλλογή δεδομένων και τα ελάχιστα που απαιτούνται για τους συμμετέχοντες, η λειτουργία του (3 άτομα κατ' ανώτατο όριο) να καταστήσει αυτήν την ηλεκτρομαγνητική τεχνική ένα εξαιρετικό εργαλείο για την υδρογεωλογία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και μόνο με την εξόρυξη αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Ωστόσο, η TEM σε σχέση με άλλες μεθόδους, όπως π.χ άλλες γεωφυσικές τεχνικές, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται μέσα στα πλαίσια της εργασίας αυτής, καθιστάται ότι προεξέχει περισσότερο ισχυρή.

5. Απομακρυσμένο αισθητήρα ανάλυσης, παρόλο που ήταν μια προκαταρκτική εργασία, έδειξε θαυμάσια αποτελέσματα, επιβεβαιώνοντας τεκμηριωμένα ελαττώματα (ΙΓΜΕ χάρτη), ή παρέχει εντελώς νέα μέτρα, η οποία φαίνεται να είναι σε συμφωνία με TEM γεωφυσικής έρευνας. Ωστόσο, η επιτόπια έρευνα θα επιβεβαιώσει αυτό το έργο.

6. Ως εκ τούτου, σε γενικές γραμμές, η παρούσα μελέτη προσφέρει τρεις εισφορές σε γνώση:

1) Μια πρακτική επίδειξη της αξίας των TEM γεωφυσικών μεθοδολογιών σε μελέτες των υπόγειων υδάτων

2) Μια νέα σειρά των γεωφυσικών δεδομένων

3) Οι εβαπορίτες δημιουργήθηκαν μέσα στο θαλασσινό νερό (halites), καθώς οι άνθρωποι μέχρι τώρα πίστευαν, ότι είναι η πιο πιθανή μόλυνση των υπογείων υδάτων της περιοχής μελέτης.

7. Προοπτικές (Προτάσεις για μελλοντικές εργασίες) Από την επιστημονική άποψη, έστω και αν η μελέτη είναι μία προσέγγιση, η οποία πρόκειται να καταλήξει σε συνεκτικά συμπεράσματα, το μελλοντικό έργο έχει τη δυνατότητα να μειώσει την αβεβαιότητα ακόμη περισσότερο. Μερικές προτάσεις για τις δύο πρόσθετες γεωφυσικές εργασίες δίνονται στη συνέχεια. Για την γεωφυσική, από κοινού η αναστροφή του TEM ίσως θα μπορούσε να

βελτιώσει το 1D μοντέλο. Αυτό απαιτεί βαθύτερη βολιδοσκόπηση και φυσικά καλή ποιότητα των πρώτων δεδομένων TEM. Επιπλέον, η 3D TEM αντιστροφή, χρησιμοποιώντας πολύ καινοτόμους αλγορίθμους μπορεί επίσης να δείξει καλύτερα αποτελέσματα.

Εν κατακλείδι, η γεωφυσική ερμηνεία έδειξε με ασφάλεια την πηγή της μόλυνσης, καθώς και τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων υδάτων. Έτσι, τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής μπορεί να είναι ευκαιρία για να βρούμε λύσεις για το νερό της διαχείρισης προκειμένου να επιτύχουν και να διατηρήσουν μια μακροπρόθεσμη προστασία των διαθέσιμων υπόγειων υδάτινων πόρων της περιοχής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**Δημήτριος Ζαρρής, 2008.** Masterplan Ύδρευσης Δήμου Γεροποτάμου, *Δήμος Γεροποτάμου, Γεροπόταμος.*

**General Secretariat of National Statistical Service of Greece, 2008.** <http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/> (in Greek)

**Psilakis, N. 1996.** Cretan Mythology, *Heraklion*, Karmanor Press.

**Chartzoulakis, K.S., Paranychianakis, N.V. & Angelakis, A.N., 2001.** Water resources management in the island of Crete, Greece, with emphasis on the agricultural use. *Water Policy* 3, 193-205.

**Kalisperi D. 2009.** Assessment of groundwater resources in the north-central coast of Crete - Greece using geophysical and geochemical methods, *PhD Thesis, Brunel University - UK.*

**Angelier, J. 1976.** Sur la neotectonique de l'arc egeen externe: les failles normales Est-Quest et l' extension submeridienne cretoise. *C.R. Acad. Sci.Paris, (D)*, 282, 413-416. (in French).

**Makris, J. 1977.** Geophysical investigations of the Hellenides. *Hamb. Geophys. Einzelschr*, 34, 124.

**McKenzie, D.P. 1978.** Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 40, 23-32

**Papazachos, B.C. & Comninakis, P.E. 1978.** Deep structure and tectonics of the Eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 33, 285-296.

**Le Pichon, X. & Angelier, J. 1979.** The hellenic Arc and Trench System: a key to the neotectonic evolution of the Eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 60, 1-42.

**Molnar, P. & Tapponier, P. 1975.** Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. *Science*, 189, 419.

**Jackson, J. 1994.** Active tectonics of the Aegean region. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 22, 239-271.

**Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemand, S., Noomen, R. & Veis, G. 1995.** Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: implications for eastern Mediterranean tectonics. *J. Geophys. Res.*, 100, 12675-12690.

**Cocard, M., Kahle, H.-G., Peter, Y., Geiger, A., Veis, G., Felekis, S., Paradissis, D. & Billiris, H. 1999.** New constrains on the rapid crustal motion of the Aegean region: recent results inferred from GPS measurements (1993-1998) across the West Hellenic Arc Greece. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 172, 39-47.

**Noomen, R., Loohuis, J. & Kampes, B. 1999.** Deformations in the Mediterranean area observed by space geodesy. Geophys. Res. Abstracts 1. In: Proceedings of the 24th General Assembly of the European Geophysical Soc., The Hague, Netherlands.

**Bohnhoff, M., Makris, J., Papanikolaou, D. & Stavrakakis, G. 2001.** Crustal investigation of the Hellenic subduction zone using wide aperture seismic data. *Tectonophysics*, 343, 239-62.

**McKenzie, D.P. 1970.** Plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature*, 226, 239-243.

**Taymaz, T., Jackson, J. & Westaway, R. 1990.** Earthquake mechanisms in the Hellenic Trench near Crete. *Geophys. J. Int.*, 102, 695-731.

**Makris, J., Röwer, P., 1986.** Struktur und heutige Dynamik der Lithosphäre in der Ägäis. In: Jakobshagen, V. (Ed.), *Geologie von Griechenland*. Gebrüder Bornträger, Berlin, 241-256. (in German).

**McKenzie, D.P. 1972.** Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 30, 109-185.

**Angelier, J., Dumont, J.F., Karamanderesi, H., Poisson, A., Simsek, S. & S. Uysal, S. 1981.** Analyses of fault mechanisms and expansion of southwestern Anatolia since the Late Miocene. *Tectonophysics*, 75, T1-T9.

**Angelier, J., Lyberis, N., Le Pichon, X., Barrier, E. & Huchon, P. 1982.** The tectonic development of the Hellenic Arc and the Sea of Crete: a synthesis. In: X. Le Pichon, S.S. Augoustithis and J. Mascle (Eds.), *Geodynamics of the Hellenic Arc and Trench*. *Tectonophysics*, 86, 159-196.

**Barton, M., Salters, V.J.M. & Huysmans, J.P.P. 1983.** Sr isotope and trace element evidence for the role of continental crust in calc-alkaline volcanism on Santorini and Milos, Aegean Sea, Greece. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 63, 273-291.

**Postma, G., Fortuin, A.R. & W.A. Van Wamel 1993.** Basin-fill patterns controlled by tectonics and climate: the Neogene "forearc" basins of eastern Crete as a case history. In: Frostick, L.E & Steel R.J. (Eds.) "Tectonic Controls and Signatures in Sedimentary Successions", *Spec. Publ. Int. Ass. Sed.*, 335-362.

**Bonneau, M. 1984.** Correlation of the Hellenide nappes in the south-east Aegean and their tectonic reconstruction. In: Dixon, J.E. & Robertson, A.H.F. "The geological evolution of the eastern Mediterranean". Geological Society, Blackwell scientific publications ltd edit., Oxford, London, Edimbourg, Boston, Palo, Alto, Carlton, Sp. Publ. 17, 517-527.

**Kilias, A., Fassoulas, C. & Mountrakis, D. 1994.** Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis metamorphic core complex in the central part of the Hellenic arc (Crete, Greece). *Geologische Rundschau*, 83, 417-30.

**Fassoulas, C., Kilias, A. & Mountrakis, D. 1994.** Post-nappe stacking extension and exhumation of the HP/LT rocks in the island of Crete, Greece. *Tectonics*, 13, 127-138.

**Fassoulas, C. 2000.** *Field Guide to the Geology of Crete*. Heraklio: Natural History Museum of Crete Publ.

**Epting, M., Kudrass, H.R., Leppig, U. & Schafer, A. 1972.** Geologie der Talea Ori (Kreta). Neues Jahrbuch for Geologie und Palaontologie Abhandlungen, Stuttgart, t. 141, fasc. 3, 259- 285.

**Creutzburg, N. & Seidel, E. 1975.** Zum Stand der Geologie des Praneogens auf Kreta. *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.*, 149 (3), 363-383. (in German).

**Seidel, E., Kreuzer, H. & Harre, W. 1982.** A Late Oligocene/Early Miocene High Pressure Belt in the External Hellenides. *Geologisches Jahrbuch E23*, 165-206

**Theye, T., Seidel, E. & Vidal, O. 1992.** Carpholite, sudoite, and chloritoid in low-grade highpressure metapelites from Crete and the Peloponnese. *European Journal of Mineralogy*, 4, 487-507.

**Bonneau, M. 1984.** Correlation of the Hellenide nappes in the south-east Aegean and their tectonic reconstruction. In: Dixon, J.E. & Robertson, A.H.F. "The geological evolution of the eastern Mediterranean". Geological Society, Blackwell scientific publications ltd edit., Oxford, London, Edimbourg, Boston, Palo, Alto, Carlton, Sp. Publ. 17, 517-527.

**Hall, R., Audley-Charles, M.G. & Carter, D.J. 1984.** The significance of Crete for the evolution of eastern Mediterranean. In: Dixon, J.E. and Robertson, A.H.F. (Eds.). The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. *Spec. Publ. Geol. Soc. London*, 17, 499-516.

**Dermitzakis, M.D. & Papanikolaou, D. 1981.** Paleogeography and Geodynamics of Aegean Region during Neogene. Viith Int. Congress on Medit. Neogene, Athens 1979. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, IV, 245-289.

**Meulenkamp, J.E., Dermitzakis, M.D., Georgiades-Dikeoulia, E., Jonkers, H.A. & Boger, H. 1979.** *Field guide to the Neogene of Crete*. Publ. of the Department of Geology and Paleontology, Univ. of Athens, ser. A, no32, 32.

**Jolivet, L., Goffe, B., Monie, P., Truffert-Luxey, C., Patriat, M. & Bonneau, M. 1996.** Miocene detachment in Crete and exhumation P-T-t paths of high-pressure metamorphic rocks. *Tectonics*, 15, 1129-1153.

**Ring, U. & Reischmann, T. 2002** The weak and superfast Cretan detachment, Greece: exhumation at Subduction rates in extruding wedges. *Journal of the Geological Society, London*, 159, 225-8.

**Xypolias, P. & Doutsos, T. 2000.** Kinematics of rock flow in a crustal-scale shear zone: implication for the orogenic evolution of the southwestern Hellenides. *Geological Magazine*, 137, 81-96.

**Chatzaras V., Xypolias P. & Doutsos T. 2006.** Exhumation of high-pressure rocks under continuous compression: A working hypothesis for the southern Hellenides (central Crete, Greece). *Geological Magazine*, 143 (6), 859-876.

- Knithakis, M. 1995.** *Hydrogeological Investigation of Rethymnon Region (Prefecture of Rethymnon)*. Rethymnon: Institute of Geological and Mineralogical Investigations (IGME).
- Kallergis, G.A. 2001.** *Applied - Environmental Hydrogeology*. Athens: Technical Chamber of Greece.
- Kirsch, R. (Ed.) 2006.** *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology, XVII*, Berlin: Springer.
- Drabbe, J. & Badon Ghyben, W. 1888-1889.** Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam. Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs, The Hague, Neth, 8-22.
- Herzberg, B. 1901.** Die Wasserversorgung einiger Nordseebader. *J. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, 44, 815-819, 842-844.
- Ingebritsen, S.E. & Sanford, W.E. 1998.** *Groundwater in Geologic Processes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Young, M.E., Macumber, P.G., Watts, M.D., & Al-Toqy N. 2004.** Electromagnetic detection of deep freshwater lenses in a hyper-arid limestone terrain, *Journal of Applied Geophysics*, 5 (1), 43-61.
- Young, M.E., De Bruijn, R.G.M. & Bin Salim Al-Ismaily, A. 1998.** Exploration of an alluvial aquifer in Oman by time-domain electromagnetic sounding *Hydrogeology Journal*, 6 (3), 383-393.
- Meju M.A., Fenning P.J. & Hawkins T.R.W. 2000.** Evaluation of small-loop transient electromagnetic soundings to locate the Sherwood Sandstone aquifer and confining formations at well sites in the Vale of York, England. *Journal of Applied Geophysics*, 44 (2 - 3), 217-236.
- Danielsen J.E., Auken E., Jorgensen F., Sondergaard V., & Sorensen K.I. 2003.** The application of the transient electromagnetic method in hydrogeophysical surveys, *Journal of Applied Geophysics*, 53 (4), 181-198.
- Lepper, E. & Elmore, A.C. 2005.** Groundwater development in Lemoa, Guatemala. *Environmental Geology*, 48 (1), 49-56.
- Barrett, B., Heinson, G., Hatch, M. & Telfer, A. 2006.** River sediment salt-load detection using a water-borne transient electromagnetic system. *Journal of Applied Geophysics*, 58, 29-44.
- Kontar E.A., Ozorovich Y.R. 2006.** Geo-electromagnetic survey of the fresh/salt water interface in the coastal southeastern Sicily. *Continental Shelf Research*, 26 (7), 843-851.
- Guerin, R., Descloitres, M., Coudrain, A., Talbi, A., & Gallaire, R. 2001.** Geophysical surveys for identifying saline groundwater in the semi-arid region of the central Altiplano, Bolivia *Hydrological Processes*, 15 (17), 3287-3301.

**Metwaly, M., Khalil, M., Al-Sayed, E.-S. & Osman, S. 2006.** A hydrogeophysical study to estimate water seepage from northwestern Lake Nasser, *Egypt Journal of Geophysics and Engineering* 3 (1), 21-27.

**Papadopoulos, I., Tsourlos, P., Karmis, P., Vargemezis, G. & Tsokas, G. N. 2004.** *Journal of Balkani Geophysical Society*, 7 (1), 1-11.

**Eddy-Dilek, C.A., Looney, B.B., Hoekstra, P., Harthill, N., Blohm, M., Phillips, D.R. 1997.**

Definition of a critical confining zone using surface geophysical methods. *Ground Water*, 35,(3), 451-462

**Land, L.A., Lautier, J.C., Wilson, N.C., Chianese, G. & Webb S. 2004.** Geophysical Monitoring and Evaluation of Coastal Plain Aquifers. *Ground Water*, 42 (1), 59-67.

**MacNeil, R.E., Sanford, W.E., Connor, C.B., Sandberg, S.K. & Diez M. 2007.** Investigation of the groundwater system at Masaya Caldera, Nicaragua, using transient electromagnetics and numerical simulation, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 166 (3 - 4), 217-232.

**Nielsen, L., Jørgensen, N.O. & Gelting, P. 2006.** Mapping of the freshwater lens in a coastal aquifer on the Keta Barrier (Ghana) by transient electromagnetic soundings. *Journal of Applied Geophysics*, 62, 1-15.

**Richards, R.T., Troester, J.W., & Martinez M.I. 1998.** An electromagnetic geophysical survey of the freshwater lens of Isla de Mona, Puerto Rico. *Journal of Cave and Karst Studies*, 60 (2), 115-120.

**Everett, M. & Meju, M.A. 2005.** Near-surface controlled-source electromagnetic induction: Background and recent advances. In Y. Rubin & S. Hubbard (eds.), *Hydrogeophysics*, Springer, Chapter 6, 157-184.

**Edminister, J. 1994.** *Schaum's Outline of Theory and problems of Electromagnetics*. USA:McGraw-Hill.

**Stratton, J.A. 2007.** *Electromagnetic Theory (IEEE Press Series on Electromagnetic Wave Theory)*. Hoboken, New Jersey: Wiley-IEEE Press.

**McNeill, J.D. 1980.** *Applications of transient electromagnetic techniques*. Geonics Limited Technical Note TN-7.

**Nabighian, M.N. & Macnae, J.C. 1991.** Time domain electromagnetic methods. *Electromagnetic methods in applied geophysics 2: Applications*, chapter 6, Nabighian, M.N. (Ed.), SEG Publ., 427-520.

**TEM-Fast 48 manual. 2007.** The Netherlands: Applied Electromagnetic Research (AEMR) Version 7.3.

**TEM-RES manual. 2007.** The Netherlands: Applied Electromagnetic Research (AEMR) Version 7.



**Spies, R.B. & Frischknecht, F.C 1991.** Electromagnetic Sounding. Electromagnetic methods in applied geophysics 2: Applications, chapter 5, Nabighian, M.N. (Ed.), SEG Publ., 285-422.

**Kamenetsky, F.M. 1997.** *Electromagnetic geophysical studies with the method of transient processes.* Moscow: GEOS. (in Russian).

**Barsukov, P.O., Fainberg, E.B. & Khabensky, E.O. 2007.** *Shallow Investigations by TEM - FAST Technique: Methodology and examples.* In: Electromagnetic Sounding of the Earth's Interior, Spichak, V.V. (Ed.), Holland: Elsevier, 55-77.

**Svetov, B.S. & Barsukov P.O. 1984.** Transformation of Quasistationary Transient Geoelectrical Processes into Equivalent Wave Processes. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Fiz. Zemli* (8), 29-37.

**Lambrakis N. & Marinis P. 2003.** The salinisation of coastal aquifers in Greece; A general review. Serie: *Hydrogeologia Y Aguas Subterraneas*, (8), 251-263.

**Regional Governor of Crete. 1999.** *Study of Waver Resources Management of Crete.* Heraklion: Regional Governor of Crete. (in Greek).

**Tucker, M.E. & Wright, V.P.1990.** Carbonate Sedimentology. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

**Goldman, M. & Kafri, U.2002.** Integrated electromagnetic geophysical technology applied to the detection of deep fresh/salinegroundwater interfaces in northern and central Israel. *Geoph. Inst. Israel. Rep. 911/188/01.*

**Goldman, M., Arad, A., Kafri, U., Gilad, D. & Melloul, A. 1988.** Detection of freshwater/seawater interface by the time domain electromagnetic (TDEM) method in Israel. *Proc. 10th SWIM, Ghent*, 329-344.

**Kafri, U., Goldman, M. & Lang, B., 1997.** Detection of subsurface brines, freshwater bodies and the interface configuration in between by the Time Domain Electromagnetic (TDEM) method in the Dead Sea rift, *Israel. J. Env. Geol.* 31, 42-49.

**Kafri, U. & Goldman, M. 2006.** Are the lower subaquifers of the Mediterranean coastal aquifer of Israel blocked to seawater intrusion? Results of a TDEM (time domain electromagnetic) study. *Isr. J. Earth Sci.* 55, 55-68.

**Kafri, U., Goldman, M., Lyakhovsky, V., Scholl, C., Helwig, S. & Tezkan B. 2007.** The configuration of the fresh-saline groundwater interface within the regional Judea Group carbonate aquifer in northern Israel between the Mediterranean and the Dea levels as delineated by deep geoelectromagnetic soundings. *Journal of Hydrology*, 344 (1 - 2), 123-134. d Sea base

**Melloul, A. & Bibas, M. 1991.** Water quantities according to quality standards in the coastalplain aquifer of Israel, localization of areas reaching critical water quality in 1987-1992 andtheir consequences on the aquifer water resources management. Isr. Hydrol. Serv. Rep. Hydro/4/1991.

**Petalas C.P. & Diamantis I.B. 1999.** Origin and distribution of saline groundwaters in the upper Miocene aquifer system, coastal Rhodope area, northeastern Greece. *Hydrogeology Journal*, 7 (3), 305-316.

**Petalas C. & Lambrakis N.2006.** Simulation of intense salinization phenomena in coastal aquifers-the case of the coastal aquifers of Thrace. *Journal of Hydrology*, 324 (1 - 4), 51-64.

**Petalas, C., Pinaras, V., Gemitzi, A., Tsihrintzis, V.A. & Ouzounis, K.2009.** Current conditions of saltwater intrusion in the coastal Rhodope aquifer system, northeastern Greece. *Desalination* 237 (1 - 3), 22-41.