Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

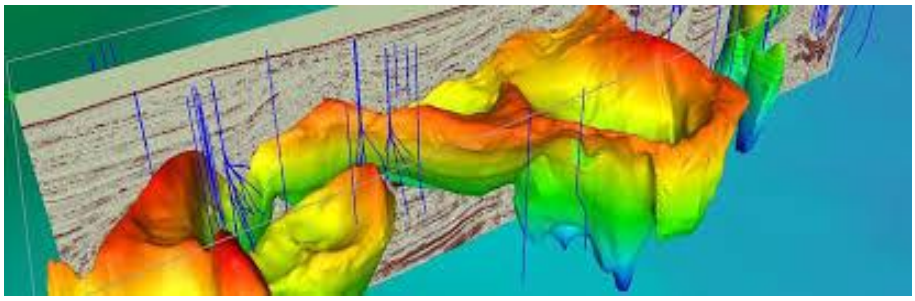
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ ΚΑΣΤΡΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΤΡΑΝΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ,

ΑΕΜ: 557



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
Αναπληρωτής καθηγητής Βαργεμέζης Γεώργιος

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
Καθηγητής Τσόκας Γρηγόριος
Καθηγητής Τσούρλος Παναγιώτης
Αναπληρωτής καθηγητής Βαργεμέζης Γεώργιος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο σημείο παράδοσης της μεταπτυχιακής μου διατριβής, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλα τα άτομα που συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ τους καθηγητές του τμήματος, που όλα αυτά τα χρόνια μου μετέδωσαν όλες αυτές τις γνώσεις και ειδικά τους καθηγητές κ. Βαργεμέζη Γεώργιο και κ. Τσούρλο Παναγιώτη για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Περίληψη

Δύο γεωφυσικές μέθοδοι εφαρμόστηκαν στον χώρο του πολιτιστικού πάρκου Ιωαννίνων, με σκοπό την γεωτεχνική μελέτη της περιοχής. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν:

1) **Η μέθοδος της δισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας (ERT)** , η οποία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης. Συνθετικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν έτσι ώστε να επιλεχθεί η κατάλληλη διάταξη και το είδος αντιστροφής προς ερμηνεία. Βάσει αυτών εφαρμόστηκαν δύο πρωτόκολλα διατάξεων ηλεκτροδίων (πολλαπλής βαθμίδας και διπόλου-διπόλου), ενώ αντιστροφή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε και στο ενοποιημένο αρχείο δεδομένων

2) **Η πολλαπλής βαθμίδας ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων (MASW),** η οποία ανήκει στις σεισμικές μεθόδους .

Σκοπός των ηλεκτρικών μεθόδων ήταν η μελέτη των υπεδάφιων δομών της περιοχής, με την παρατήρηση της κατανομής των τιμών ηλεκτρικής αντίστασης, όπως προέκυψαν από την επεξεργασία επιφανειακών μετρήσεων.

Παράλληλα, η MASW στόχευε στην μελέτη της κατανομής των ταχυτήτων των εγκαρσίων (S) κυμάτων με το βάθος, καθώς αυτές συνδέονται άμεσα με μία πληθώρα ελαστικών παραμέτρων του εδάφους, όπως είναι το μέτρο ακαμψίας.

Η περιοχή μελέτης, χωρίστηκε σε δύο υποπεριοχές ενδιαφέροντος, Α και Β. Στην περιοχή Α εκτελέστηκαν 12 γεωηλεκτρικές τομές κατά μήκος δύο κάθετων μεταξύ τους καννάβων, καθώς και δύο μονοδιάστατες τομές MASW. Τα αποτελέσματα των ηλεκτρικών τομών στην περιοχή μελέτης Α βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της MASW και προτείνουν την ύπαρξη 3 στρωμάτων μέχρι το βάθος των 30 μέτρων, ενώ επιβεβαιώνουν και την υδραυλική επικοινωνία της περιοχής μελέτης με την λίμνη των Ιωαννίνων. Και οι δύο μέθοδοι εντοπίζουν το ασβεστολιθικό υπόβαθρο καθώς και την τεκτονική καταπόνηση της περιοχής λόγω της έντονης παρουσίας ρηγμάτων, ενώ η περιοχή μελέτης Α, σύμφωνα με την εκτίμηση της Vs_{30} κατατάσσεται στην κατηγορία εδαφών C.

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης Β, η τεκτονική καταπόνηση εμφανίζεται ως κυρίαρχο στοιχείο του ασβεστολιθικού σχηματισμού. Συνολικά εκτελέστηκαν επτά γεωηλεκτρικές τομές και μία δισδιάστατη τομή MASW. Οι πολύ υψηλές αντιστάσεις και η επιφανειακή εμφάνιση του υποβάθρου, δηλώνουν μια περιοχή στην οποία κυριαρχεί το ασβεστολιθικό υπόβαθρο, με την εκτίμηση της Vs_{30} από την τομή MASW να κατατάσσει την περιοχή στην κατηγορία εδαφών Β.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Abstract

Two geophysical methods were applied in the area of the Ioannina Cultural Park, aiming at the geotechnical study of the region. More specifically, we used:

The electrical resistivity tomography (ERT) method, which belongs to the electrical methods. Synthetic models were used to select the appropriate electrode array and inversion type, which would be used for the final interpretation. Finally, two protocols of electrode arrays (multigradient, dipole-dipole) were applied for the acquisition of the field data while for the inversion of the data a mixed data file combining both arrays has been constructed

2) **The multichannel analysis of surface waves (MASW)**, which belongs to the seismic survey methods.

The purpose of electrical methods was to study the subsoil structure of the area, by studying the distribution of electrical resistivities obtained by surface measurements. At the same time, MASW aimed to study the distribution of the transverse S-wave velocities with depth, as they are directly related to elastic parameters of the soil, such as the stiffness.

The study area was divided into two sub areas of interest, A and B. In area A, 12 geoelectrical tomographies were conducted along two perpendicular grids, as well as, two one-dimensional MASW surveys. The results of the electrical methods in study area A are in agreement with the results of MASW, revealing the existence of 3 layers up to the depth of 30 meters, while confirming the hydraulic communication of the study area with the lake of Ioannina. Both methods detect the bedrock consisting of limestone as well as the tectonic features, while study area A, according to the Vs_{30} estimate, is classified as soil category C.

With regard to study area B, tectonic structures are also present here. Totally, 7 geoelectrical tomographies and one 2-dimensional MASW were conducted. The very high resistivity values and the outcropping limestone, indicate an area dominated by the calcareous bedrock, while the Vs_{30} estimated by the MASW survey classifies the area in the soil category B.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Κατάλογος Περιεχομένων

Εισαγωγή 13
1 Οριοθέτηση και γεωλογία περιοχής μελέτης 14
2 Θεωρία ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης και μεθόδου Masw 16
2.1 Μέθοδος Masw 16
2.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία 16
2.1.2 Είδη σεισμικών κυμάτων 16
2.1.3 Πληροφορίες εφαρμογής μεθόδου 18
2.1.4 Κατάλληλη επιλογή παραμέτρων διάταξης Masw κατά το στάδιο υπαίθρου 21
2.1.5 Μέθοδοι διατάξεων Masw για δημιουργία δισδιάστατης ψευδοτομής ταχυτήτων εγκαρσίων κυμάτων 24
2.2 Μέθοδος της δισδιάστατης τομογραφίας ηλεκτρικών αντιστάσεων 26
2.2.1 Εισαγωγή 26
2.2.2 Θεωρητικά στοιχεία 27
2.2.3 Αυτοματοποιημένη αλλαγή ζεύγους ηλεκτροδίων και δημιουργία δισδιάστατης τομής αντιστάσεων 28
2.2.4 Διατάξεις ηλεκτροδίων 29
2.2.5 Αντιστροφή γεωηλεκτρικών δεδομένων 30
3 Στάδιο οργάνωσης υπαίθριων μετρήσεων 35
3.1 Διατάξεις ηλεκτροδίων κατά τις υπαίθριες μετρήσεις 41
3.2 Εξοπλισμός μετρήσεων 44
4 Αποτελέσματα και ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων 45
4.1 Περιοχή μελέτης Α 45
4.1.1 Κάνναβος 1 ERT1 45
4.1.2 Κάνναβος 1 ERT2 49
4.1.3 Κάνναβος 1 ERT3 52
4.1.4 Κάνναβος 1 ERT4 54
4.1.5 Κάνναβος 1 ERT5 56
4.1.6 Κάνναβος 1 ERT6 57
4.1.7 Κάνναβος 1 ERT7 58
4.1.8 Συνολική ερμηνεία για τον κάνναβο 1 59
4.1.9 Κάνναβος 2 ERT1 60
4.1.10 Κάνναβος 2 ERT2 62
4.1.11 Κάνναβος 2 ERT3 63

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

4.1.12 Κάνναβος 2 ERT4 ... 64
4.1.13 Κάνναβος 2 ERT5 ... 65
4.1.14 Συνολική ερμηνεία για τον κάνναβο 2 ... 66
4.2 Περιοχή μελέτης Β ... 67
4.2.1 Κάνναβος 3 ERT1 ... 67
4.2.2 Κάνναβος 3 ERT2 ... 69
4.2.3 Κάνναβος 3 ERT3 ... 70
4.2.4 Κάνναβος 3 ERT4 ... 72
4.2.5 Κάνναβος 3 ERT5 ... 74
4.2.6 Συνολική ερμηνεία για τον κάνναβο 3 ... 75
4.2.7 Line 6 – Line 7 ... 76
5 Ερμηνεία αποτελεσμάτων με χρήση συνθετικών μοντέλων ... 79
5.1 Εισαγωγή ... 79
5.2 Μεθοδολογία δημιουργίας συνθετικών μοντέλων ... 81
5.3 Περιοχή μελέτης Α ... 82
5.3.1 Συνθετικό μοντέλο 1, περιοχή μελέτης Α ... 82
5.3.2 Συνθετικό μοντέλο 2, περιοχή μελέτης Α ... 89
5.3.3 Συνθετικό μοντέλο 3, περιοχή μελέτης Α ... 98
5.3.4 Συμπεράσματα για την περιοχή μελέτης Α ... 103
5.4 Περιοχή μελέτης Β ... 105
5.4.1 Συνθετικό μοντέλο 1, περιοχή μελέτης Β ... 105
5.4.2 Συνθετικό μοντέλο 2, περιοχή μελέτης Β ... 114
5.4.3 Συμπεράσματα για την περιοχή μελέτης Β ... 119
6 Αποτελέσματα και ερμηνεία σεισμικών δεδομένων ... 120
6.1 Περιοχή μελέτης Α ... 120
6.1.1 Masw L1 ... 120
6.1.2 Masw L2 ... 128
6.2 Περιοχή μελέτης Β ... 133
6.2.1 Masw L3 ... 133
7 Τελικά συμπεράσματα και προτάσεις ... 136

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" Τμήμα Γεωλογίας

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1-1 : Οριοθέτηση της πόλης των Ιωαννίνων με κόκκινο χρώμα και της περιοχής μελέτης με μπλε 14
Εικόνα 1-2 : Γεωλογικοί σχηματισμοί και οριοθέτηση περιοχής μελέτης. Αναπαράσταση με βάση ψηφιοποιημένο χάρτη της περιοχής από το ΙΓΜΕ. 15
Εικόνα 2-1 : Διεύθυνση διάδοσης επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων, (https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/seismic-waves#.XHlgd4gzbIU). 17
Εικόνα 2-2 : Διεύθυνση διάδοσης επιφανειακών κυμάτων Rayleigh και Love, (https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/seismic-waves#.XHlgd4gzbIU). 17
Εικόνα 2-3 : Ταχύτητα φάσης Vr και ταχύτητας ομάδας Vg κατά την διάδοση των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh. 18
Εικόνα 2-4 : Αναπαράσταση δημιουργίας σεισμικών δεδομένων MASW, (Anderson et al., 2007). 19
Εικόνα 2-5 : Μεταβολή του βάθους διείσδυσης των επιφανειακών κυμάτων με την μεταβολή της συχνότητας. 19
Εικόνα 2-6 : a,b) Σεισμικά κύματα που παράγονται από μία πηγή και c) τα χαρακτηριστικά καταγραφής αυτών (Park, n.d.). 20
Εικόνα 2-7: Μετατροπή δεδομένων από τον χώρο απόσταση-χρόνος σε ταχύτητα φάσης-συχνότητα. 21
Εικόνα 2-8: Βέλτιστες αποστάσεις γεωφώνων-πηγής για αντιμετώπιση των near field και far field effects, (http://www.masw.com/OptimumOffset.html). 22
Εικόνα 2-9: Εντοπισμός επιδράσεων κοντινού πεδίου (αριστερά) και μακρινού πεδίου (δεξιά). 23
Εικόνα 2-10: 2D MASW με την μέθοδο διάταξης fixed receiver spread. 24
Εικόνα 2-11 : Μέθοδος 2D MASW continuous receiver spread διάταξη. 25
Εικόνα 2-12 : 2D MASW με εφαρμογή της διάταξης roll along και της fixed receiver στο τέλος της τομής. 26
Εικόνα 2-13 : Γραμμές ροής ρεύματος σε ομογενές μέσο. 27
Εικόνα 2-14 : Ηλεκτρόδια ρεύματος A,B και τάσης M,N σε μια γεωφυσική διασκόπηση. 28
Εικόνα 2-15 : Διάταξη ηλεκτροδίων για μια 2D τομή ηλεκτρικών αντιστάσεων και δημιουργία της ψευδοτομής από τα δεδομένα της φαινόμενης αντίστασης. 29
Εικόνα 2-16: Παραδείγματα 2D διατάξεων ηλεκτροδίων (Samouëlian et al., 2005). 30
Εικόνα 2-17: Πλεονεκτήματα εφαρμογής συγκεκριμένων 2D διατάξεων ηλεκτροδίων (Samouëlian et al., 2005). 30
Εικόνα 2-18 : Σειρά βημάτων κατά την επαναληπτική διαδικασία αντιστροφής γεωφυσικών δεδομένων (από Sharma, 1997). 31
Εικόνα 2-19 : Ενδεικτικές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για διαφορετικούς σχηματισμούς (https://www.engineeringtoolbox.com/soil-resistivity-d_1865.html). 32
Εικόνα 2-20: α) Απομάκρυνση ακραίων γεωηλεκτρικών τιμών, β) εξαγωγή αρχείου σε μορφή Res2dinv. 33
Εικόνα 2-21: Ρύθμιση παραμέτρων αρχικού μοντέλου πριν την επαναληπτική διαδικασία της αντιστροφής. 33

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Εικόνα 2-22: Επιλογή μεθόδου αντιστροφής και ρύθμιση παραμέτρων αντιστροφής στο λογισμικό DC2Dpro.....34
Εικόνα 3-1: Περιοχή μελέτης Α και Β (εικόνα από google earth). 35
Εικόνα 3-2: Ηλεκτρικές τομές του καννάβου 1 και καννάβου 2 Β (εικόνα από google earth). 36
Εικόνα 3-3: Τομές MASW L1, L2 στην περιοχή μελέτης Α Β (εικόνα από google earth).....36
Εικόνα 3-4: Στιγμιότυπα από την εκτέλεση ηλεκτρικών και σεισμικών μετρήσεων στην περιοχή μελέτης Α.
.....37
Εικόνα 3-5: Κάνναβος 3 στην περιοχή μελέτης Β Β (εικόνα από google earth).....38
Εικόνα 3-6: Γεωμετρία ανάπτυξης τομής MASW στην περιοχή μελέτης Β, με την μέθοδο fixed receiver spread. 39
Εικόνα 3-7: Τομές 6,7 και τομή MASW στην περιοχή μελέτης Β (εικόνα από google earth). 39
Εικόνα 3-8: Στιγμιότυπα ηλεκτρικών και σεισμικών μετρήσεων από την περιοχή μελέτης Β. 40
Εικόνα 3-9: Γεωμετρία ανάπτυξης της διάταξης διπόλου-διπόλου.....41
Εικόνα 3-10: Περιοχές ευαισθησίας της διάταξης διπόλου-διπόλου για a) n=1, b) n=2, c) n=4 , d) n=6. 42
Εικόνα 3-11: Γεωμετρία διάταξης multigradient, όπου s=2, n=2, m=-2. 43
Εικόνα 3-12: Περιοχές ευαισθησίας πολυκάναλης διάταξηςΑ) s=9, n=1 Β) s=9, n=3 Γ) s=9, n=5. 43
Εικόνα 3-13: Όργανο γεωφυσικών μετρήσεων Syscal Pro. 44
Εικόνα 4-1: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 1 καννάβου 1. 45
Εικόνα 4-2: Ρυθμός μεταβολής RMS για τις διατάξεις dipole-dipole, dipole-dipole-multigradient, multigradient 48
Εικόνα 4-3: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 2 καννάβου 1. 49
Εικόνα 4-4: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 3 καννάβου 1 52
Εικόνα 4-5: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 4 καννάβου 1 54
Εικόνα 4-6: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 5 καννάβου 1 56
Εικόνα 4-7: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 6 καννάβου 1 57
Εικόνα 4-8: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 7 καννάβου 1 58
Εικόνα 4-9: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 1 καννάβου 2 60
Εικόνα 4-10: Ρυθμός μεταβολής του RMS για τις διατάξεις multigradient, dipole-dipole, dipole-dipole-multigradient της τομής 1 του καννάβου 2 για 7 επαναλήψεις αντιστροφής. ..61
Εικόνα 4-11: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 2 καννάβου 2.....62

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Εικόνα 4-12: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 3 κανάβου 2. 63
Εικόνα 4-13: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 4 καννάβου 2. 64
Εικόνα 4-14: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 2 καννάβου 2. 65
Εικόνα 4-15: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 1 καννάβου 3. 67
Εικόνα 4-16: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 2 καννάβου 3. 69
Εικόνα 4-17: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 3 καννάβου 3. 70
Εικόνα 4-18: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 4 καννάβου 3. 72
Εικόνα 4-19: Ρυθμός μεταβολής RMS των τριών διατάξεων για την τομή 4 καννάβου 3. 73
Εικόνα 4-20: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 5 καννάβου 3. 74
Εικόνα 4-21: Αριστερή στήλη- τομές (Α-Γ) γραμμής 6, δεξιά στήλη- τομές (Δ-ΣΤ) γραμμής 7 78
Εικόνα 5-1: Συνθετικό μοντέλο 1, περιοχή μελέτης Α. 82
Εικόνα 5-2: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα. Η εξομάλυνση της αντιστροφής, γινόταν σε κάθε επανάληψη αυξητικά. 83
Εικόνα 5-3: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα. Η εξομάλυνση της αντιστροφής έγινε στην τελική επανάληψη της αντιστροφής. 84
Εικόνα 5-4: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα με πρωτόκολλο περισσότερων μετρήσεων (1771 μετρήσεις). Η εξομάλυνση της αντιστροφής, γινόταν σε κάθε επανάληψη αυξητικά. 85
Εικόνα 5-5: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα. Η εξομάλυνση της αντιστροφής, γινόταν σε κάθε επανάληψη αυξητικά. 86
Εικόνα 5-6: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα. Η εξομάλυνση της αντιστροφής έγινε για το κάθε μοντέλο στην τελική επανάληψη της αντιστροφής. 87
Εικόνα 5-7: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole-multigradient για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα. Η εξομάλυνση της αντιστροφής, γινόταν σε κάθε επανάληψη αυξητικά. 88
Εικόνα 5-8: Συνθετικό μοντέλο 2, περιοχή μελέτης Α. 89
Εικόνα 5-9: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη). 91
Εικόνα 5-10: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη), χρησιμοποιώντας το νέο πρωτόκολλο το οποίο περιείχε 1771 μετρήσεις. 94

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Εικόνα 5-11: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη). 95
Εικόνα 5-12: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole-multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη). 97
Εικόνα 5-13: Συνθετικό μοντέλο 3, περιοχή μελέτης Α. 98
Εικόνα 5-14: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη). 100
Εικόνα 5-15: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη). 102
Εικόνα 5-16: Διάταξη διπόλου-διπόλου L1L2 για το συνθετικό μοντέλο 3. 104
Εικόνα 5-17: Συνθετικό μοντέλο 3. 104
Εικόνα 5-18: Διάταξη διπόλου-διπόλου L2L1, για το συνθετικό μοντέλο 3. 104
Εικόνα 5-19: Συνθετικό μοντέλο 1, περιοχή μελέτης Β. 105
Εικόνα 5-20: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη). 106
Εικόνα 5-21: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη), χρησιμοποιώντας το νέο πρωτόκολλο το οποίο περιείχε 1771 μετρήσεις. ...107
Εικόνα 5-22: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη). 112
Εικόνα 5-23: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole-multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη). 113
5-24: Συνθετικό μοντέλο 2, περιοχή μελέτης Β. 114
Εικόνα 5-25: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη). 115
Εικόνα 5-26: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη). 118
Εικόνα 6-1: Καμπύλη διασποράς MASW L1, σεισμική πηγή - 3.85 μ. 120
Εικόνα 6-2: Μονοδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων εγκαρσίων κυμάτων τομής MASW L1, σεισμική πηγή - 3.85 μ. 120
Εικόνα 6-3: Καμπύλη διασποράς MASW L1, σεισμική πηγή 48 μ. 121
Εικόνα 6-4: Μονοδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων εγκαρσίων κυμάτων τομής MASW L1, σεισμική πηγή 48 μ. 121
Εικόνα 6-5: Ταχύτητες εγκαρσίων κυμάτων κατά την διάδοσή τους σε διαφορετικούς σχηματισμούς. 122
Εικόνα 6-6: Καμπύλες χρόνων διαδρομής επιμήκων κυμάτων τομής MASW L1. 123

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Εικόνα 6-7: Δισδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων επιμήκων κυμάτων τομής MASW L1. 123
Εικόνα 6-8: Ταχύτητες επιμήκων κυμάτων κατά την διάδοσή τους σε διαφορετικούς σχηματισμούς. 124
Εικόνα 6-9: Καμπύλη διασποράς MASW L2, σεισμική πηγή - 2 μ. 128
Εικόνα 6-10: Μονοδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων εγκαρσίων κυμάτων τομής MASW L2, πηγή - 2 μ. 128
Εικόνα 6-11: Καμπύλη διασποράς MASW L2, πηγή 48 μ. 129
Εικόνα 6-12: Μονοδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων τομής MASW L2, πηγή 48 μ. 129
Εικόνα 6-13: Καμπύλες χρόνων διαδρομής επιμήκων κυμάτων τομής MASW L2. 130
Εικόνα 6-14: Δισδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων επιμήκων κυμάτων τομής MASW L2. 131
Εικόνα 6-15: Καμπύλες δισποράς για την δισδιάστατη ψευδοτομή ταχύτητας των εγκαρσίων κυμάτων στην περιοχή μελέτης Β. 133
Εικόνα 6-16: Κατανομή ταχυτήτων S κυμάτων σε βάθος, κατά μήκος της δισδιάστατης τομής MASW. 134
Εικόνα 6-17: Δισδιάστατη ψευδοτομή ταχυτήτων των εγκαρσίων κυμάτων. 134
Εικόνα 6-18: Καμπύλες χρόνων διαδρομής επιμήκων κυμάτων για 6 διαφορετικές σεισμικές πηγές. 135
Εικόνα 6-19: Μοντέλο ταχυτήτων επιμήκων κυμάτων P για την περιοχή μελέτης Β. 136
Εικόνα 7-1: Δισδιάστατες ψευδοτομές ταχύτητας επιμήκων κυμάτων στην περιοχή μελέτης Α. 137
Εικόνα 7-2: Γεωηλεκτρικές τομές 2 και 7 του καννάβου 1 στην περιοχή μελέτης Α. 138

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3-1: Γενικά στοιχεία ηλεκτρικών τομών και τομών MASW για την περιοχή μελέτης Α. 37
Πίνακας 3-2: Γενικές πληροφορίες για την τομή MASW και τις ηλεκτρικές τομές της περιοχής μελέτης Β. 40
Πίνακας 3-3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου γεωηλεκτρικών μετρήσεων Syscal Pro. 44
Πίνακας 6-1: Αποτελέσματα αντιστροφής τομής MASW L1, για τις πηγές 1 και 2. 126
Πίνακας 6-2: Μέσος όρος ελαστικών παραμέτρων και Vs30 πηγών 1, 2 τομής MASW L1. 126
Πίνακας 6-3: Πίνακας κατηγοριοποίησης εδαφών σύμφωνα με τον κώδικα NEHRP, από (Mohamed et al., 2013). 127
Πίνακας 6-4: Ενδεικτικές τιμές του λόγου Poisson, από https://structx.com/Soil_Properties_004.html. 127
Πίνακας 6-5: Αποτελέσματα αντιστροφής τομής MASW L2, για τις πηγές 1 και 2. 132
Πίνακας 6-6: Μέσος όρος ελαστικών παραμέτρων και V_{s30} πηγών 1, 2 τομής MASW L2. 132
Πίνακας 6-7: Ταχύτητες εγκαρσίων κυμάτων για τις 12 μονοδιάστατες τομές MASW οι οποίες συνθέτουν την τελική δισδιάστατη ψευδοτομή της Εικόνα 6-19. 136

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" Τμήμα Γεωλογίας

Εισαγωγή

Γεωφυσική ονομάζεται ο κλάδος των γεωεπιστημών που μελετά τις ιδιότητες του υπεδάφους, αναλύοντας και ερμηνεύοντας δεδομένα μετρήσεων που εκτελούνται στην επιφάνεια της γης. Ορισμένες γεωφυσικές έρευνες στοχεύουν στον εντοπισμό σχηματισμών που βρίσκονται σε βάθος μόλις ορισμένων μέτρων κάτω από την επιφάνεια της γης, ενώ άλλες σε μεγαλύτερα βάθη.

Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, παρατηρείται όλο και πιο συχνή χρήση των γεωφυσικών μεθόδων σε γεωτεχνικές έρευνες (Soupios et al., 2005). Αυτές μάλιστα, τείνουν πλέον να εδραιωθούν ως οι πλέον απαραίτητες σε έργα που αφορούν τους τομείς των πολιτικών μηχανικών αλλά και των μηχανικών περιβάλλοντος.

Η αδυναμία πρόβλεψης της συμπεριφοράς του εδάφους κάτω από συνθήκες επιφανειακής πίεσης είναι αδύνατο να προβλεφθεί, παρόλα αυτά μια καλή εικόνα της υπεδάφιας γεωλογικής δομής και γνώση των ελαστικών παραμέτρων του εδάφους, δίνει την δυνατότητα να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας. Παράλληλα, οι γεωφυσικές μέθοδοι φαίνεται να βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα γεωτεχνικών ερευνών, καθώς έχουν χρησιμοποιηθεί στην μελέτη εδάφους θεμελίωσης κτιρίων αλλά και κατασκευής φραγμάτων (Soupios et al., 2007), (Klimis et al., n.d.), (Luna and Jadi, n.d.).

Η ευρεία χρήση τους, οφείλεται στο γεγονός ότι είναι η πιο οικονομική μέθοδος απόκτησης υπαίθριων δεδομένων, ειδικά σε περιοχές μελέτης μεγάλης έκτασης. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα εφαρμογής τους σε περιοχές που υπάρχουν διαθέσιμες γεωλογικές πληροφορίες από άλλες μελέτες πχ. δεδομένα γεωτρήσεων. Ορισμένα ακόμα πλεονεκτήματα που προσφέρουν, είναι η εφαρμογή ακόμα και σε δύσβατα περιβάλλοντα, η απόκτηση δεδομένων σε μικρό σχετικά χρόνο, αλλά κυρίως το γεγονός ότι όλες αποτελούν μη καταστρεπτικές εφαρμογές προς το περιβάλλον (Series, 2006).

Ωστόσο, υπάρχουν πολλές διαθέσιμες γεωφυσικές μέθοδοι οι οποίες εφαρμόζονται σε διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα και με διαφορετικό σκοπό. Η σωστή επιλογή των μεθόδων που θα εφαρμοστούν κρίνεται ως το πιο σημαντικό βήμα της μελέτης, καθώς από αυτές εξαρτάται η αποδοτικότητα και εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας λοιπόν, αποτελεί η γεωτεχνική έρευνα στον χώρο του πολιτιστικού πάρκου Ιωαννίνων. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω στοιχεία, στην περιοχή μελέτης εφαρμόστηκαν δύο γεωφυσικές μέθοδοι: οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης και πιο συγκεκριμένα η μέθοδος της δισδιάστατης τομογραφίας, καθώς και η σεισμική μέθοδος της πολλαπλής βαθμίδας ανάλυσης των επιφανειακών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

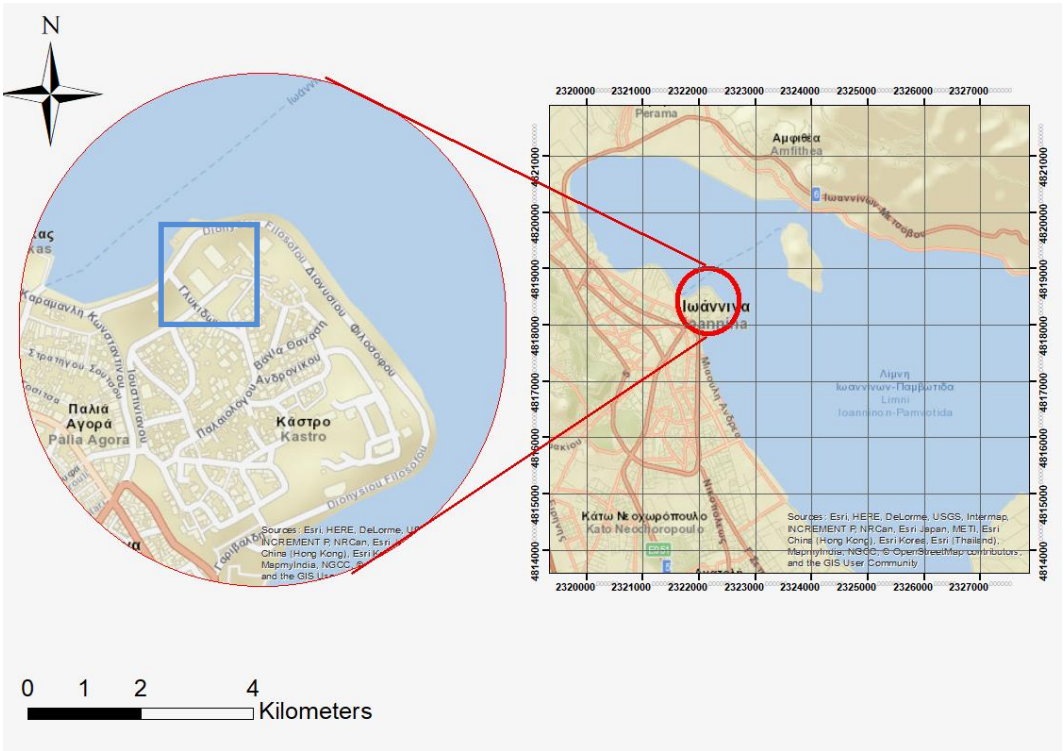
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

κυμάτων (MASW). Έρευνες έχουν δείξει, ότι ο συνδυασμός των συγκεκριμένων μεθόδων ενδείκνυται σε περιπτώσεις γεωτεχνικών μελετών καθώς προκύπτουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα (Kovačević et al., 2013), (Suto et al., 2016). Οι ηλεκτρικές μέθοδοι εφαρμόστηκαν για την μελέτη της υπεδάφιας δομής, ενώ η MASW για την μελέτη των ελαστικών παραμέτρων.

Για την περιοχή μελέτης επίσης δημιουργήθηκαν συνθετικά μοντέλα, έτσι ώστε να ελεγχθεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων αντιστροφής. Έτσι, στόχος ήταν να γίνει η τελική ερμηνεία των πραγματικών δεδομένων, η οποία θα είναι βελτιωμένη και απαλλαγμένη από πιθανά προβλήματα που επηρεάζουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

1 Οριοθέτηση και γεωλογία περιοχής μελέτης

Τα Ιωάννινα, είναι η πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη του Νομού Ιωαννίνων και της Ηπείρου. Βρίσκονται στο βορειοδυτικό κομμάτι της ηπειρωτικής Ελλάδας, στο κέντρο του ομώνυμου λεκανοπεδίου και είναι μία από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδος (Εικόνα 1-1) .



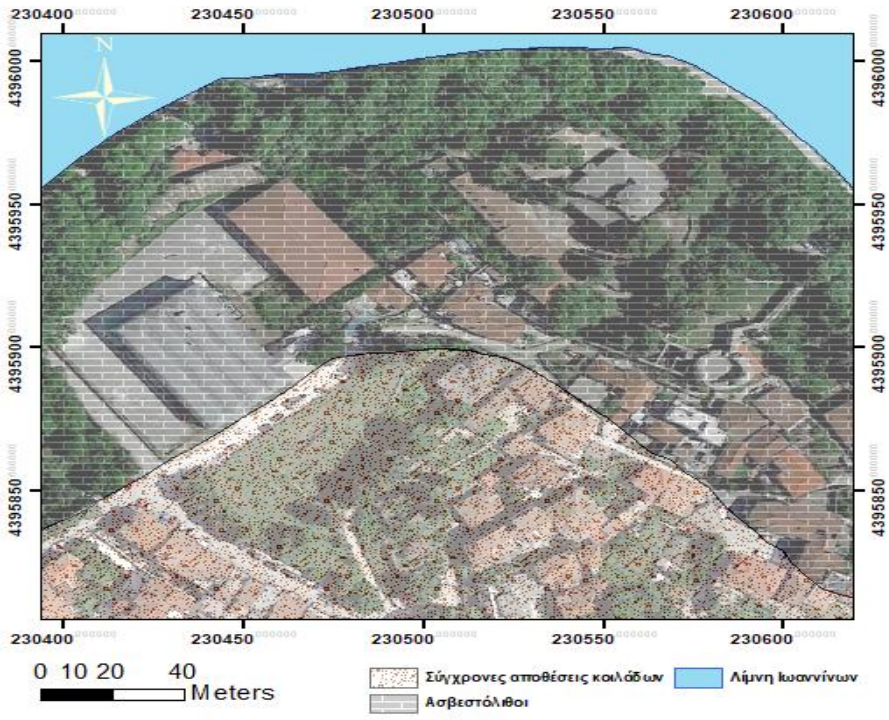
Εικόνα 1-1 : Οριοθέτηση της πόλης των Ιωαννίνων με κόκκινο χρώμα και της περιοχής μελέτης με μπλε .

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Τα Ιωάννινα γεωλογικά ανήκουν στην Ιόνιο ζώνη και στο παρελθόν η περιοχή υπήρξε πολύ διαφορετική. Τα πετρώματα που συναντώνται σήμερα αποτέθηκαν πριν από εκατομμύρια χρόνια όταν ακόμα η συγκεκριμένη περιοχή ήταν τμήμα μιας ωκεάνιας λεκάνης. Πριν από περίπου 35-15 εκατομμύρια χρόνια ωστόσο, αυτή λόγω της συμπίεσης άρχισε σταδιακά να κλείνει με αποτέλεσμα τα ιζήματα που αποτίθονταν άλλοτε σε συνθήκες ρηχής και άλλοτε πιο βαθειάς θάλασσας να αρχίσουν να αναδύονται. Έτσι σχηματίστηκε το σκληρό και συμπαγές σήμερα ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Αργότερα, πριν από 5 εκατομμύρια χρόνια ακολούθησε η δημιουργία του σημερινού λεκανοπεδίου Ιωαννίνων. Σε αυτό, οι ασβεστόλιθοι οι οποίοι είχαν αναδυθεί πρόσφατα άρχισαν να καρστικοποιούνται με αποτέλεσμα η περιοχή να βαθαίνει σταδιακά. Παράλληλα, το νερό της βροχής άρχισε να οδηγεί όλα τα υλικά της διάβρωσης των γύρω σχηματισμών μέσω των ρεμάτων στον πυθμένα του καρστικοποιημένου ασβεστολίθου, θωρακίζοντας τον. Έτσι, πριν από περίπου 2 εκατομμύρια χρόνια στην περιοχή σχηματίζεται μια μεγάλη λίμνη, η οποία σήμερα ονομάζεται λίμνη Παμβώτιδα.

Η περιοχή μελέτης, αποτελεί ένα πολύ μικρό τμήμα της πόλης των Ιωαννίνων και σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη (Εικόνα 1-2) σε αυτήν συναντώνται σύγχρονες κοιλάδιες αποθέσεις και το ασβεστολιθικό υπόβαθρο βαθύτερα.



Εικόνα 1-2 : Γεωλογικοί σχηματισμοί και οριοθέτηση περιοχής μελέτης. Αναπαράσταση με βάση ψηφιοποιημένο χάρτη της περιοχής από το ΙΓΜΕ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

2 Θεωρία ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης και μεθόδου Masw

2.1 Μέθοδος Masw

2.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Η σεισμική μέθοδος πολλαπλής βαθμίδας ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (MASW), είναι μία από τις σημαντικότερες μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης που χρησιμοποιούνται πλέον σχεδόν σε κάθε γεωφυσική-γεωτεχνική έρευνα, παρέχοντας αρκετά αξιόπιστα και χρήσιμα αποτελέσματα. Χρησιμοποιούν τις καμπύλες διασποράς των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh προκειμένου να υπολογίσουν την κατανομή ταχυτήτων των εγκαρσίων κυμάτων S σε βάθος ορισμένων δεκάδων μέτρων, συνήθως όχι μεγαλύτερο από 30 μ (Park, n.d.).

Η σημαντικότητα της συγκεκριμένης μεθόδου, έγκειται στο γεγονός πως οι ταχύτητες των εγκαρσίων κυμάτων που προκύπτουν, συνδέονται άμεσα με το μέτρο ακαμψίας του εδάφους. Η συγκεκριμένη παράμετρος, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για το μετέπειτα έργο των μηχανικών.

Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με τους (Park et al., 1999), η μέθοδος MASW χρησιμοποιεί την κύρια καμπύλη διασποράς των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh, και με κατάλληλες τεχνικές αντιστροφής αυτής προκύπτει η τελική μονοδιάστατη, δισδιάστατη ή τρισδιάστατη τομή των εγκαρσίων κυμάτων.

2.1.2 Είδη σεισμικών κυμάτων

Τα σεισμικά κύματα χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες: στα κύματα χώρου και στα επιφανειακά.

1. Στα κύματα χώρου ανήκουν τα:
    - **Επιμήκη κύματα P** (primary waves) και τα
    - **Εγκάρσια κύματα S** (secondary waves).

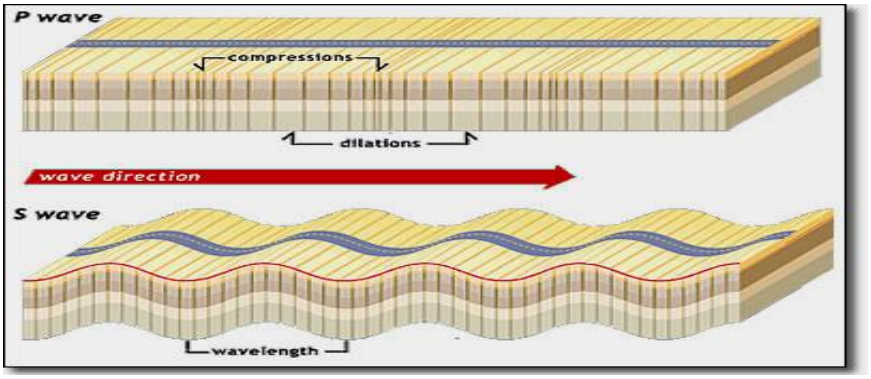
Τα επιμήκη κύματα, ονομάζονται και primary waves, καθώς ταξιδεύουν πιο γρήγορα από τα εγκάρσια, με αποτέλεσμα να καταγράφονται πρώτα από τα γεώφωνα.

Όσον αφορά την διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων, αυτή είναι παράλληλη με την διεύθυνση διάδοσης του κύματος στα επιμήκη κύματα (Εικόνα 2-1) και κάθετη προς

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

την διεύθυνση διάδοσης στα εγκάρσια κύματα, τα οποία σημειώνεται ότι δεν διαδίδονται σε υγρά μέσα. Έτσι, στην πρώτη περίπτωση παρατηρείται αλλαγή στο μέγεθος του μέσου ενώ κατά την διάδοση των εγκαρσίων κυμάτων παρατηρείται αλλαγή στο σχήμα του μέσου (Aki & Richards, 2002; Evrett, 2013).

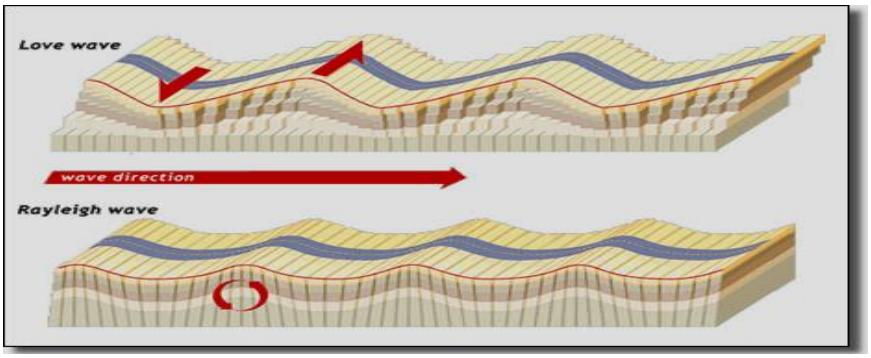


Εικόνα 2-1 : Διεύθυνση διάδοσης επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων, (https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/seismic-waves#.XHlgd4gzbIU).

2. Στα επιφανειακά κύματα ανήκουν τα:
   - **Rayleigh** κύματα και τα
   - **Love**.

Τα επιφανειακά κύματα προκαλούν μια κάθετη αλλά και οριζόντια περιοδική κίνηση σε τρεις διαστάσεις, που συνήθως προκαλεί και τις μεγαλύτερες καταστροφές, σε συνδυασμό με το μεγαλύτερο πλάτος τους και επομένως τη μεγαλύτερη ενέργεια που μεταφέρουν.

Τα κύματα Rayleigh, προκύπτουν από την συμβολή των επιμήκων P με τα εγκάρσια κύματα S. Παρατηρούνται ελλειπτικές κινήσεις οι οποίες μετακινούν το έδαφος με τον ίδιο τρόπο όπως ένα θαλάσσιο κύμα μετακινεί τα επιφανειακά νερά (Evrett, 2013; Xia, Miller & Park, 1999). Αντίθετα, η διεύθυνση ταλάντωσης των κυμάτων Love, γίνεται οριζόντια και εγκάρσια (Εικόνα 2-2) προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Evrett, 2013).



Εικόνα 2-2 : Διεύθυνση διάδοσης επιφανειακών κυμάτων Rayleigh και Love, (https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/seismic-waves#.XHlgd4gzbIU).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

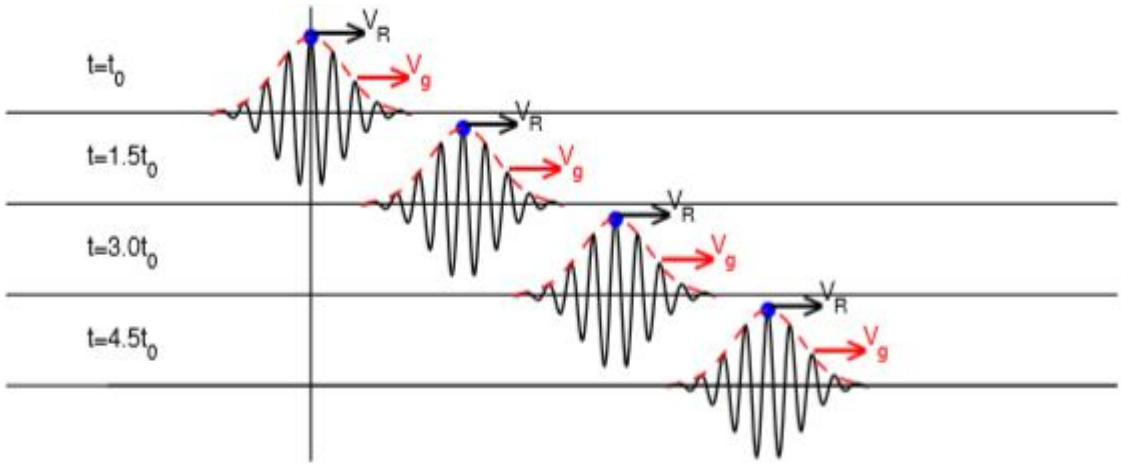
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

2.1.3 Πληροφορίες εφαρμογής μεθόδου

Από τα σεισμικά κύματα που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα επιφανειακά κύματα Rayleigh είναι τα πιο σημαντικά στις μεθόδους επιφανειακής γεωφυσικής όπως είναι η MASW (Aki & Richards, 2002). Αυτό οφείλεται στο γεγονός, πως τα συγκεκριμένα επιφανειακά κύματα αποτελούν την πηγή προέλευσης ενός ειδικού τύπου επιφανειακών κυμάτων τα οποία ονομάζονται ground roll. Παράγονται από κατακόρυφες σεισμικές πηγές, καταγράφονται από γεώφωνα οριζόντιας συνιστώσας, ενώ το μεγάλο πλάτος και η μικρή συχνότητά τους (5-50 Hz), έχει ως αποτέλεσμα να διαδίδονται πολύ κοντά στην επιφάνεια της γης (Park et al., 1997).

Σε ένα στρωματωμένο μοντέλο, τα κύματα Rayleigh διασπείρονται. Διασπορά ονομάζεται η διαδικασία, κατά την οποία κύματα με διαφορετικό μήκος κύματος λ και διαφορετική συχνότητα f, διαδίδονται σε διαφορετικά βάθη και με διαφορετικές ταχύτητες. Διακρίνονται δύο ειδών ταχύτητες (Εικόνα 2-3):

- Η ταχύτητα φάσης **Vr**, η οποία αντιστοιχεί στην ταχύτητα με την οποία διαδίδεται η κάθε συχνότητα (Evrett, 2013; Park et al., 1997).
- Η ταχύτητα ομάδας **Vg**, η οποία αντιστοιχεί στην ταχύτητα με την οποία διαδίδεται μια ομάδα κύματος η οποία αποτελείται από διαφορετικές συχνότητες (Evrett, 2013).



Εικόνα 2-3 : Ταχύτητα φάσης Vr και ταχύτητας ομάδας Vg κατά την διάδοση των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh.

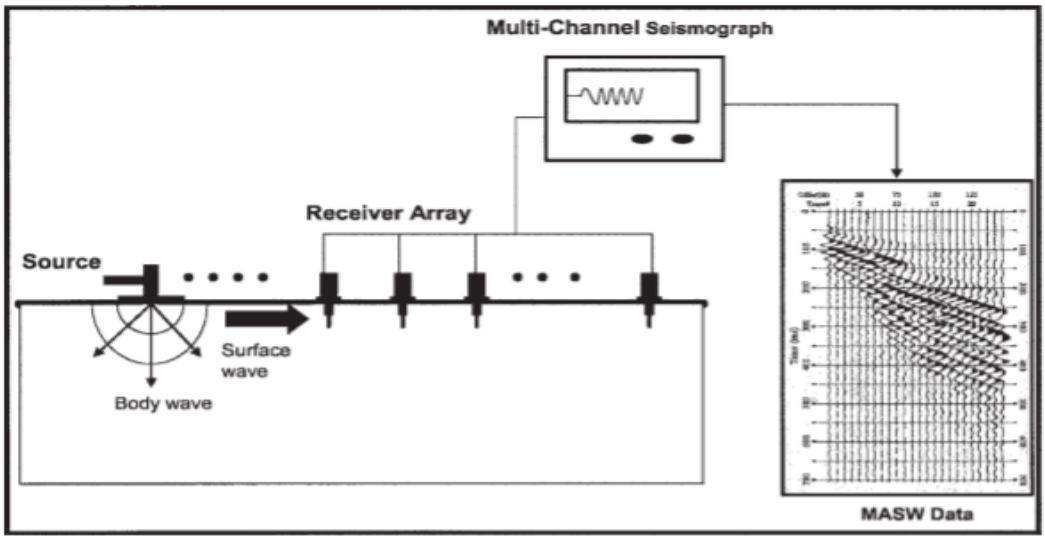
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" Α.Π.Θ

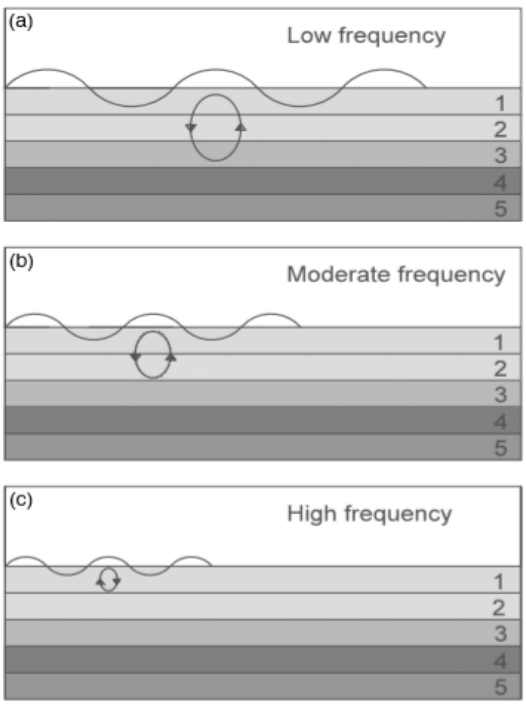
Η εφαρμογή της μεθόδου MASW, αποτελείται από τα εξής τρία βήματα (Park et al., 1999):

- Καταγραφή σεισμικών δεδομένων.
- Ανάλυση καμπυλών διασποράς από την διάδοση των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh.
- Εφαρμογή μεθόδου αντιστροφής, για την δημιουργία ενός προφίλ ταχυτήτων εγκαρσίων κυμάτων.

Για την απόκτηση των δεδομένων απαραίτητη είναι η προϋπόθεση δημιουργίας ενός σεισμικού προφίλ στο ύπαιθρο (Εικόνα 2-4).



Εικόνα 2-4 : Αναπαράσταση δημιουργίας σεισμικών δεδομένων MASW, (Anderson et al., 2007).



Εικόνα 2-5 : Μεταβολή του βάθους διείσδυσης των επιφανειακών κυμάτων με την μεταβολή της συχνότητας.

Συνήθως χρησιμοποιείται ως πηγή ειδικό σφυρί και γεώφωνα χαμηλών συχνοτήτων (4.5 Hz). Ωστόσο, η συχνότητα της σεισμικής πηγής καθορίζει και το βάθος διείσδυσης των επιφανειακών κυμάτων. Όσο μικρότερη είναι η συχνότητα της πηγής, τόσο μεγαλύτερο μήκος κύματος έχουν τα επιφανειακά κύματα ground roll που παράγονται, επομένως το βάθος διείσδυσης αυξάνεται (Εικόνα 2-5).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

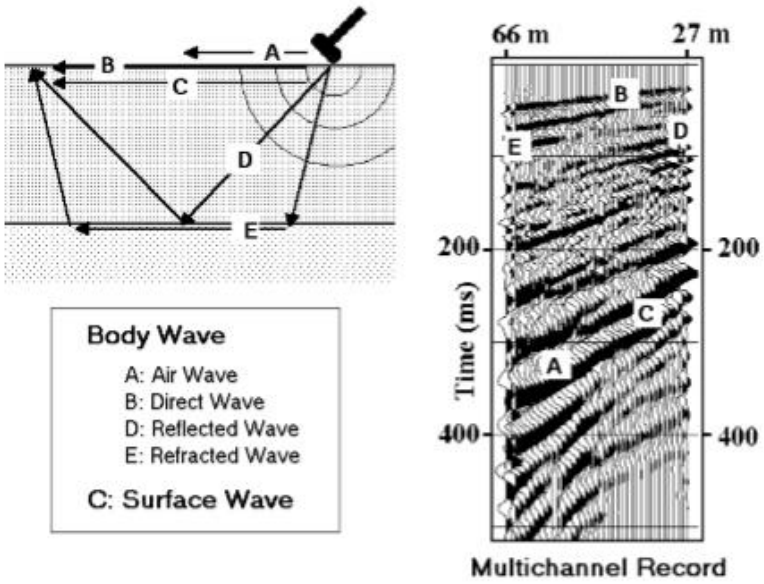
Γενικά, ισχύει η σχέση:

λ(f) =VR(f)/ f, όπου f η συχνότητα, VR(f) η ταχύτητα φάσης για την συγκεκριμένη συχνότητα και λ(f) το μήκος κύματος. Η ταχύτητα των κυμάτων αυξάνεται με το βάθος.

Κατά την διάρκεια ενός χτυπήματος από την πηγή παράγεται ένας συνδυασμός P,S και επιφανειακών κυμάτων (Εικόνα 2-6 a). Το 67 % των κυμάτων που παράγονται αντιστοιχούν στα κύματα Rayleigh, τα βασικά κύματα της μεθόδου MASW (Evrett, 2013).

Ωστόσο, το δεύτερο στάδιο που αναφέρεται στην ανάλυση των καμπυλών διασποράς, αφορά μόνο τα κύματα Rayleigh. Επομένως, το φιλτράρισμα των δεδομένων και η αποθήκευση μόνο των απαραίτητων κρίνεται σημαντική στο στάδιο αυτό.

Η δυνατότητα αυτή υπάρχει στην μέθοδο της πολλαπλής βαθμίδας, αφού τα δεδομένα των διαφορετικών σεισμικών κυμάτων μπορούν να διαχωρίζονται μεταξύ τους εξαιτίας των διαφορετικών χρόνων άφιξης που έχουν αλλά και του χαρακτηριστικού τους πλάτους (Εικόνα 2-6 c).

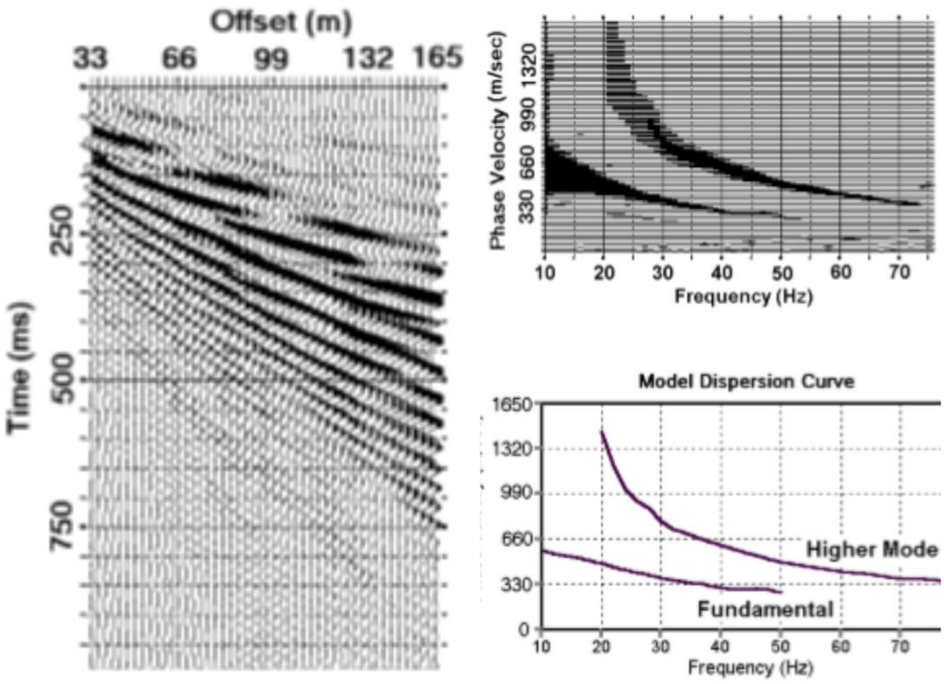


Εικόνα 2-6 : a,b) Σεισμικά κύματα που παράγονται από μία πηγή και c) τα χαρακτηριστικά καταγραφής αυτών (Park, n.d.).

Μετά το φιλτράρισμα των δεδομένων, ακολουθεί η μελέτη της καμπύλης διασποράς των κυμάτων Rayleigh. Μία από τις πιο γνωστές τεχνικές έτσι ώστε να προκύψει η καμπύλη διασποράς προτάθηκε από τους Park et al. (1998b; 1999c), όπου γίνεται η μετατροπή των σεισμικών μετρήσεων από το πεδίο απόστασης - χρόνου σε πεδίο ταχύτητας φάσης (Vf)-συχνότητας(f). Στην πραγματικότητα, επειδή η ταχύτητα φάσης υπάρχει για διαφορετικές συχνότητες, προκύπτουν περισσότερες από μία καμπύλη διασποράς. Ως “κυρίαρχη καμπύλη διασποράς Mo” θεωρείται εκείνη για την οποία παρατηρείται η μικρότερη ταχύτητα φάσης (Εικόνα 2-7).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π



Εικόνα 2-7: Μετατροπή δεδομένων από τον χώρο απόσταση-χρόνος σε ταχύτητα φάσης-συχνότητα.

Τελευταίο βήμα, αποτελεί η αντιστροφή της καμπύλης διασποράς που προκύπτει έτσι ώστε να βρεθεί το κατάλληλο μοντέλο κατανομής Vs κατά βάθος. Η αρχική καμπύλη διασποράς χρησιμοποιείται ως στοιχείο του ευθέως προβλήματος (forward modelling), σύμφωνα με το οποίο, η τελική καμπύλη διασποράς του μοντέλου Vs που θα προκύψει από την αντιστροφή, θα πρέπει να έχει τη μικρότερη δυνατή απόκλιση από την αρχική.

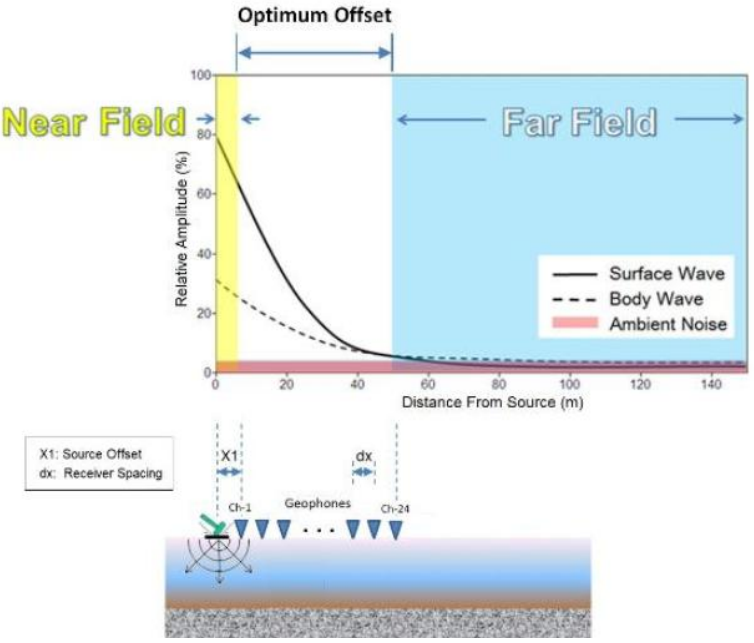
2.1.4 Κατάλληλη επιλογή παραμέτρων διάταξης Masw κατά το στάδιο υπαίθρου

Ίσως η κυριότερη παράμετρος που καθορίζει την εγκυρότητα και αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων MASW, είναι η εκτέλεση των μετρήσεων σε περιοχή όπου αυτές επηρεάζονται όσο το δυνατόν λιγότερο από τον θόρυβο της περιοχής, αλλά και η σωστή ανάπτυξη της σεισμικής διάταξης.

Είτε πρόκειται λοιπόν για μονοδιάστατη είτε για δισδιάστατη τομή, θα πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά οι κανόνες εκείνοι, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες επιδράσεις κοντινού και μακρινού πεδίου (**near field** & **far field effects)**.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2-8: Βέλτιστες αποστάσεις γεωφώνων-πηγής για αντιμετώπιση των near field και far field effects, (http://www.masw.com/OptimumOffset.html).

Επιδράσεις κοντινού πεδίου

Όπως είναι γνωστό, τα επιφανειακά κύματα παράγονται από την συμβολή των P και SV κυμάτων. Επομένως, χρειάζεται μια ελάχιστη απόσταση από την πηγή έως ότου αυτά καταγραφούν. Σε περίπτωση τοποθέτησης των γεωφώνων σε απόσταση μικρότερη από αυτήν, καταγράφονται κύματα χώρου ή θόρυβος (Εικόνα 2-8).

Η ελάχιστη αυτή απόσταση μεταβάλλεται σύμφωνα με το μήκος κύματος. Γενικά, ένα μεγαλύτερο μήκος κύματος, χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να αναπτυχθεί πλήρως. Σε μία σεισμική τομή MASW ωστόσο, παρατηρείται ένα μεγάλο εύρος μηκών κύματος, το οποίο προσδιορίζεται από την απόσταση μεταξύ των γεωφώνων (**dx**) αλλά και το συνολικό μήκος (**L**) της τομής.

Ένας γενικός κανόνας ο οποίος ισχύει και εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση των επιδράσεων κοντινού πεδίου είναι η ελάχιστη απόσταση να ορίζεται ως 0.25L <= X1 <= 0.5L, όπου L το συνολικό μήκος ανάπτυξης της τομής (http://www.masw.com/OptimumOffset.html).

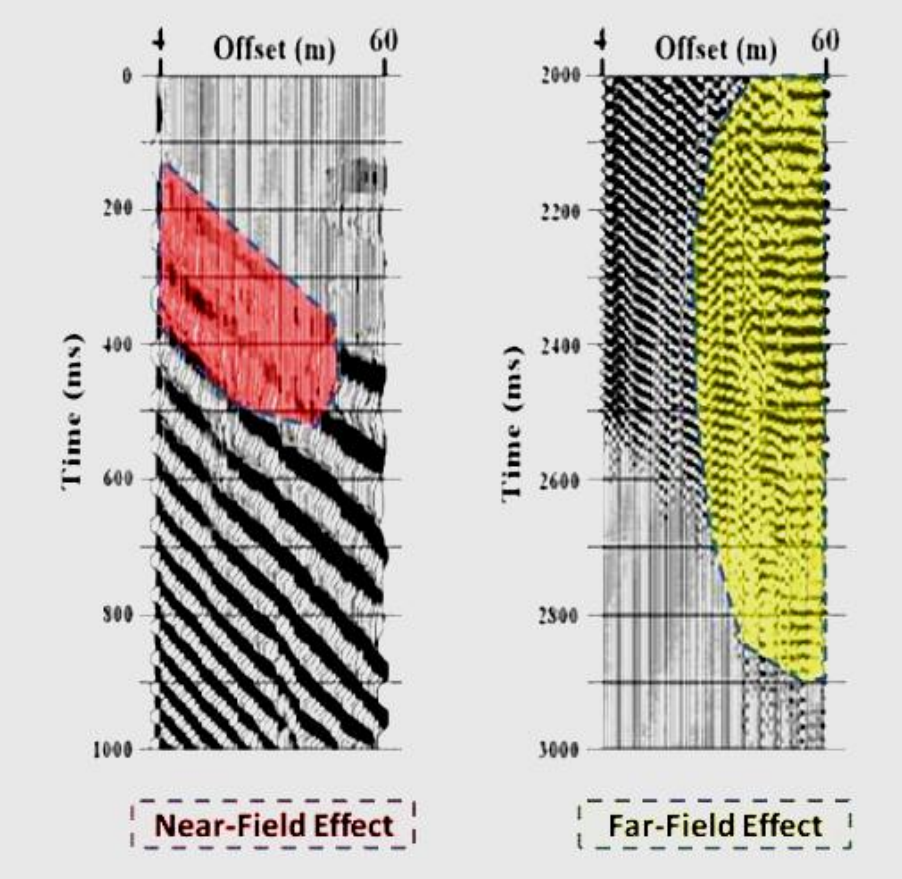
Επιδράσεις μακρινού πεδίου

Αν και τα επιφανειακά κύματα την χρονική στιγμή που παράγονται έχουν σημαντικά μεγαλύτερη ενέργεια από εκείνη των κυμάτων χώρου, εξασθενούν πολύ πιο γρήγορα. Για τον λόγο αυτό, ορίζεται η απόσταση **Xmax** ως η μέγιστη την οποία δεν πρέπει να ξεπερνά το συνολικό μήκος της διάταξης γεωφώνων από την πηγή μέχρι και το τελευταίο γεώφωνο. Σε διαφορετική περίπτωση, οι καταγραφές θα είναι θορυβώδεις. Εδώ βέβαια σημειώνεται ότι η μέγιστη αυτή απόσταση μεταβάλλεται ανάλογα με την πηγή παραγωγής των σεισμικών κυμάτων και το επίπεδο θορύβου που παρατηρείται στην περιοχή μελέτης. Γενικά, όσο ισχυρότερη είναι η πηγή παραγωγής κυμάτων τόσο περισσότερο αυξάνεται η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση. Σε μία

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

αστική περιοχή με αρκετά μεγάλο επίπεδο θορύβου και πηγή παραγωγής σεισμικών κυμάτων ένα σφυρί βάρους 7.5 κιλών η συγκεκριμένη απόσταση (Xmax) ορίζεται συνήθως στα 50 μέτρα. Αντίθετα, σε περιοχές μελέτης με μικρότερο επίπεδο θορύβου και χρησιμοποιώντας παρόμοια πηγή παραγωγής σεισμικών κυμάτων, η συγκεκριμένη απόσταση φτάνει έως και τα 100 μέτρα. Τέλος η χρήση μιας πιο ισχυρής πηγής μπορεί να προκαλέσει αύξηση της Xmax έως και 30%.
(http://www.masw.com/OptimumOffset.html)



Εικόνα 2-9: Εντοπισμός επιδράσεων κοντινού πεδίου (αριστερά) και μακρινού πεδίου (δεξιά).

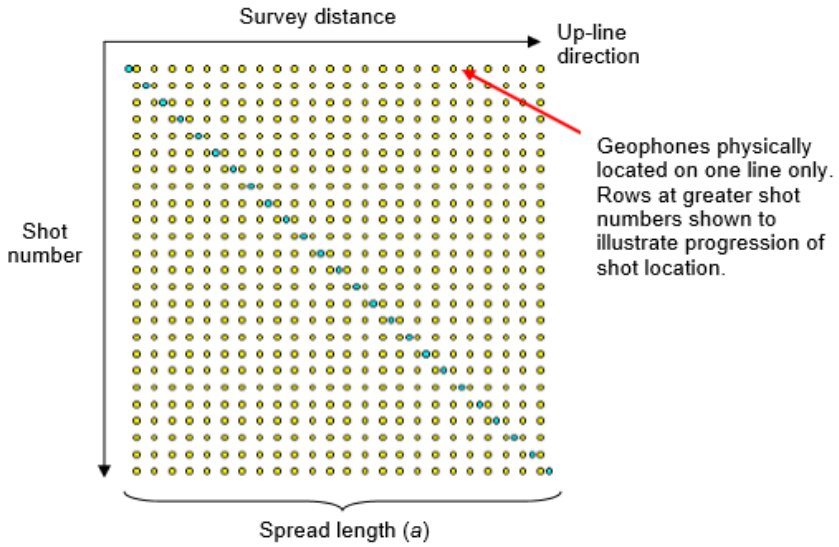
Στην Εικόνα 2-9, φαίνεται να εντοπίζονται σε δύο σεισμικές καταγραφές MASW τόσο οι επιδράσεις κοντινού αλλά και μακρινού πεδίου. Πιο συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα, στις χαμηλές συχνότητες (< 5 Hz), οι οποίες αντιστοιχούν στα μεγαλύτερα μήκη κύματος, φαίνεται πως τα επιφανειακά κύματα δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως για αποστάσεις (offset) μικρότερες από 40 μέτρα, γεγονός που οφείλεται στις επιδράσεις κοντινού πεδίου. Αντίστοιχα, στην δεξιά εικόνα και για αποστάσεις (offset) μεγαλύτερες από 30 μέτρα, εντοπίζονται κύματα χώρου και αρκετός θόρυβος στις σεισμικές καταγραφές, ως αποτέλεσμα των επιδράσεων μακρινού πεδίου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

2.1.5 Μέθοδοι διατάξεων Masw για δημιουργία δισδιάστατης ψευδοτομής ταχυτήτων εγκαρσίων κυμάτων

Η διάταξη η οποία παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-10 (**Seisimager manual**) αποτελεί την πιο απλή για την απόκτηση δεδομένων MASW τα οποία θα συνθέσουν μια τελική δισδιάστατη ψευδοτομή εγκαρσίων κυμάτων. Αυτή είναι αποτελεσματική και χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου η περιοχή μελέτης έχει μικρές διαστάσεις και απαιτείται μικρό μήκος τομής.



Εικόνα 2-10: 2D MASW με την μέθοδο διάταξης fixed receiver spread.

Η μέθοδος ονομάζεται σταθερού δέκτη (**fixed receiver)**, καθώς όπως παρατηρείται οι θέσεις των γεωφώνων (κίτρινο χρώμα) διατηρούνται σταθερές σε όλη την διάρκεια της διασκόπησης. Οι θέσεις των πηγών (μπλέ χρώμα) ωστόσο, είναι αυτές οι οποίες μεταβάλλονται συνεχώς, καθώς κάθε φορά τοποθετούνται ανάμεσα από δύο γειτονικά γεώφωνα. Όσον αφορά το πρώτο και το τελευταίο γεώφωνο τοποθετούνται οριακά έξω από την συνολική διάταξη σε απόσταση που ορίζεται ως το μισό της απόστασης μεταξύ δύο διαδοχικών γεωφώνων. Το βάθος διασκόπησης για αυτή την μέθοδο εκτιμάται σε d/4 έως d/2, όπου d το συνολικό μήκος της διάταξης των γεωφώνων.

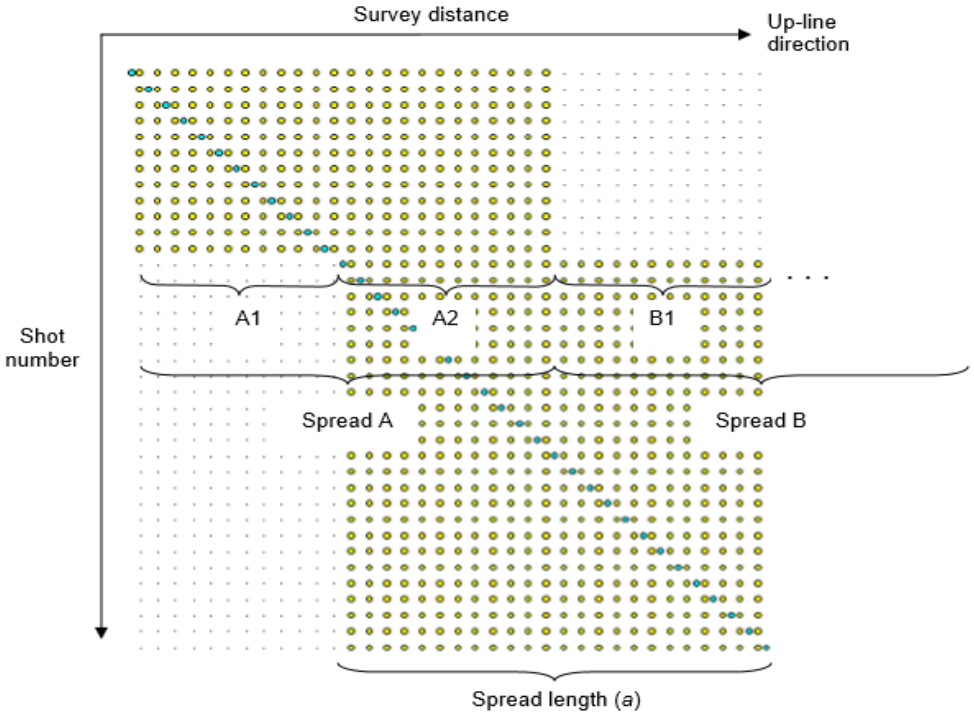
Όπως προαναφέρθηκε, η παραπάνω μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως σε περιοχές μελέτης με μικρό χώρο. Παρόλα αυτά, πολλές φορές η διάταξη είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί σε μεγαλύτερο μήκος. Σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσε να εφαρμοστεί μια μέθοδος η οποία ονομάζεται **continuous fixed receiver** διάταξη (Εικόνα 2-11). Σε αυτήν, μόλις εκτελεστεί η μέθοδος fixed receiver για τα πρώτα 12 χτυπήματα πηγών, τα 12 πρώτα γεώφωνα από τα αριστερά της διάταξης αφαιρούνται και επανατοποθετούνται στην δεξιά πλευρά αυτής, επεκτείνοντάς την προς εκείνη την διεύθυνση. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

μέχρι να καλυφθεί ο επιθυμητός χώρος της διασκόπησης. Για κάθε πηγή τα κύματα καταγράφονται και από τα 24 γεώφωνα της διάταξης.

Το βάθος διασκόπησης της συγκεκριμένου μεθόδου είναι d/2.



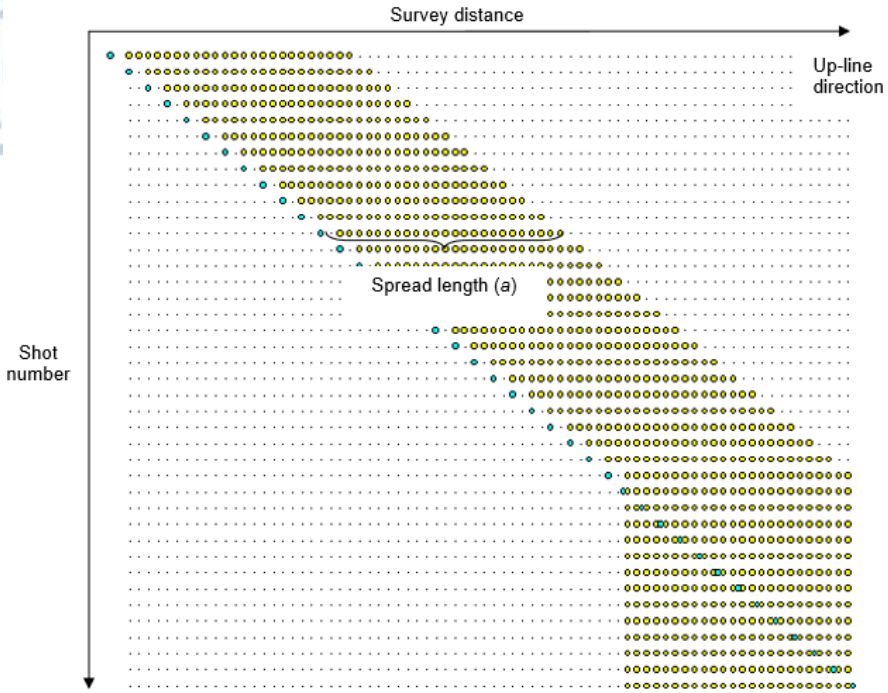
Εικόνα 2-11 : Μέθοδος 2D MASW continuous receiver spread διάταξη.

Αν και η μέθοδος continuous receiver spread είναι αποτελεσματική, γίνεται αντιληπτό ότι θα ήταν αρκετά χρονοβόρο να επανατοποθετούνται κάθε φορά τα γεώφωνα, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η τομή διασκόπησης είναι αρκετά μεγάλη. Για τον λόγο αυτό, εφαρμόζεται μια πιο αυτοματοποιημένη μέθοδος η οποία ονομάζεται **roll along** (Εικόνα 2-12).

Στην μέθοδο αυτή, απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός γεωφώνων πχ. 48 γεώφωνα για να υπάρξουν καταγραφές από τα 24. Αρχικά, η διαδικασία ξεκινά από την πρώτη πηγή που εντοπίζεται στα αριστερά της διάταξης με τα σεισμικά κύματα να καταγράφονται από τα πρώτα 24 γεώφωνα, ενώ τα άλλα 24 παραμένουν ανενεργά. Στην συνέχεια, η διαδικασία επαναλαμβάνεται, με την πηγή να έχει μετατοπιστεί πιο δεξιά όπως και η ακολουθία των γεωφώνων. Αυτή την φορά, το πρώτο γεώφωνο καθώς και τα γεώφωνα 26-48 παραμένουν ανενεργά και τα σεισμικά κύματα καταγράφονται από τα γεώφωνα 2-25. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με παρόμοιο τρόπο, έως ότου γίνει και η τελευταία καταγραφή των σεισμικών κυμάτων από την ακολουθία γεωφώνων 25-48. Το βάθος διασκόπησης της μεθόδου είναι d/2.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡ Τμήμα Α.



Εικόνα 2-12 : 2D MASW με εφαρμογή της διάταξης roll along και της fixed receiver στο τέλος της τομής.

2.2 Μέθοδος της δισδιάστατης τομογραφίας ηλεκτρικών αντιστάσεων

2.2.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος της δισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας βασίζεται στο γεγονός ότι διαφορετικές ηλεκτρικές αντιστάσεις αντιστοιχούν και σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Επομένως, μεταβολές αντιστάσεων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την χαρτογράφηση και οριοθέτηση αυτών.(Barker, 1993)

Μεταβολές της ηλεκτρικής αντίστασης ωστόσο, δεν προκαλούν μόνο οι λιθολογικές αλλαγές, αλλά επίσης και οι αλλαγές των υδρογεωλογικών συνθηκών, του πορώδους, της πίεσης και της θερμοκρασίας του υπεδάφους. Σκοπός λοιπόν της ηλεκτρικής μεθόδου διασκόπησης είναι να εντοπίσει την υπεδάφια κατανομή των αντιστάσεων με μετρήσεις της τάσης οι οποίες γίνονται στην επιφάνεια της γης.

Οι παραπάνω λόγοι, καθώς και το γεγονός ότι αποτελεί μια μη καταστρεπτική μέθοδο γεωφυσικής διασκόπησης, κατατάσσουν τις ηλεκτρικές μεθόδους ως μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες σε γεωφυσικές-γεωτεχνικές έρευνες.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

2.2.2 Θεωρητικά στοιχεία

Οι βάσεις για τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης ξεκίνησαν το 1828 όταν ο George Ohm πρότεινε την εμπειρική σχέση που συνδέει την διαφορά δυναμικού V η οποία είναι απαραίτητη να ασκηθεί σε υλικό αντίστασης R για να προκληθεί ρεύμα έντασης I.

$$\boldsymbol{V = R * I} \qquad \textbf{(1)}$$

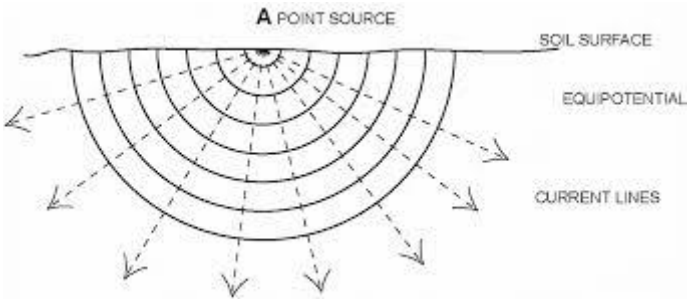
Ωστόσο, η σχέση αυτή δε λαμβάνει υπόψιν τις διαστάσεις του υλικού. Για τον λόγο αυτό προέκυψε μια νέα σχέση η οποία ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Έτσι λοιπόν, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ενός κυλινδρικού σχηματισμού, λαμβάνοντας υπόψιν τις διαστάσεις του δίνεται από την σχέση:

$$\boldsymbol{\rho = R \times \frac{S}{L}} \qquad \textbf{(2)}$$

,όπου R η ηλεκτρική αντίσταση σε Ohm, L το μήκος του κυλίνδρου και S το εμβαδόν της διατομής αυτού.

Σε ένα ομογενές και ισότροπο μέσο, οι ροές ρεύματος είναι ημισφαιρικές, όταν το ρεύμα εισάγεται από ηλεκτρόδιο ρεύματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-13 (Scollar et al., 1990; Kearey et al., 2002; Sharma, 1997; Reynolds, 1997).



Εικόνα 2-13 : Γραμμές ροής ρεύματος σε ομογενές μέσο.

Το δυναμικό τότε εκφράζεται ως

$$\boldsymbol{V = \frac{\rho I}{2\pi r}} \qquad (3)$$

,όπου ρ η ειδική ηλεκτρική αντίσταση, I η ένταση του ρεύματος και r η ακτίνα του ημισφαιρίου.

Μία ηλεκτρική γεωφυσική διασκόπηση προϋποθέτει την ύπαρξη τεσσάρων ηλεκτροδίων τουλάχιστον (Εικόνα 2-14). Τα δύο από αυτά ονομάζονται ηλεκτρόδια ρεύματος A,B τα οποία χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή ρεύματος στην γη. Τα άλλα δύο ονομάζονται ηλεκτρόδια δυναμικού M,N και είναι αυτά τα οποία χρησιμοποιούνται για να μετρηθεί επιφανειακά, η διαφορά δυναμικού που προκύπτει από την εισαγωγή ρεύματος

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

έντασης Ι. Όσο μεγαλύτερες οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων τόσο μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης επιτυγχάνεται με μικρότερη όμως ανάλυση.

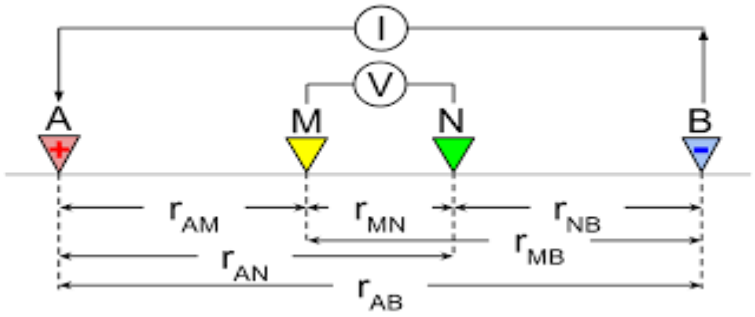
Η διαφορά δυναμικού η οποία μετρήθηκε ανάμεσα στα ηλεκτρόδια τάσης MN εκφράζεται ως εξής:

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi\left[\frac{1}{AM}-\frac{1}{BM}-\frac{1}{AN}+\frac{1}{BN}\right]} \qquad (4)$$

,όπου AM, BM, AN και BN οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων AM, BM, AN και BN αντίστοιχα.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ τότε, υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} 2\pi \left[\frac{1}{AM}-\frac{1}{BM}-\frac{1}{AN}+\frac{1}{BN}\right] \qquad (5) \qquad \text{ή} \qquad \rho = K \times \frac{\Delta V}{I} \qquad (6)$$



Εικόνα 2-14 : Ηλεκτρόδια ρεύματος A,B και τάσης M,N σε μια γεωφυσική διασκόπηση.

Η τιμή του **γεωμετρικού παράγοντα K** εξαρτάται από την διάταξη των ηλεκτροδίων η οποία θα χρησιμοποιηθεί κατά τις υπαίθριες μετρήσεις. Οι πιο κοινές διατάξεις γεωηλεκτρικών μετρήσεων για δισδιάστατες τομές είναι οι: Wenner, διπόλου-διπόλου, Wenner- Schlumberger, πόλου-πόλου και πόλου-διπόλου (Telford et al., 1990; Loke, 2000; Kearey and Brooks, 2002; Dahlin and Zhou, 2004; Loke and Lane, 2004; Loke, 2010).

Η σχέση (5), αντιστοιχεί στην πραγματική αντίσταση του υπεδάφους μόνο στην περίπτωση ενός ομογενούς ημιχώρου. Σε κάθε άλλη περίπτωση, από την σχέση αυτή υπολογίζεται η φαινόμενη αντίσταση του υπεδάφους ρ_a. Χρησιμοποιώντας την φαινόμενη αντίσταση και τις κατάλληλες τεχνικές αντιστροφής των γεωφυσικών δεδομένων, προκύπτει η τελική δισδιάστατη τομή των πραγματικών αντιστάσεων του υπεδάφους.

2.2.3 Αυτοματοποιημένη αλλαγή ζεύγους ηλεκτροδίων και δημιουργία δισδιάστατης τομής αντιστάσεων

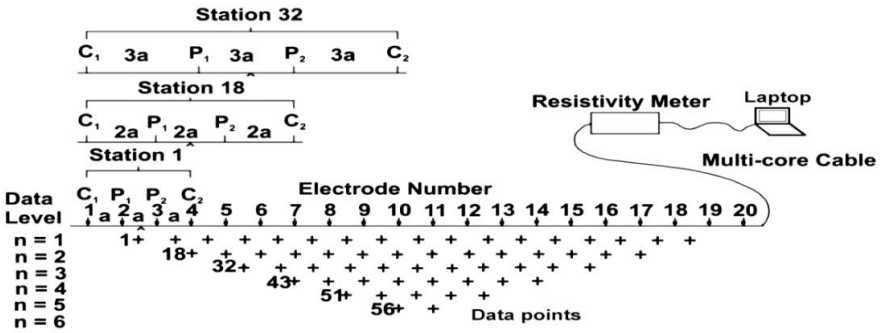
Απαραίτητη προϋπόθεση για να δημιουργηθεί μια δισδιάστατη τομή ηλεκτρικών αντιστάσεων, είναι να υπάρχει ένας διαθέσιμος αριθμός ηλεκτροδίων, π.χ. 24 ή 48. Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με ένα καλώδιο, το οποίο περιέχει εξόδους σε συγκεκριμένες αποστάσεις ανάλογα με το μήκος της τομής και τις αποστάσεις ηλεκτροδίων που επιθυμεί ο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

μελετητής. Αφού συνδεθούν όλα τα ηλεκτρόδια στο πολυκάναλο καλώδιο, αυτό συνδέεται με το μηχάνημα εκτέλεσης γεωηλεκτρικών μετρήσεων. Το όργανο μετρήσεων είναι αυτό το οποίο ρυθμίζει κάθε φορά αυτόματα το ζεύγος των ηλεκτροδίων τα οποία θα λειτουργήσουν ως ηλεκτρόδια ρεύματος ή τάσης, ανάλογα με το πρωτόκολλο το οποίο έχει εισάγει ο χρήστης, πχ (πρωτόκολλο διάταξης διπόλου-διπόλου, πόλου-πόλου κ.α) για την μέτρηση των φαινόμενων αντιστάσεων ρ_a.

Επαρκής απόκτηση δεδομένων (Εικόνα 2-15), επιτυγχάνεται με πολλαπλές μετρήσεις διαφοράς τάσης για διάφορα ζεύγη ηλεκτροδίων με μία εισαγωγή ρεύματος (Loke, 2000; Bernard, 2003; Hiltunen and Roth, 2003; Loke, 2010).



Εικόνα 2-15 : Διάταξη ηλεκτροδίων για μια 2D τομή ηλεκτρικών αντιστάσεων και δημιουργία της ψευδοτομής από τα δεδομένα της φαινόμενης αντίστασης.

2.2.4 Διατάξεις ηλεκτροδίων

Υπάρχουν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν στο ύπαιθρο για την μέτρηση της υπεδάφιας κατανομής των ηλεκτρικών αντιστάσεων. Κάθε μία από αυτές έχει ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Σε καμία περίπτωση η επιλογή δεν γίνεται τυχαία. Αντιθέτως, αυτό εξαρτάται από την εμπειρία του γεωφυσικού μελετητή να επιλέξει την κατάλληλη ανάμεσα σε πολλές, αλλά και από το επιθυμητό βάθος διασκόπησης σε συνδυασμό με την απαιτούμενη, οριζόντια και κατακόρυφη ανάλυση.

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται ένας συνοπτικός πίνακας με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διατάξεων (Εικόνα 2-17) Wenner, Wenner-Schlumberger, dipole-dipole, pole-pole, pole-dipole. Επίσης, απεικονίζονται σχηματικά οι συγκεκριμένες διατάξεις όσον αφορά την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων ρεύματος A,B και τάσης M,N (Εικόνα 2-16).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

	Electrodes array		K
2D	Wenner	A M N B a a a	2πa
	Wenner-Schlumberger	A M N B na a na	πn(n+1)a
	Dipole-Dipole	A B M N a na a	πn(n+1)(n+2)a
	Pole-Pole	B A M N x a x	2πa
	Pole-Dipole *Forward*	A M N na a	2πn(n+1)a
	Reversed	M N A na a	

Εικόνα 2-16: Παραδείγματα 2D διατάξεων ηλεκτροδίων (Samouëlian et al., 2005).

	Wenner	Wenner-Schlumberger	Dipole-dipole	Pole-pole	Pole-dipole
Sensitivity of the array horizontal structures	++++	++	+	++	++
Sensitivity of the array vertical structures	+	++	++++	++	+
Depth of investigation	+	++	+++	++++	+++
Horizontal data coverage	+	++	+++	++++	+++
Signal strength	++++	+++	+	++++	++

Εικόνα 2-17: Πλεονεκτήματα εφαρμογής συγκεκριμένων 2D διατάξεων ηλεκτροδίων (Samouëlian et al., 2005).

Γίνεται αντιληπτό, ότι καμία από τις παραπάνω διατάξεις ηλεκτροδίων δε μπορεί να παρουσιάζει θετικά στοιχεία για όλες τις παραμέτρους (ευαισθησία διάταξης, μέγιστο βάθος διασκόπησης κ.α). Επομένως, τονίζεται και πάλι η σημασία της εμπειρίας που διαθέτει ο γεωφυσικός μελετητής να επιλέξει με την δική του κρίση την καταλληλότερη.

2.2.5 Αντιστροφή γεωηλεκτρικών δεδομένων

Μετά την συλλογή των δεδομένων της ηλεκτρικής διασκόπησης, οι γεωφυσικοί επιχειρούν να αντιστοιχίσουν τα δεδομένα των μετρήσεων, τα οποία προέκυψαν από τους

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

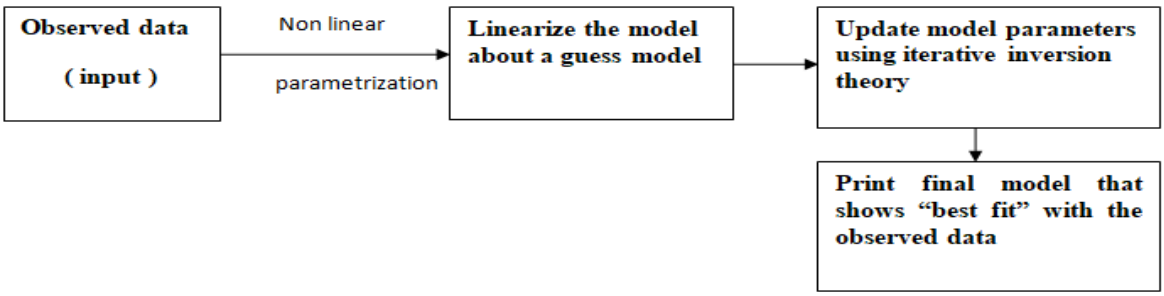
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

συνδυασμούς διάφορων ηλεκτροδίων, με ένα μοντέλο πραγματικών αντιστάσεων. Προκύπτει λοιπόν το ερώτημα, ποιές είναι οι υπεδάφιες συνθήκες οι οποίες ευθύνονται για την απόκτηση των συγκεκριμένων δεδομένων. Το πρόβλημα αυτό λοιπόν επιλύεται "αντίστροφα".

Συνοπτικά η σειρά βημάτων που ακολουθείται είναι η εξής:

Αρχικά, με βάση τα πρωτογενή δεδομένα, κατασκευάζεται ένα αρχικό μοντέλο αντιστάσεων. Έπειτα, δημιουργούνται συνθετικά δεδομένα, θεωρώντας το αρχικό μοντέλο ως πραγματικό και υπολογίζοντας τις φαινόμενες αντιστάσεις που θα μετρούσε το γεωφυσικό όργανο με ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο στο ύπαιθρο για το συγκεκριμένο μοντέλο. Τα συνθετικά δεδομένα εν συνεχεία συγκρίνονται με τα πραγματικά δεδομένα που συλλέχθησαν στο ύπαιθρο από την περιοχή μελέτης. Χρησιμοποιείται μια στατιστική παράμετρος, η οποία ονομάζεται μέση τετραγωνική απόκλιση (RMS), η οποία στην ουσία μετρά την απόκλιση του συνθετικού μοντέλου που δημιουργήθηκε από το πραγματικό. Η διαδικασία είναι επαναληπτική, αφού κάθε φορά γίνεται η προσαρμογή του συνθετικού μοντέλου. Η διαδικασία τερματίζει όταν το RMS γίνει μικρότερο ή ίσο από περίπου 0.5, οπότε και θεωρείται ότι έχει προσεγγίσει κατά πολύ τις πραγματικές συνθήκες αντιστάσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν επιδιώκεται το RMS να φτάσει το 0, καθώς σε αυτή την περίπτωση θεωρείται ότι το συνθετικό μοντέλο έχει προσαρμοστεί με βάση τον θόρυβο, ο οποίος εμπεριέχεται κάθε φορά στα δεδομένα των γεωφυσικών μετρήσεων.

Πιο αναλυτικά η μαθηματική επεξεργασία που εκτελείται είναι η εξής:



Εικόνα 2-18 : Σειρά βημάτων κατά την επαναληπτική διαδικασία αντιστροφής γεωφυσικών δεδομένων (από Sharma, 1997).

Η διαδικασία της αντιστροφής είναι ένα μαθηματικό πρόβλημα μη γραμμικού προγραμματισμού, το οποίο ξεκινάει με μια αρχική λύση της οποίας οι παράμετροι ανανεώνονται στην συνέχεια με γραμμικό τρόπο σε κάθε επανάληψη (Εικόνα 2-18). Για να είναι δυνατή η προσομοίωση πολύπλοκων αντιστατικών συνθηκών η γη χωρίζεται σε πολλά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

μικρά κελιά (j = 1 to m). Σε κάθε κελί αντιστοιχεί και μία αντίσταση (mj, with j = 1 to m). Η φαινόμενες αντιστάσεις περιγράφονται από την μαθηματική σχέση:

di= Fi(m1,m2….,mm) + ei,

όπου di τα δεδομένα μετρήσεων (i = 1 to n)

Fi ο τελεστής του forward modeling, ο οποίος επιτρέπει να υπολογιστεί το πόσο καλά προσαρμόζεται ένα συνθετικό μοντέλο με παραμέτρους mj (j = 1 to m) σε κάθε θέση δεδομένων I (i = 1 to n). Το ei αφορά τα σφάλματα των μετρήσεων.

Για να επιλυθεί η παραπάνω εξίσωση απαιτείται η μετατροπή της σε γραμμικό πρόβλημα. Σύμφωνα με την (Sharma, 1997) αυτό επιτυγχάνεται με τυχαίες αρχικές τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων του μοντέλου και υπολογισμό των συνθετικών δεδομένων ci.

Τα συνθετικά δεδομένα αποκλίνουν από τα πραγματικά κατά ei= di-ci. Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος λοιπόν είναι να βρεθεί ένα σύνολο μεταβλητών mj, το οποίο ελαχιστοποιεί την διαφορά ei για όλα τα δεδομένα (Samouëlian et al., 2005).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια είχε ως αποτέλεσμα οι μέθοδοι αντιστροφής να αναπτυχθούν σε μεγάλο βαθμό και να προκύπτουν αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα παρά την μη ύπαρξη μοναδικότητας στην λύση της αντιστροφής. Έτσι λοιπόν, ενώ πριν από ορισμένα χρόνια οι γεωφυσικοί προσπαθούσαν να ερμηνεύσουν τις υπαίθριες μετρήσεις βασιζόμενοι μόνο στις φαινόμενες αντιστάσεις, την σημερινή εποχή υπάρχει μεγάλος αριθμός πινάκων και εμπειρικών κανόνων οι οποίοι συνδέουν τα αποτελέσματα της αντιστροφής με πιθανούς υπεδάφιους γεωλογικούς σχηματισμούς (Εικόνα 2-19).

Soil	Mean Value of Resistivity *(ohm m, Ω m)*
Clay, compacted	100 - 200
Clay, soft	50
Clayely sand	50 - 500
Humus, leaf mold	10 - 150
Granite	1500 - 10000
Granite, modified	100 - 600
Jurassic marl	30 - 40
Limestone, fissured	500 - 1000
Marl	100 - 200
Mica schist	800
Peat, turf	5 - 100
Sandstone	1500 - 10000
Sandstone, modified	100 - 600
Shist, shale	50 - 300
Siliceous sand	200 - 300
Soil, chalky	100 - 300
Soil, swampy	1 - 30
Stony sub-soil, grass-covered	300 - 500
Stony ground	1500 - 3000

Εικόνα 2-19 : Ενδεικτικές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για διαφορετικούς σχηματισμούς (https://www.engineeringtoolbox.com/soil-resistivity-d_1865.html).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

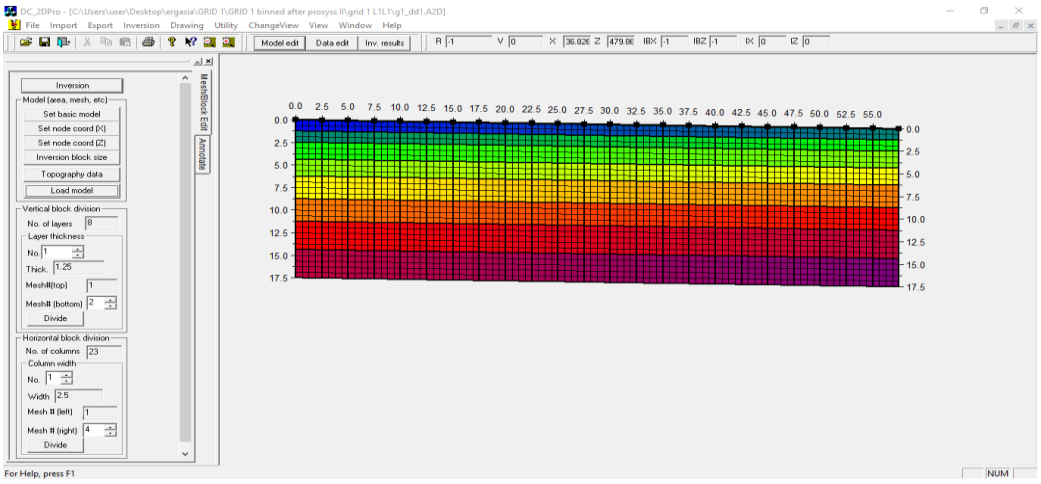
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Όσον αφορά την επεξεργασία των γεωηλεκτρικών δεδομένων, εκτελέστηκαν με την ακόλουθη σειρά οι εξής διεργασίες:

1. Μεταφορά των δεδομένων από το μηχάνημα Syscal Pro σε υπολογιστή.
2. Προεπεξεργασία των δεδομένων στο λογισμικό Prosys II. Συνήθως εδώ εκτελείται η απομάκρυνση των ακραίων τιμών μέτρησης οι οποίες θεωρούνται προβληματικές Εικόνα 2-20 α , αλλά και εξαγωγή του αρχείου σε μορφή αναγνωρίσιμη από το κύριο λογισμικό επεξεργασίας και εξαγωγής του τελικού μοντέλου Εικόνα 2-20 β.

Εικόνα 2-20: α) Απομάκρυνση ακραίων γεωηλεκτρικών τιμών, β) εξαγωγή αρχείου σε μορφή Res2dinv.

3. Εισαγωγή του αρχείου Res2dinv στο λογισμικό DC2Dpro (Kim, 2010) του Κορεατικού Ινστιτούτου Γεωεπιστημών και Ορυκτών Πόρων. Το συγκεκριμένο λογισμικό δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να ρυθμίσει τις διάφορες παραμέτρους του αρχικού μοντέλου πριν την διαδικασία της αντιστροφής.

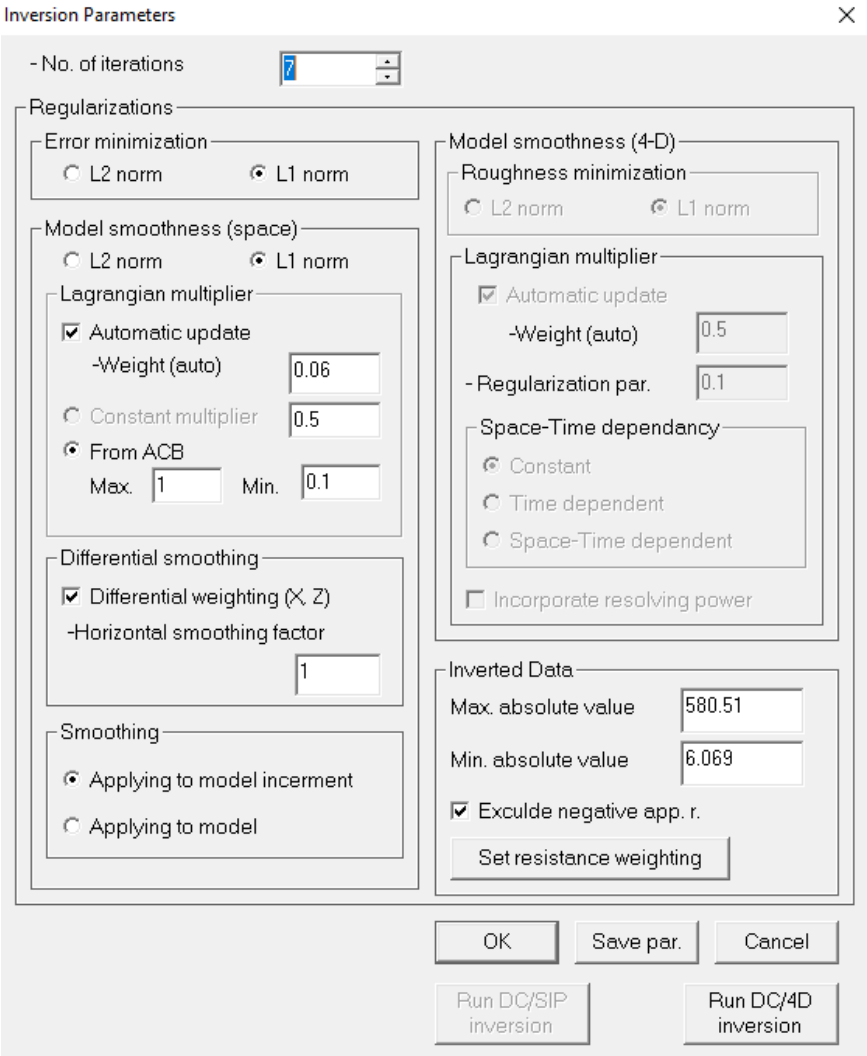


Εικόνα 2-21: Ρύθμιση παραμέτρων αρχικού μοντέλου πριν την επαναληπτική διαδικασία της αντιστροφής.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Το πρόγραμμα εκτελεί εξαναγκασμένα εξομαλυμένη αντιστροφή δίνοντας στον χρήστη την δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε τέσσερις διαφορετικές μεθόδους αντιστροφής (L1L1, L1L2, L2L1, L2L2) γραμμικών συστημάτων (Εικόνα 2-22). Επίσης, η εξομάλυνση του μοντέλου μπορεί να γίνεται αυξητικά σε κάθε επανάληψη της αντιστροφής (incement smoothing) ή μόνο στην τελευταία επανάληψη αυτής (model smoothing).



Εικόνα 2-22: Επιλογή μεθόδου αντιστροφής και ρύθμιση παραμέτρων αντιστροφής στο λογισμικό DC2Dpro.

Ως τελικό βήμα, ορίζεται η αξιολόγηση του τελικού μοντέλου αντιστροφής που προκύπτει. Η αξιολόγηση με βάση την τιμή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS), είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος και χρησιμοποιείται από το συγκεκριμένο λογισμικό. Φανερώνει τον βαθμό απόκλισης του μοντέλου αντιστάσεων που προέκυψε σε σχέση με εκείνο το μοντέλο από το οποίο προέκυψαν οι υπαίθριες μετρήσεις. Συνήθως, μια τιμή RMS κάτω από 3% θεωρείται αποδεκτή.

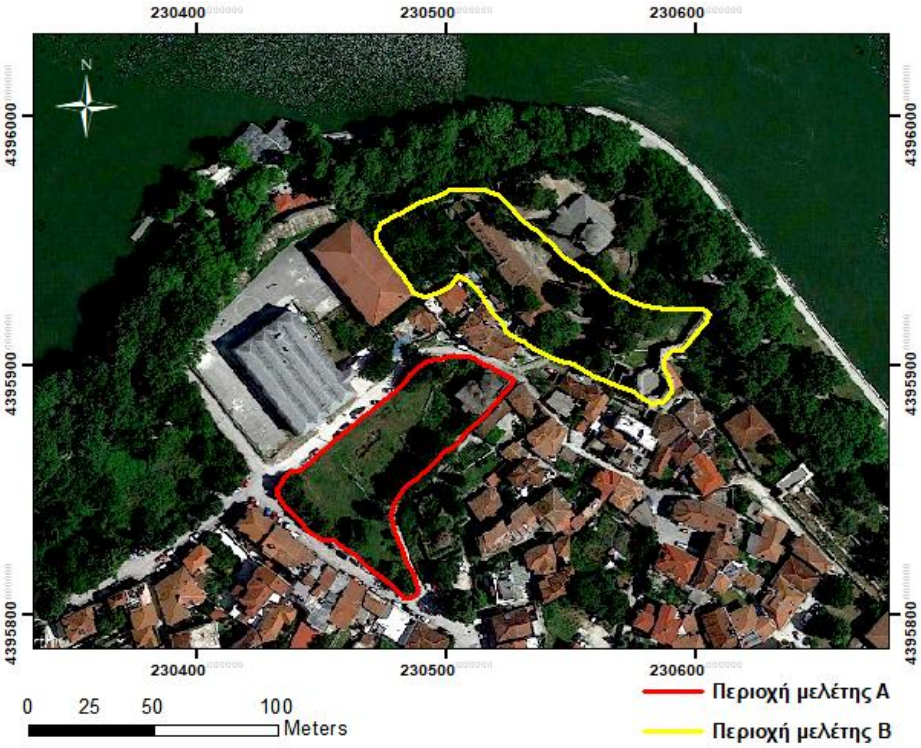
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

3 Στάδιο οργάνωσης υπαίθριων μετρήσεων

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο, περιγράφεται ο σχεδιασμός που υιοθετήθηκε για την εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων.

Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε δύο επιμέρους τμήματα Α και Β (Εικόνα 3-1).



Εικόνα 3-1: Περιοχή μελέτης Α και Β (εικόνα από google earth).

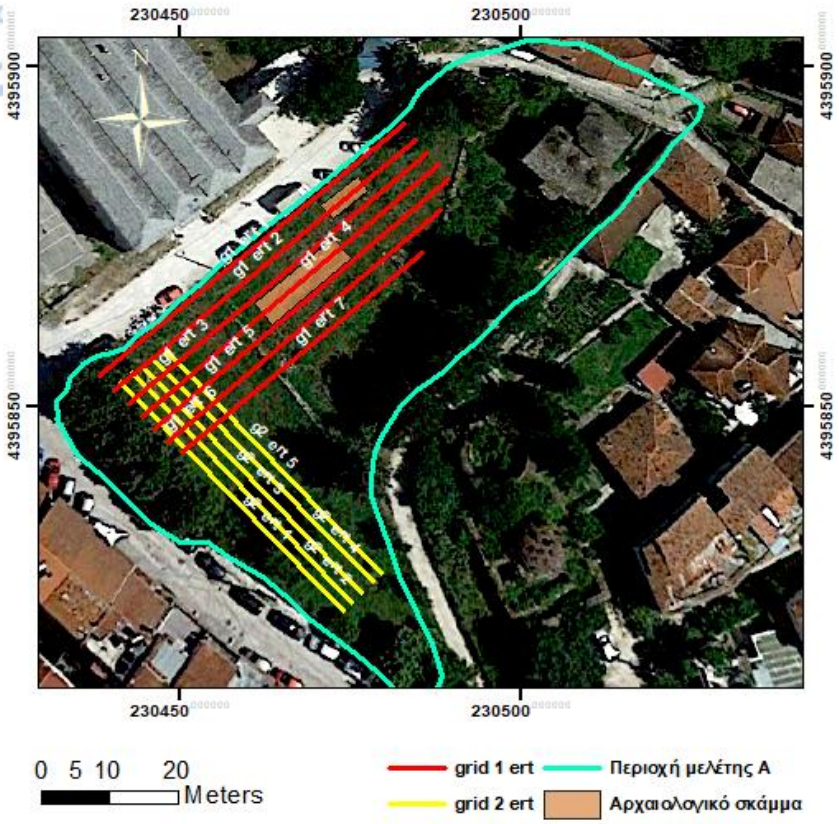
Οι υπαίθριες μετρήσεις διήρκησαν δύο μέρες. Κατά την διάρκεια της πρώτης εκτελέστηκαν οι ηλεκτρικές μέθοδοι τόσο στην περιοχή μελέτης Α όσο και στην Β, ενώ την δεύτερη η σεισμική μέθοδος MASW.

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης Α και τις ηλεκτρικές μεθόδους σχεδιάστηκαν δύο κάνναβοι κάθετοι μεταξύ τους. Στον κάνναβο 1 εκτελέστηκαν μετρήσεις κατά μήκος επτά τομών, ενώ στο κάνναβο 2 κατά μήκος πέντε (Εικόνα 3-2).

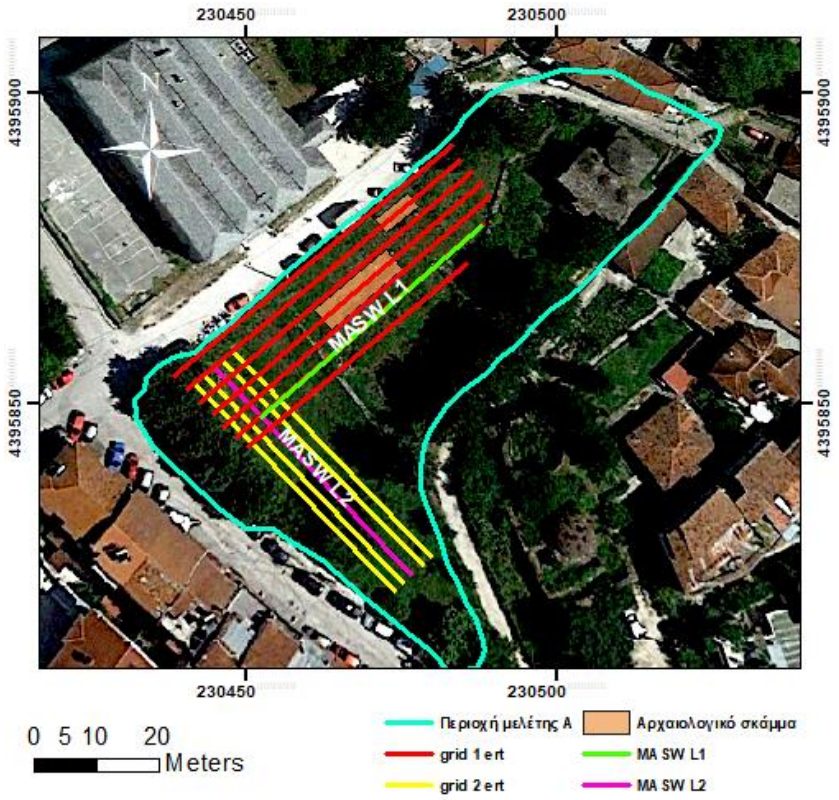
Η μέθοδος MASW στην συγκεκριμένη περιοχή ήταν μονοδιάστατη (1D) και εφαρμόστηκε κατά μήκος δύο τομών. Η θέση της πρώτης, συμπίπτει με την τομή 6 του καννάβου 1 των ηλεκτρικών μετρήσεων και η δεύτερη με την θέση της τομής 3 του καννάβου 2 (Εικόνα 3-3), δίνοντας έτσι την δυνατότητα να συγκριθούν και να ερμηνευτούν συνδυαστικά τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων. Σημειώνεται ότι η αρχή των τομών του καννάβου 1 βρίσκεται στα ΒΑ ενώ του καννάβου 2 στα ΝΑ όσον αφορά την παρουσίαση τους στο κεφάλαιο της ερμηνείας. Περισσότερες λεπτομέρειες για τις τομές παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 3-1).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γε
Α.Π.



Εικόνα 3-2: Ηλεκτρικές τομές του καννάβου 1 και καννάβου 2 Β (εικόνα από google earth).



Εικόνα 3-3: Τομές MASW L1, L2 στην περιοχή μελέτης Α Β (εικόνα από google earth).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Πίνακας 3-1: Γενικά στοιχεία ηλεκτρικών τομών και τομών MASW για την περιοχή μελέτης Α.

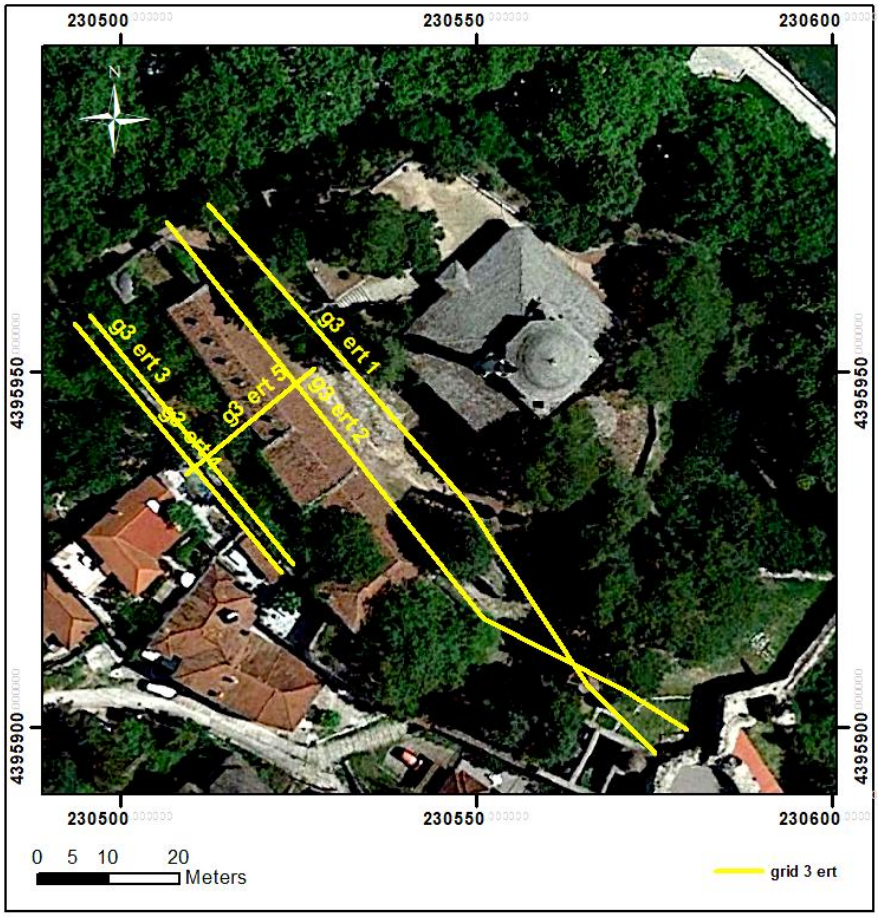
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ Α					
ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ					
	Μήκος τομών	Αριθμός ηλεκτροδίων	Αποστάσεις ηλεκτροδίων		
Κάνναβος 1	57.5 μ	24	2.5 μ		
Κάνναβος 2	46 μ	24	2 μ		
MASW 1D					
	Μήκος τομών	Αριθμός γεωφώνων	Αποστάσεις γεωφώνων	Πηγή 1	Πηγή 2
MASW L1	46 μ	24	2 μ	- 3.85 μ	48 μ
MASW L2	46 μ	24	2 μ	-2 μ	48 μ

Εικόνα 3-4: Στιγμιότυπα από την εκτέλεση ηλεκτρικών και σεισμικών μετρήσεων στην περιοχή μελέτης Α.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Στην περιοχή μελέτης Β, σχεδιάστηκε ένας κάνναβος στον οποίο εκτελέστηκαν ηλεκτρικές μετρήσεις κατά μήκος πέντε τομών. Οι τέσσερις από αυτές είχαν την ίδια διεύθυνση (ΒΔ-ΝΑ) ενώ η μία από αυτές, η τομή 5 είχε διεύθυνση κάθετη στις προηγούμενες (ΒΑ-ΝΔ) και διερχόταν από το κτίριο Α (Εικόνα 3-8, Γ). Οι τομές 1 και 2 εκτελέστηκαν στον χώρο που βρίσκεται ακριβώς μπροστά από τον χώρο του τζαμί Ασλάν πασά (Εικόνα 3-5). Σε περιοχές που ήταν αδύνατο να τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια λόγω συνθηκών, τοποθετήθηκε ειδικό αγώγιμο υλικό στην επιφάνεια ώστε να εκτελεστούν οι μετρήσεις (Εικόνα 3-8, Α).



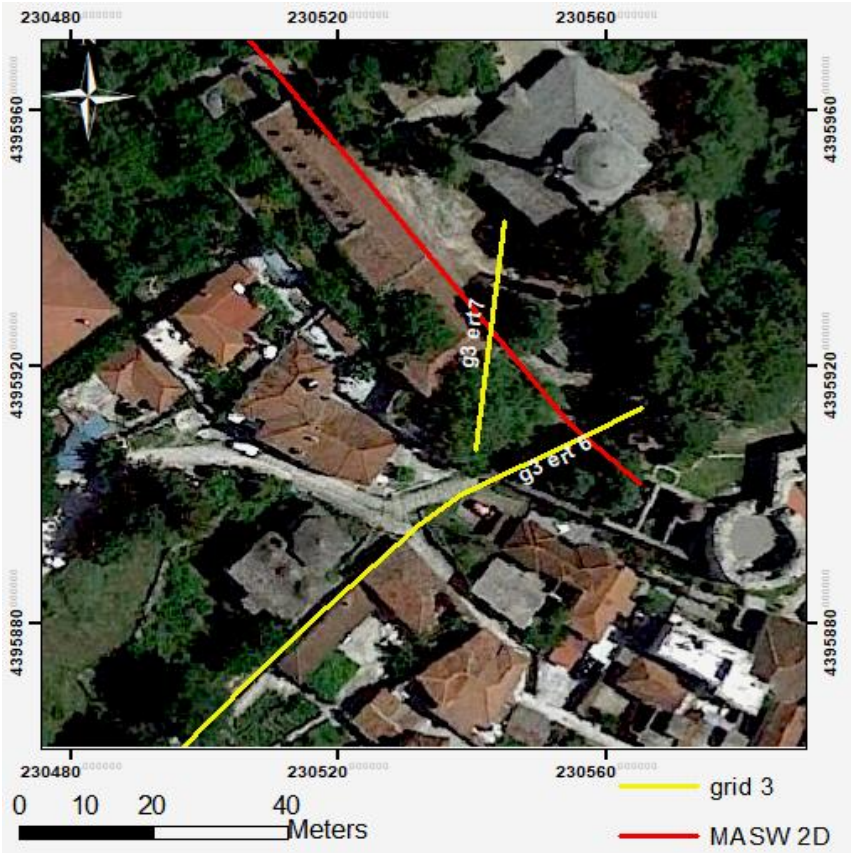
Εικόνα 3-5: Κάνναβος 3 στην περιοχή μελέτης Β Β (εικόνα από google earth).

Στον συγκεκριμένο χώρο θεωρήθηκε απαραίτητο να εκτελεστούν δύο επιπλέον τομές ηλεκτρικών μετρήσεων (τομή 6 και 7) οι οποίες είναι κάθετες στον κάνναβο 3 (Εικόνα 3-7). Όσον αφορά την τομή 6, αυτή φαίνεται να έχει αρκετά μεγάλο μήκος και καταλαμβάνει έκταση η οποία αφορά κυρίως την περιοχή μελέτης Β, έμμεσα όμως και την περιοχή μελέτης Α, αφού σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη περνάει από το όριο του ασβεστολίθου με τις κοιλάδιες αποθέσεις. Η σεισμική μέθοδος MASW στην περιοχή μελέτης Β έγινε ακριβώς στην θέση της τομής 2 του καννάβου 3 και ήταν 2D. Η έλλειψη χώρου που παρατηρήθηκε

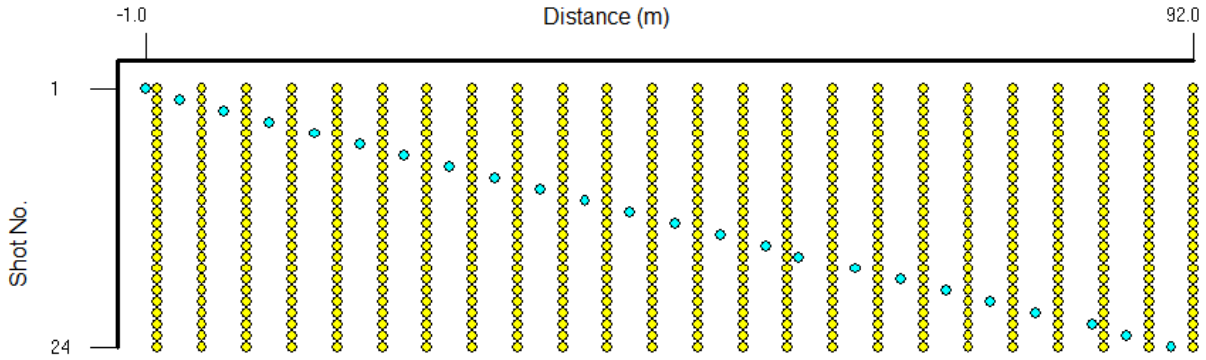
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

στην θέση εκτέλεσης της μεθόδου 2D MASW είχε ως αποτέλεσμα να επιλεχθεί η διάταξη fixed receiver spread. Σε αυτήν όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι θέσεις των γεωφώνων παρέμεναν σταθερές, ενώ οι θέσεις της πηγής ήταν αυτές οι οποίες μεταβάλλονταν συνεχώς. (Εικόνα 3-6).



Εικόνα 3-7: Τομές 6,7 και τομή MASW στην περιοχή μελέτης Β (εικόνα από google earth).



Εικόνα 3-6: Γεωμετρία ανάπτυξης τομής MASW στην περιοχή μελέτης Β, με την μέθοδο fixed receiver spread.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Πίνακας 3-2: Γενικές πληροφορίες για την τομή MASW και τις ηλεκτρικές τομές της περιοχής μελέτης Β.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ Β				
ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ				
	Αρχή τομών	Μήκος τομών (μ)	Αριθμός ηλεκτροδίων	Αποστάσεις ηλεκτροδίων (μ)
G3 ert 1	ΒΔ	103.5	24	4.5
G3 ert 2	ΒΔ	103.5	24	4.5
G3 ert 3	ΒΑ	46	24	2
G3 ert 4	ΒΔ	46	24	2
G3 ert 5	ΝΔ	23	24	1
Line 7	Β	39.1	24	1.7
Line 6	ΝΔ	92	24	4

ΜΕΘΟΔΟΣ MASW 2D				
Μήκος τομής (μ)	Αριθμός γεωφώνων	Αποστάσεις γεωφώνων (μ)	Πρώτη πηγή (μ)	Τελευταία πηγή (μ)
92	24	4	-1	94

Εικόνα 3-8: Στιγμιότυπα ηλεκτρικών και σεισμικών μετρήσεων από την περιοχή μελέτης Β.

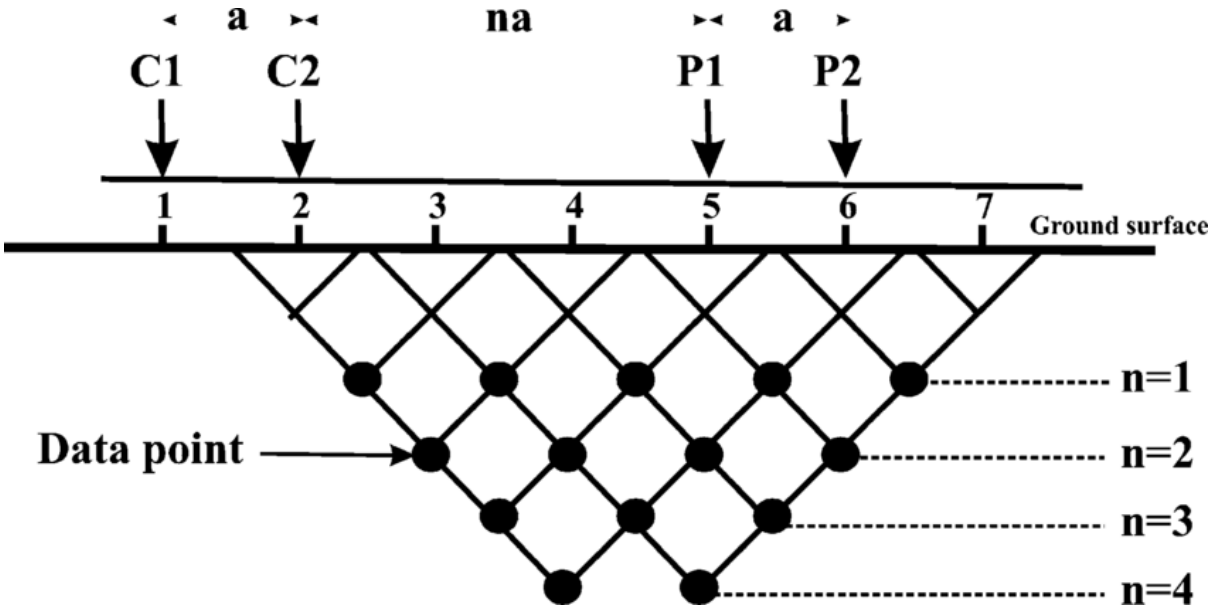
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

3.1 Διατάξεις ηλεκτροδίων κατά τις υπαίθριες μετρήσεις

Όσον αφορά τις διατάξεις των ηλεκτροδίων κατά το στάδιο εκτέλεσης των γεωηλεκτρικών μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά πρωτόκολλα. Πιο συγκεκριμένα, αυτά ήταν της διάταξης διπόλου-διπόλου, της πολλαπλής βαθμίδας (multigradient), καθώς και της συνδυαστικής διάταξης των δύο παραπάνω.

Ως δίπολο, ορίζεται ένα ζεύγος ηλεκτροδίων μεταξύ των οποίων η απόσταση είναι σχετικά μικρή. Στην διάταξη διπόλου διπόλου λοιπόν, χρησιμοποιούνται δύο δίπολα, το ένα εξ αυτών αποτελείται από τα ηλεκτρόδια ρεύματος C1, C2 ενώ το δεύτερο από τα ηλεκτρόδια τάσης P1, P2 (Εικόνα 3-9). Στην συγκεκριμένη διάταξη, η απόσταση a μεταξύ τόσο των ηλεκτροδίων ρεύματος αλλά και των ηλεκτροδίων τάσης παραμένει σταθερή ενώ η απόσταση μεταξύ των δύο διπόλων ορίζεται ως μια ακέραια τιμή n πολλαπλασιαζόμενη με την απόσταση a. Η απόσταση αυτή σταδιακά αυξάνεται έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης. Το επιθυμητό βάθος ορίζεται με βάση τους στόχους της μελέτης.

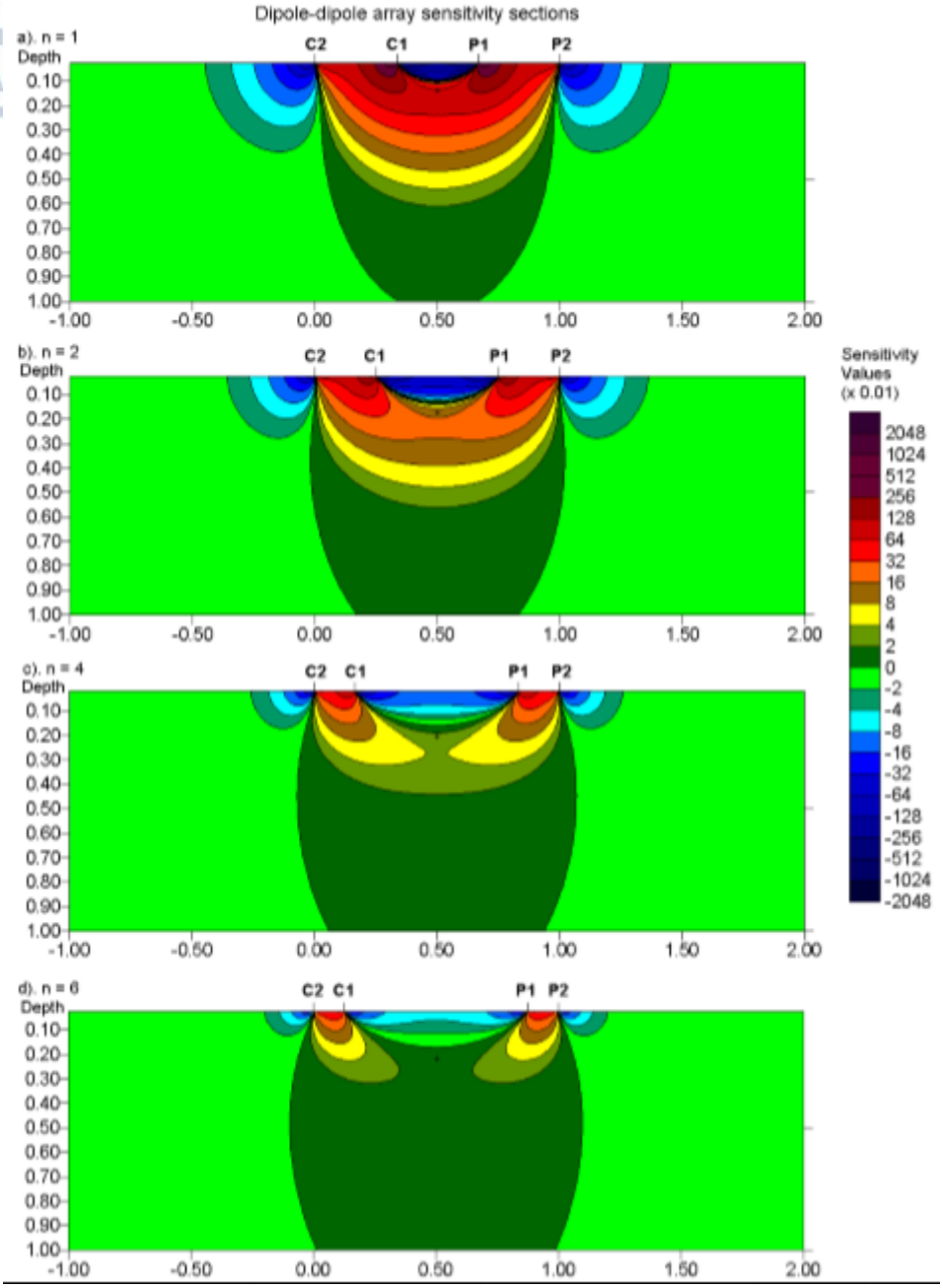


Εικόνα 3-9: Γεωμετρία ανάπτυξης της διάταξης διπόλου-διπόλου.

Οι μεγαλύτερες τιμές ευαισθησίας στην διάταξη αυτή παρατηρούνται κάτω από τις θέσεις των δύο διπόλων (Εικόνα 3-10). Ωστόσο, για τιμές n μεγαλύτερες από 2, αυτές αυξάνονται σημαντικά προς το κατακόρυφο επίπεδο, με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη διάταξη να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις οριζόντιες μεταβολές της αντίστασης. Αυτό σημαίνει πως είναι κατάλληλη για τον εντοπισμό σχηματισμών ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση. Επίσης, για τιμές n μεγαλύτερες του 6 η διακριτική ικανότητα της διάταξης σε βάθος μειώνεται αρκετά, παρόλα αυτά το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται ως έναν βαθμό με την αύξηση της απόστασης a (Loke, n.d.).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα
Α



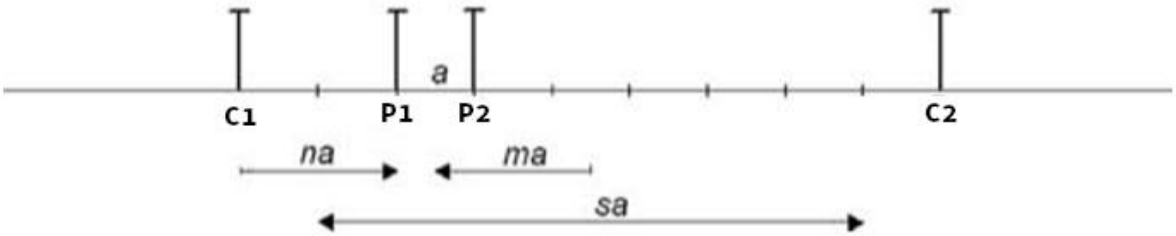
Εικόνα 3-10: Περιοχές ευαισθησίας της διάταξης διπόλου-διπόλου για a) n=1, b) n=2, c) n=4 , d) n=6.

Η διάταξη διπόλου-διπόλου έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε αρκετές γεωτεχνικές έρευνες (Batayneh and Barjous, 2003). Μερικά από τα πλεονεκτήματα που την κάνουν αποτελεσματική και διαδεδομένη είναι ότι παρέχει δυνατότητα πολλαπλής βαθμίδας ανάλυσης, εξάγει πολύ λεπτομερή δεδομένα μετρήσεων και με υψηλή ανάλυση ενώ η χρήση του μικρού σχετικά μήκους καλωδίων που απαιτεί για την υλοποίηση των μετρήσεων την κάνουν ιδιαίτερα εύχρηστη.

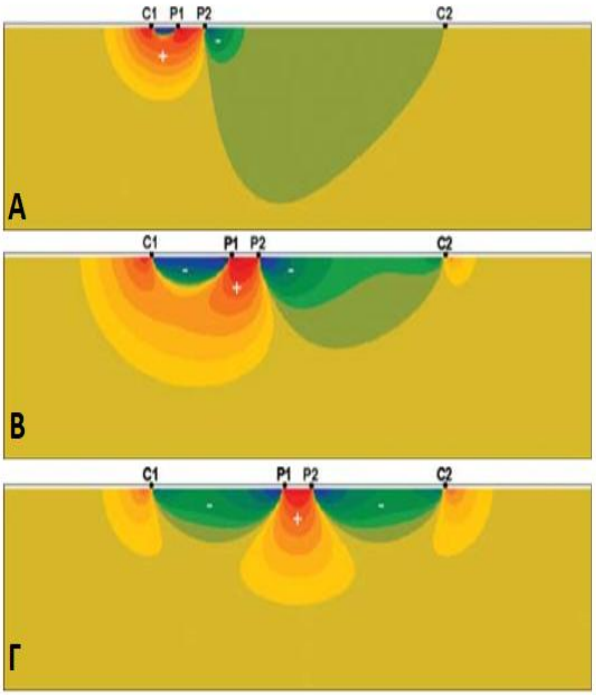
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Η στρατηγική μετρήσεων της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας είναι αρκετά διαφορετική από αυτήν της διπόλου-διπόλου. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτήν τα ηλεκτρόδια ρεύματος C1, C2 τοποθετούνται έχοντας μεταξύ τους απόσταση η οποία εκφράζεται από την σχέση (s+2)*a. Η μεταβλητή s αντιστοιχεί στον μέγιστο αριθμό ζεύγους ηλεκτροδίων τάσης P1, P2 τα οποία βρίσκονται κάθε φορά ανάμεσα από τα ηλεκτρόδια ρεύματος, ενώ το a αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων τάσης (Εικόνα 3-11). Επίσης, εδώ ορίζονται δύο επιπλέον παράμετροι n και m. Η παράμετρος n, αντιστοιχεί κάθε φορά στην απόσταση του διπόλου τάσης με το πιο κοντινό σε αυτό ηλεκτρόδιο ρεύματος, ενώ το m χρησιμοποιείται για να οριστεί η θέση του μέσου σημείου του διπόλου τάσης σε σχέση με το μέσο σημείο του διπόλου ρεύματος και ορίζεται ως m=(midpoint(P1,P2) – midpoint (C1,C2)) / a. Όταν το m έχει αρνητικές τιμές, τότε το δίπολο τάσης βρίσκεται πιο αριστερά από το μέσο σημείο του διπόλου ρεύματος, ενώ στην αντίθετη περίπτωση βρίσκεται πιο δεξιά (Dahlin and Zhou, 2006).



Εικόνα 3-11: Γεωμετρία διάταξης multigradient, όπου s=2, n=2, m=-2.



Εικόνα 3-12: Περιοχές ευαισθησίας πολυκάναλης διάταξηςΑ) s=9, n=1 Β) s=9, n=3 Γ) s=9, n=5.

Όσον αφορά τις περιοχές ευαισθησίας, στην συγκεκριμένη διάταξη φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ του διπόλου τάσης και ρεύματος, αυξάνεται και το βάθος διασκόπησης (McGILLIVRAY and Oldenburg, 1990), (Εικόνα 3-12). Παρατηρείται επίσης, πως όταν η τιμή της μεταβλητής m είναι πολύ μικρή τότε η διάταξη λειτουργεί ως διάταξη πόλου διπόλου (Εικόνα 3-12, Α), ενώ όταν το m=0, τότε λειτουργεί ως Schlumberger (Εικόνα 3-12, Γ), συνδυάζοντας έτσι τα χαρακτηριστικά των δύο διατάξεων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ

3.2 Εξοπλισμός μετρήσεων

Πίνακας 3-3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου γεωηλεκτρικών μετρήσεων Syscal Pro.

Transmitter	
Voltage:	0 - 2000 Vpp
Current:	0 - 2500 mA
Power:	Auto controled Internal 250W DC/DC converter, and 1200W with external AC/DC
Battery:	internal battery or external 12V
Receiver	
Pulse duration:	250ms, 500ms, 1s, 2s, 4s, or 8s
Channels:	10 true differential inputs
Input Impedance:	100 MOhms
Input Voltage:	15V, automatic gain, input protection 1000V
Resolution / Accuracy:	1 µV / 0.2%
GPS:	GPS input for coordinates and synchronisation
Readings:	Resistivity, self-potential, induced polarisation (up to 20 windows), quality control and optional full waveform
Noise Rejection:	power line rejection, SP linear drift correction.
Storage:	44800 readings, up to 8 hours full waveform, stored on solid state memory
Dimensions	
(L x W x H)	31x23x31cm Fiber glass casing, weather proof
weight:	11Kg with internal RX & TX batteries
Operating Temp.:	-20 to +70°C

Εικόνα 3-13: Όργανο γεωφυσικών μετρήσεων Syscal Pro.

Το όργανο Syscal Pro της εταιρείας IRIS χρησιμοποιήθηκε για τις υπαίθριες μετρήσεις (Εικόνα 3-13). Το συγκεκριμένο όργανο διαθέτει δέκα κανάλια δέκτη καθώς και εσωτερικό πομπό με ισχύ 250 W, ενώ μετράει αντιστάσεις και φορτιστικότητα.

Σύμφωνα με την εταιρεία κατασκευής, αποτελεί ένα πανίσχυρο εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε περιβαλλοντικές και τεχνικές γεωφυσικές μελέτες. Είναι κατάλληλο για την χαρτογράφηση του υποβάθρου ή ακόμα και για τον εντοπισμό ρηγμάτων και του βάθους και πάχους του υδροφόρου ορίζοντα.

Επιπλέον, δίνεται δυνατότητα τροποποίησης των δυνατοτήτων που προσφέρει το όργανο , όπως αύξηση της ισχύος σε 1200 W ή χρήση του σε περιπτώσεις που οι μετρήσεις εκτελούνται μέσα σε γεώτρηση.

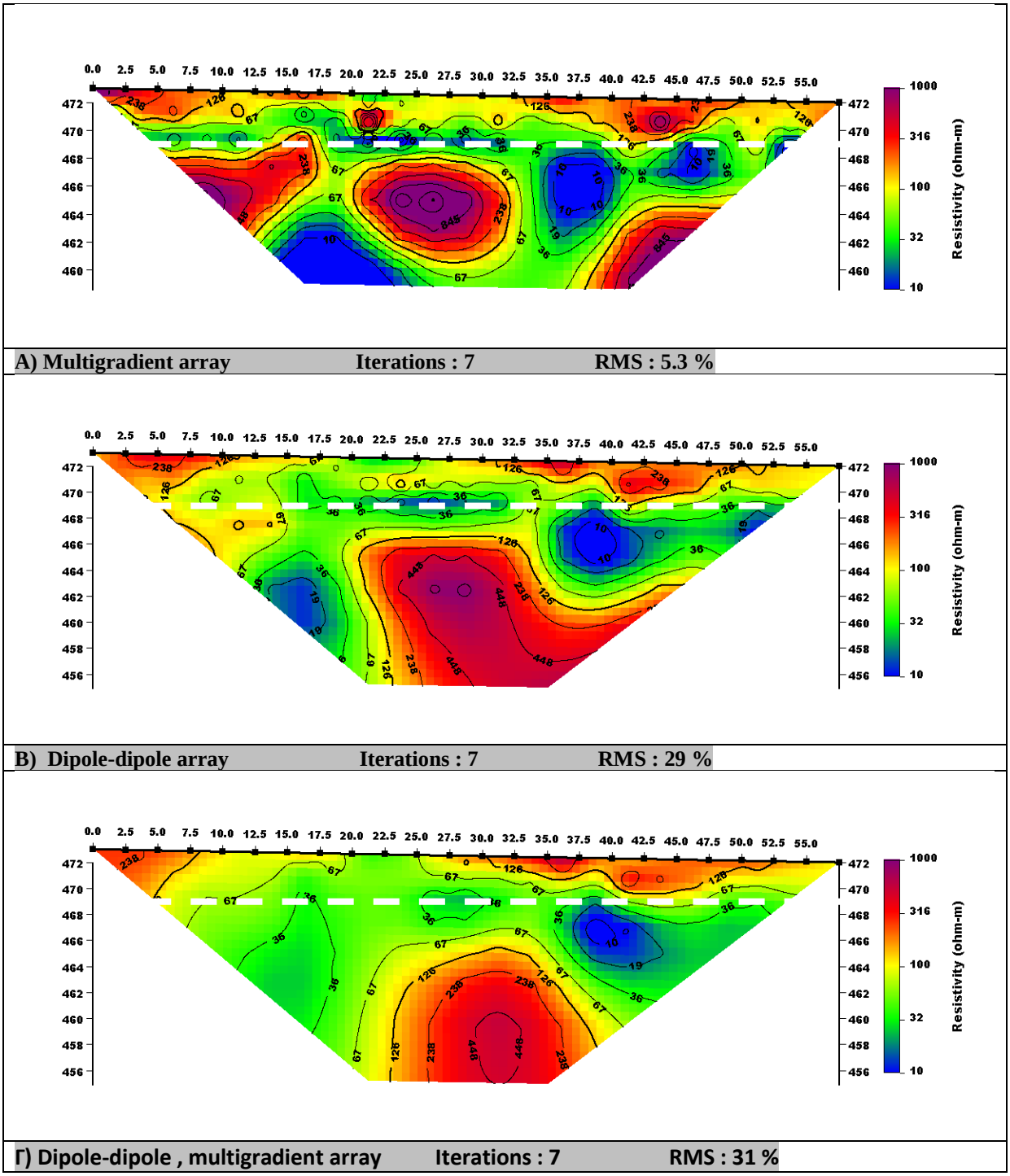
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

4 Αποτελέσματα και ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων

4.1 Περιοχή μελέτης Α

4.1.1 Κάνναβος 1 ERT1



Εικόνα 4-1: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 1 καννάβου 1.

Στην Εικόνα 4-1, παρουσιάζονται οι ηλεκτρικές τομές της πολλαπλής βαθμίδας, της διπόλου-διπόλου και της συνδυαστικής διάταξης αντίστοιχα, όπως προέκυψαν από το

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

πρόγραμμα αντιστροφής DC_2DPRO. Το εύρος των αντιστατικών τιμών είναι αρκετά μεγάλο 10-1500 περίπου Ohm-m, το οποίο είναι λογικό, αφού σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη (Εικόνα 1-2) η περιοχή μελέτης Α, βρίσκεται σε χώρο που εντοπίζονται επιφανειακά κοιλάδιες αποθέσεις, ενώ στα βαθύτερα στρώματα αναμένεται το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της περιοχής. Οι άσπρες διακεκομμένες γραμμές που παρατηρούνται και στις τρεις τομές, αντιστοιχούν στο επίπεδο στάθμης της λίμνης, το οποίο εντοπίζεται στο απόλυτο υψόμετρο των 469 μ. Η πιθανότητα να αναπτύσσεται υδραυλική επικοινωνία μεταξύ της λίμνης και της περιοχής μελέτης είναι πολύ πιθανή και έτσι θεωρήθηκε απαραίτητο να αναφερθεί στην ερμηνεία των τομών που ακολουθεί παρακάτω.

Οι εμφανείς διαφορές που παρουσιάζουν οι τρεις τομές μεταξύ τους, οδήγησε στην χωριστή ερμηνεία της κάθε μιας από αυτές. Παρ' όλα αυτά, οι ομοιότητες και διαφορές που παρουσιάζουν, σχολιάστηκαν σε μια ξεχωριστή παράγραφο συγκεντρωτικά και για τις τρεις.

Η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας, από την αρχή μέχρι και το τέλος της τομής, παρουσιάζει ένα επιφανειακό στρώμα πάχους περίπου 3 μ, στο οποίο παρατηρούνται αντιστατικές τιμές 100-150 Ohm-m. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στις κοιλάδιες αποθέσεις με κατά τόπους συγκέντρωση πιο αδρόκοκκων υλικών πχ. 0-7 μ της τομής, τα οποία αυξάνουν τοπικά τις αντιστατικές τιμές. Από τα 35-50 μ της τομής επιφανειακά, παρατηρείται και μια δεύτερη περιοχή η οποία παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις οι οποίες φτάνουν μέχρι 300 Ohm-m. Για αυτές τις τιμές πιθανότατα ευθύνεται το επιμήκες σκάμμα, το οποίο βρίσκεται στο σημείο εκείνο και τέμνει κάθετα τον κάνναβο 1 σε όλη του την έκταση. Επομένως, τοπικά υψηλότερες αντιστατικές τιμές στην συγκεκριμένη απόσταση αναμένεται να παρουσιάζονται και στις επόμενες τομές.

Βαθύτερα, η δομή γίνεται αρκετά πολύπλοκη, καθώς από την λευκή διακεκομμένη γραμμή και βαθύτερα παρατηρείται συνεχής πλευρική μετάβαση από αντιστατικούς σε αγώγιμους σχηματισμούς. Πιο συγκεκριμένα, στο βάθος των 4 μ από την αρχή μέχρι και τα 17 μ της τομής, παρατηρείται αντιστατικός σχηματισμός, με τιμή που φτάνει τα 600 Ohm-m και πάχος 4 μέτρα. Ο σχηματισμός αυτός δεν αποδίδεται στο υγιές ασβεστολιθικό υπόβαθρο, καθώς η τιμή του είναι σχετικά χαμηλή. Πιθανότατα είναι τέμαχος του υποβάθρου το οποίο υπέστη τεκτονική καταπόνηση. Από τα 20-33 μ της τομής, στο ίδιο βάθος παρατηρείται ένας επίσης αντιστατικός σχηματισμός μεγαλύτερου πάχους αλλά και αντιστατικών τιμών οι οποίες ξεπερνούν τα 1500 Ohm-m. Παρόμοιος αντιστατικός σχηματισμός παρατηρείται και από τα 45 μ μέχρι και το τέλος της τομής, ο οποίος βρίσκεται περίπου 1 μ βαθύτερα από τον προηγούμενο.

Η τεκτονική καταπόνηση της περιοχής είναι εμφανής καθώς :

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

- Από τα 17-20 μ της τομής παρατηρείται μεταξύ των αντιστατικών σχηματισμών μια λεπτή ζώνη χαμηλών αντιστατικών σχηματισμών, η οποία ερμηνεύεται ως ρηξιγενής.
- Πιο καθαρά ωστόσο, φαίνεται η ρηξιγενής ζώνη που αναπτύσσεται μεταξύ των δύο τελευταίων αντιστατικών σχηματισμών που αναφέρθηκαν. Η ζώνη αυτή έχει πλάτος 8 μ. και βρίσκεται από τα 32-40 μ. της τομής. Όσον αφορά το βάθος ξεκινά περίπου από τα 5 μ. και φαίνεται να συνεχίζει ως τα βαθύτερα τμήματα της τομής.

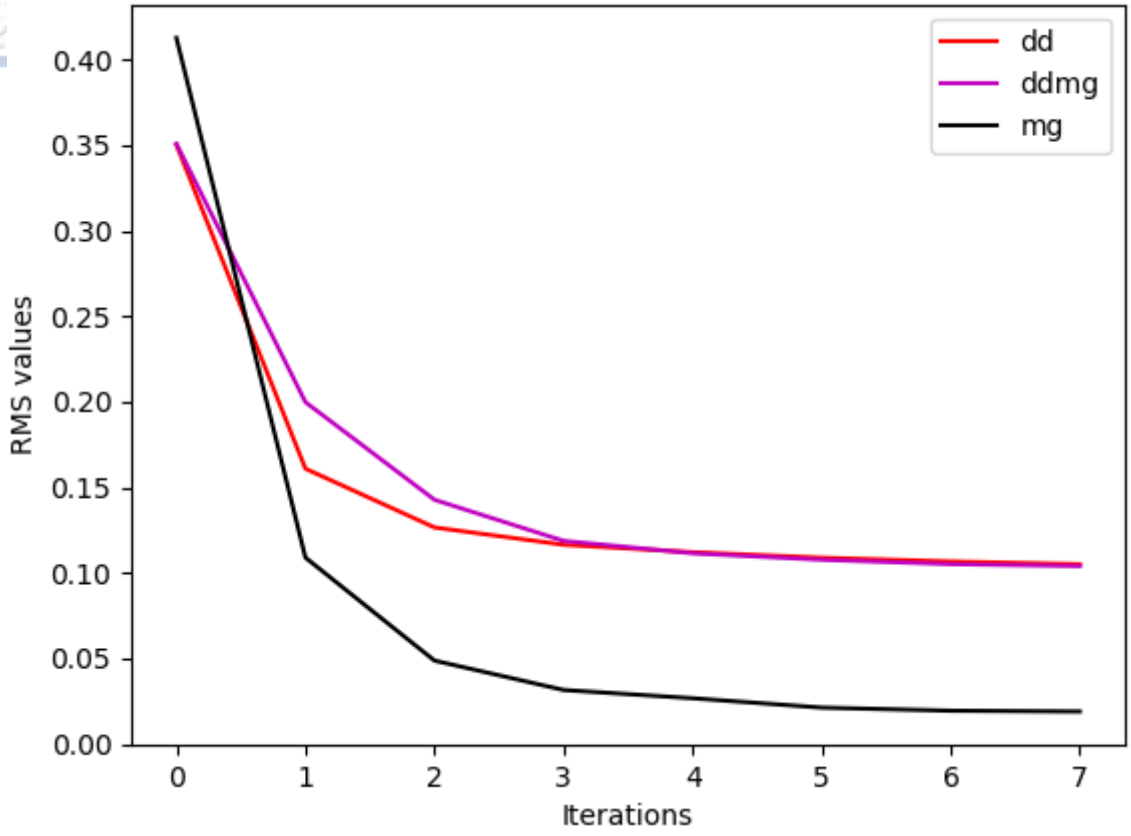
Από τα 20 μ μέχρι και το τέλος της τομής, στο βάθος των 3 μ παρατηρείται μια συνεχής αγώγιμη ζώνη με αντιστάσεις 10-20 Ohm-m. Η ζώνη αυτή φαίνεται να εξαπλώνεται και σε μεγαλύτερα βάθη από τα 35-50 μ της τομής, στο σημείο όπου συναντά την δεύτερη ρηξιγενή ζώνη. Το αγώγιμο αυτό στρώμα πιθανότατα οφείλεται στην παρουσία αργιλικού υλικού παράλληλα με την ύπαρξη των πιο αδρόκοκκων υλικών, ενώ δεν αποκλείεται να αναπτύσσεται υδραυλική επικοινωνία με την λίμνη, με αποτέλεσμα να ελαττώνει στα σημεία αυτά τις αντιστάσεις των υλικών (κροκάλες, χαλίκια και διάσπαρτη άμμος) που παρατηρούνται στο στρώμα αυτό. Όσον αφορά την αγώγιμη περιοχή που εμφανίζεται μέσα στην πρώτη ρηξιγενή ζώνη σε μεγαλύτερο βάθος φαίνεται να αναπτύσσεται υπόγεια καθώς δεν παρατηρείται σε πιο ρηχά σημεία. Επομένως, η υπόγεια επικοινωνία της λίμνης διαμέσου τεκτονικά καταπονημένων περιοχών με την παρούσα θεωρείται πολύ πιθανή.

Τα αποτελέσματα της διάταξης διπόλου-διπόλου φαίνεται να συμφωνούν με τα αποτελέσματα της συνδυαστικής διάταξης. Όσον αφορά τα πρώτα 5 μ της τομής κατά βάθος, οι δύο διατάξεις παρουσιάζουν επίσης κοινά αποτελέσματα με την πολλαπλής βαθμίδας διάταξη. Ωστόσο, η διακριτική ικανότητα των δύο τελευταίων δεν επιτρέπει τον εντοπισμό των δύο πλευρικών αντιστατικών σχηματισμών. Αντίθετα, ο εντοπισμός του αντιστατικού σχηματισμού γίνεται από τα 20-35 μ της τομής και στο βάθος των 6 μ με χαμηλότερες τιμές από τα αποτελέσματα της πολλαπλής βαθμίδας, φαίνεται όμως να συνεχίζει και σε μεγαλύτερο βάθος και να μην διακόπτεται.

Μια αξιοσημείωτη διαφορά, παρατηρείται επίσης στο ότι ούτε η διάταξη διπόλου-διπόλου αλλά ούτε και η συνδυαστική έχουν εντοπίσει τόσο μεγάλη αγώγιμη περιοχή σε βάθος μέσα στην πρώτη ρηξιγενή ζώνη, σε αντίθεση με την πολλαπλής βαθμίδας. Τέλος, επισημαίνεται πως η πολλαπλής βαθμίδας διάταξη εμφανίζει αρκετά μικρότερο μέσο όρο απόκλισης τιμών από τα δεδομένα (Εικόνα 4-2), ωστόσο το γεγονός αυτό δεν αποτελεί πάντοτε βασικό κριτήριο για το αν είναι και η καλύτερη διάταξη, πάνω στην οποία θα βασιστεί η ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



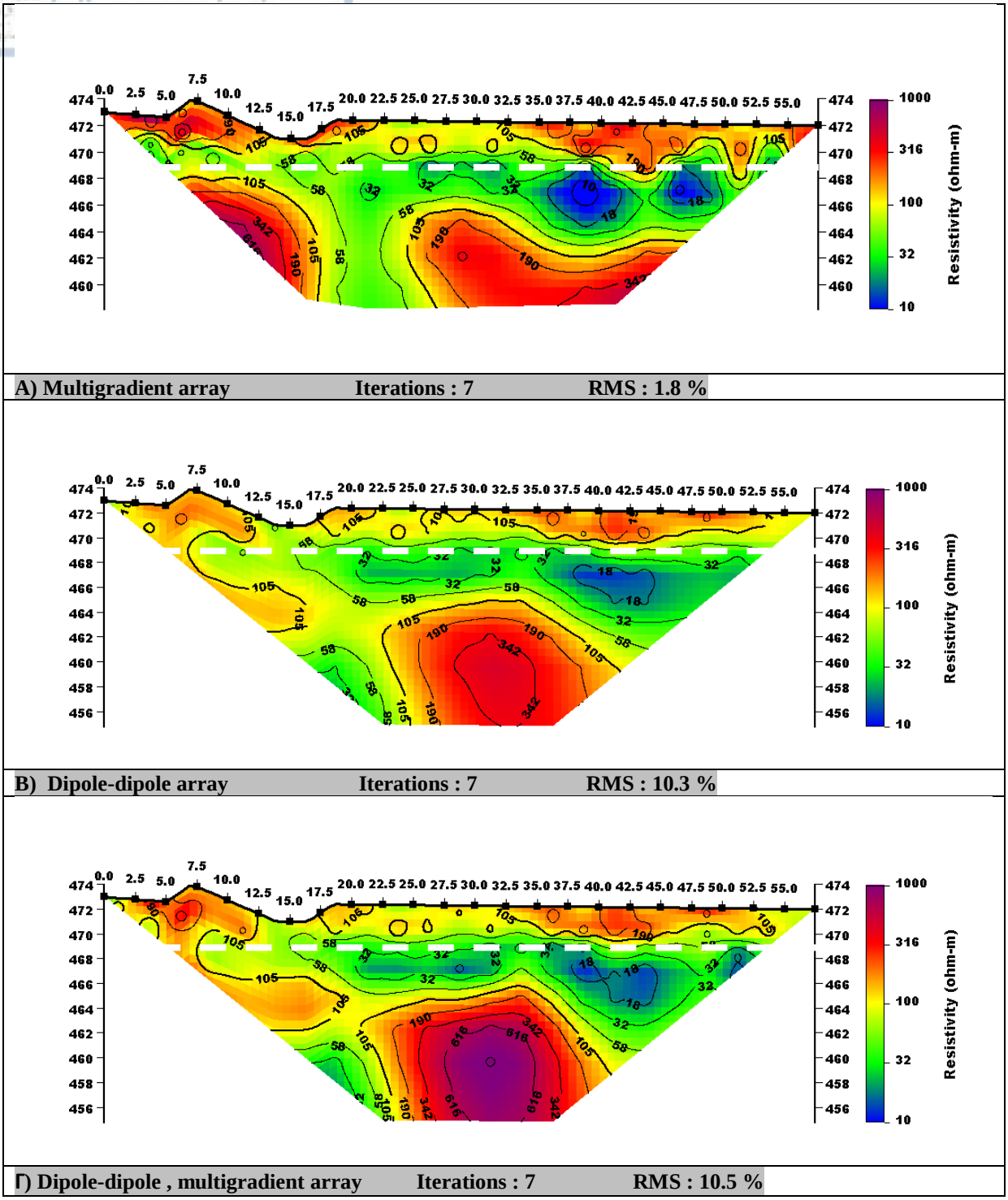
Εικόνα 4-2: Ρυθμός μεταβολής RMS για τις διατάξεις dipole-dipole, dipole-dipole-multigradient, multigradient .

Όπως φαίνεται από το παραπάνω γράφημα, η διάταξη multigradient, ενώ ξεκινάει την διαδικασία της αντιστροφής με μεγαλύτερο RMS από τις υπόλοιπες, καταλήγει να έχει στην επανάληψη 7 αρκετά μικρότερη τιμή. Παρατηρείται επίσης, ότι μέχρι την επανάληψη 3 της αντιστροφής, ο ρυθμός μεταβολής του RMS είναι πολύ μεγάλος και για τις τρεις διατάξεις. Ωστόσο, μετά από αυτήν και μέχρι το τέλος της διαδικασίας της αντιστροφής, ο ρυθμός μεταβολής είναι πολύ μικρότερος. Τέλος, η διπόλου-διπόλου φαίνεται στην επανάληψη 7 να παρουσιάζει τιμή RMS πολύ κοντά στην τιμή της συνδυαστικής διάταξης (περίπου 10 %), ενώ η πολλαπλής βαθμίδας όπως προαναφέρθηκε παρουσιάζει την μικρότερη τιμή (1.8 %). Σημειώνεται, ότι ο μικρότερες τιμές RMS που παρουσίασε ο τύπος αντιστροφής L1L2, είχε ως αποτέλεσμα να παρουσιαστούν στο συγκεκριμένο κεφάλαιο τα αποτελέσματα της κάθε διάταξης με τον συγκεκριμένο τύπο αντιστροφής.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

4.1.2 Κάνναβος 1 ERT2



Εικόνα 4-3: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 2 καννάβου 1.

Στην Εικόνα 4-3, παρουσιάζονται οι γεωηλεκτρικές τομές αντιστροφής για την κάθε διάταξη που αναγράφεται κάτω από το μοντέλο αντίστοιχα. Αρχικά, βλέποντας συνολικά τις τρεις τομές, παρατηρείται και εδώ μεγάλο εύρος αντιστατικών τιμών, από 10-1500 περίπου Ohm-m. Επιπλέον, το συγκεκριμένο εύρος τιμών ομαδοποιείται σε τρεις κατά βάθος ζώνες.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

- Από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι και το βάθος των 2 μ κυριαρχούν αντιστατικές τιμές 100-300 Ohm-m.

- Στην συνέχεια ακολουθεί ένα στρώμα πάχους 6 μ, στο οποίο διακρίνονται αρκετά χαμηλότερες αντιστάσεις σε σχέση με το υπερκείμενο. Οι τιμές εδώ κυμαίνονται περίπου στα 30-60 Ohm, ενώ σε πολλές περιοχές του στρώματος εντοπίζονται ακόμα μικρότερες αντιστάσεις με μπλε χρώμα, με τιμές 10-15 Ohm-m.

- Στην τρίτη και βαθύτερη ζώνη εντοπίζονται υψηλές αντιστατικές τιμές 600-1500 Ohm-m.

Όπως και στην τομή 1 που αναλύθηκε προηγουμένως, γίνεται και εδώ αντιληπτό το γεγονός, πως αν και οι ομοιότητες που παρουσιάζουν οι τρεις τομές μεταξύ τους είναι αρκετές, κυρίως για τα επιφανειακά στρώματα, ωστόσο οι διαφορές μεταξύ τους είναι εξίσου σημαντικές και περιγράφονται παρακάτω.

Η πολλαπλής βαθμίδας διάταξη για το επιφανειακό στρώμα παρουσιάζει σχετικά μικρές αντιστατικές τιμές. Τιμές στα 80-120 Ohm-m αντιστοιχούν στις κοιλάδιες αποθέσεις, οι οποίες αναφέρθηκν και στην τομή 1. Ωστόσο εντοπίζονται και δύο περιοχές με υψηλότερες αντιστατικές τιμές στα 150-300 Ohm-m. Η μια τοποθετείται από την αρχή της τομής μέχρι και την απόσταση των 12.5 μ , και μάλλον οι υψηλότερες τιμές οφείλονται είτε στο γεγονός του ότι βρίσκεται ακριβώς δίπλα από το αρχαιολογικό σκάμμα, με αποτέλεσμα το υλικό ανασκαφής να αυξάνει τοπικά τις αντιστάσεις, είτε πρόκειται για πιο αδρόκοκκα υλικά των κοιλάδιων αποθέσεων τα οποία αυξάνουν αντίστοιχα τις αντιστατικές τιμές. Μέσα στο σκάμμα τοποθετήθηκαν το έκτο, έβδομο και όγδοο ηλεκτρόδιο της τομής, όπως παρατηρείται και από την απότομη μεταβολή της τοπογραφίας στις τομές. Η επόμενη περιοχή, παρατηρείται από τα 35-45 μ της τομής. Και εδώ οι υψηλότερες τιμές πιθανολογείται ότι οφείλονται στο μικρού βάθους σκάμμα, το οποίο τέμνει κάθετα όλες τις τομές του καννάβου 1 όπως προαναφέρθηκε, το οποίο έγινε για την αποκάλυψη ενός αρχαιολογικού τείχους .

Το υποκείμενο στρώμα πάχους 6 μ παρουσιάζει αντιστάσεις που κυμαίνονται από 10-80 Ohm-m. Οι υψηλότερες αντιστατικές τιμές αντιστοιχούν στις κροκάλες με τα αδρόκοκκα υλικά, ενώ η παρουσία της άμμου ανάμεσα στις κροκάλες και τα αδρόκοκκα υλικά ελαττώνει τις αντιστατικές τιμές. Οι πολύ χαμηλές τιμές (10 Ohm-m) ξεκινούν από τα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

25 μ της τομής ενώ υψηλότερη συγκέντρωση παρατηρείται από τα 37 μ μέχρι και το τέλος της τομής. Το συγκεκριμένο αγώγιμο στρώμα βρίσκεται στο βάθος των 3 μ και έχει πάχος περίπου 4 μ. Η ύπαρξη αργιλικού και αργιλομμώδους υλικού πιθανότατα οφείλονται για τις συγκεκριμένες χαμηλές τιμές, ενώ δεν αποκλείεται να υπάρχει και εδώ υδραυλική επικοινωνία μεταξύ της λίμνης και της περιοχής μελέτης.

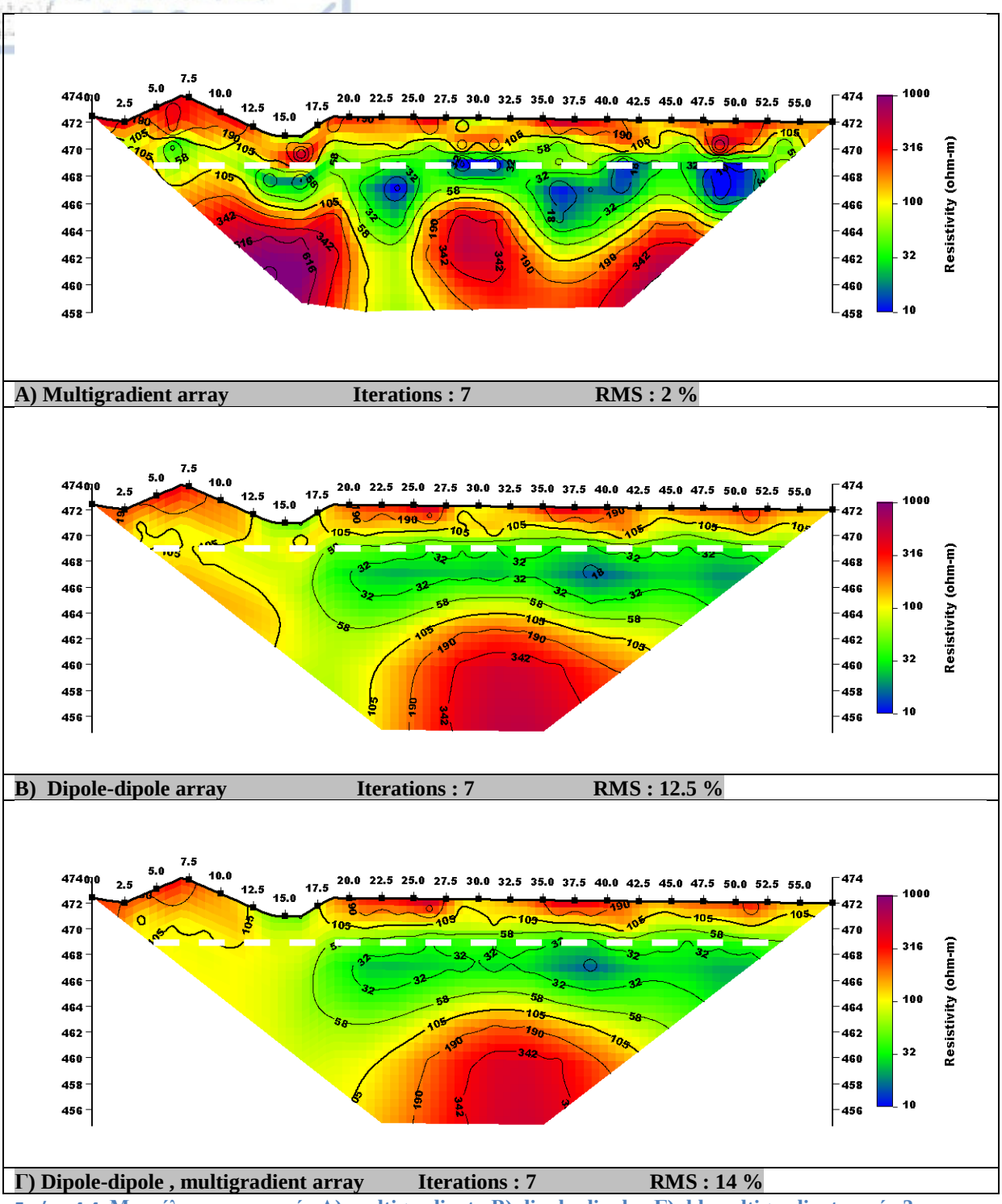
Αξίζει να σημειωθεί ότι, μέχρι και το απόλυτο υψόμετρο των 464 μ, οι τρεις διατάξεις παρουσιάζουν κοινά αποτελέσματα. Η κυριότερη διαφορά ίσως στο σημείο αυτό είναι η μεγαλύτερη συγκέντρωση των αργιλικών υλικών στην τομή της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας. Παρ΄ όλα αυτά, στην βαθύτερη περιοχή είναι ευδιάκριτη η διαφορά στον αντιστατικό σχηματισμό που εντοπίζει η πολλαπλής βαθμίδας σε σχέση με την διπόλου-διπόλου και την συνδυαστική διάταξη.

Πιο συγκεκριμένα, η διάταξη διπόλου-διπόλου παρουσιάζει μια ογκώδη μάζα υψηλής αντίστασης στο βάθος των 8 μ από τα 25-37 μ της τομής, η οποία αντιστοιχεί σε τέμαχος του ασβεστολιθικού υποβάθρου, λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι η αντιστατική τιμή είναι υψηλή αλλά όχι τόσο ώστε να αντιστοιχεί σε υγιές ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Την ίδια ογκώδη μάζα γεωμορφολογικά εντοπίζει και η συνδυαστική αντιστροφή, με υψηλότερες τιμές. Στο αριστερό τμήμα και των δύο τομών σε βάθος 6 μ από την αρχή μέχρι και τα 17 μ της τομής, διακρίνεται ένας επίσης αντιστατικός σχηματισμός με σαφώς αρκετά χαμηλότερη τιμή, ο οποίος φαίνεται να διακόπτεται στα 20 μ της τομής και μέχρι τον κύριο αντιστατικό σχηματισμό να σχηματίζεται ανάμεσα τους μια πολύ μικρή αγώγιμη ζώνη. Η συγκεκριμένη ζώνη θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως ρηξιγενής περιοχή πολύ μικρού μήκους ή τεκτονικά καταπονημένη περιοχή. Από την άλλη πλευρά, η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας εμφανίζει στο ίδιο βάθος δύο αντιστατικούς σχηματισμούς πιθανότατα τεμάχη του υποβάθρου. Από τα 17-25 μ της τομής εντοπίζεται κατακόρυφη ρηξιγενής ζώνη, της οποίας η παρουσία ήταν αμφιλεγόμενη στα αποτελέσματα των προηγούμενων δύο διατάξεων. Τέλος ο σχηματισμός υψηλής αντίστασης στα 27-40 μ της τομής μορφολογικά διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από τα άλλα δύο μοντέλα, ενώ παρουσιάζει και αρκετά πιο χαμηλή τιμή. Η ρηξιγενής ζώνη που αναγνωρίζει και εδώ η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας φαίνεται να είναι η ίδια που εντοπίστηκε και στην τομή 1 εφόσον βρισκόταν στην ίδια απόσταση, ωστόσο στην τομή 2 φαίνεται το πλάτος της να είναι αρκετά μεγαλύτερο και να φτάνει τα 8μ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

4.1.3 Κάνναβος 1 ERT3



Εικόνα 4-4: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 3 καννάβου 1 .

Η τομή 3 φαίνεται ότι παρουσιάζει αποτελέσματα παρόμοια με την τομή 2. Η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας και εδώ εντοπίζει την ρηξιγενή ζώνη που βρίσκεται στην απόσταση από τα 17-25 μ της τομής. Επίσης, από τα 32-40 μ εντοπίζεται και πάλι μια

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

ασθενέστερη ρηξιγενής ζώνη σαφώς μικρότερου πλάτους από την προηγούμενη. Από το βάθος των 4-6 μ, φαίνεται και πάλι το αγώγιμο στρώμα, όπως ακριβώς και στις προηγούμενες δύο τομές, με την διαφορά ότι εδώ εμφανίζεται όχι σαν ένα ενιαίο στρώμα αλλά περισσότερο με την μορφή διάσπαρτων αγώγιμων φακών.

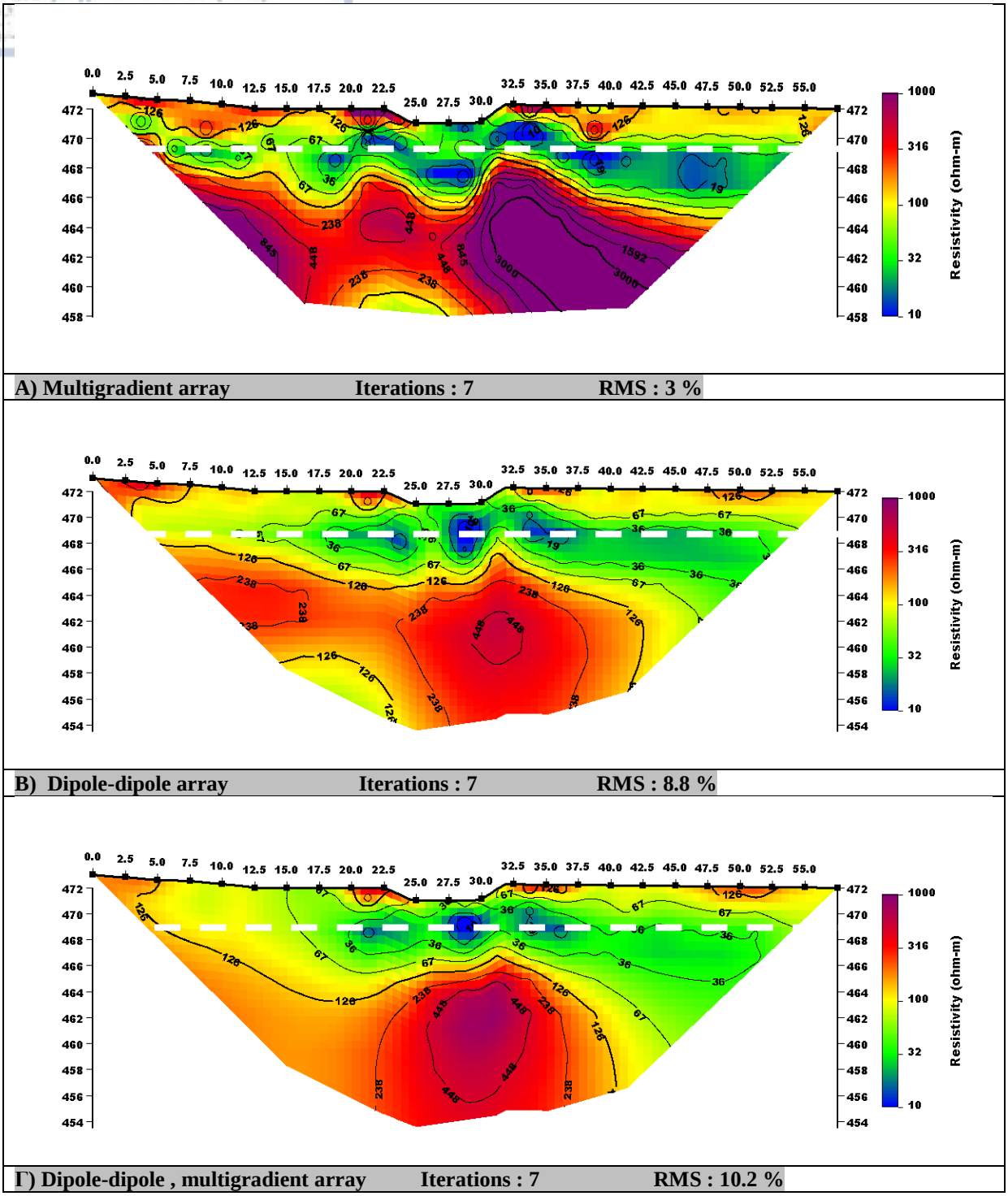
Αντίστοιχα, οι άλλες δύο διατάξεις και πάλι δεν εντοπίζουν τους πλευρικούς αντιστατικούς σχηματισμούς. Αντίθετα, παρουσιάζουν μια ογκώδη μάζα στο κέντρο της τομής, σε βάθος 8 μ δίνοντας την εικόνα ενός τεμάχους υποβάθρου το οποίο είναι πολύ λιγότερο καταπονημένο σε σχέση με την εικόνα που παρουσιάζεται στα αποτελέσματα της πολλαπλής βαθμίδας. Στην τομή αυτή, η συνδυαστική διάταξη απεικονίζει τον σχηματισμό υποβάθρου με περίπου 200 Ohm-m μικρότερη αντίσταση, γεγονός που φανερώνει ότι στην συγκεκριμένη θέση το υπόβαθρο έχει υποστεί περισσότερη τεκτονική καταπόνηση σε σχέση με την θέση της τομής 2. Εμφανή διαφορά παρουσιάζουν επίσης όσον αφορά την απεικόνιση του αγώγιμου στρώματος. Ενώ όπως προαναφέρθηκε, η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας εντοπίζει διάσπαρτους αγώγιμους φακούς με τιμές 10-15 Ohm-m σχετικά μεγάλου μεγέθους στο βάθος από 3-5 μ περίπου, οι δύο τελευταίες διατάξεις απεικονίζουν ένα στρώμα στο οποίο επικρατούν κροκάλες με χαλίκια και άμμο ενώ αντίθετα παρατηρούνται πολύ μικρές διάσπαρτες περιοχές με αντιστάσεις που φτάνουν τα 10 Ohm-m.

Η μέχρι τώρα ερμηνεία των τομών βρίσκεται σε συμφωνία. Και οι τρεις τομές παρουσιάζουν το επιφανειακό στρώμα με εύρος αντιστάσεων 100-300 Ohm-m. Το υποκείμενο στρώμα και στις τρεις τομές αποτελείται από κροκάλες, χαλίκια και διάσπαρτη άμμο με αντιστάσεις 30-80 Ohm-m. Το αγώγιμο στρώμα επίσης είναι κοινό και στις τρεις τομές, παρ' όλα αυτά δεν είναι ξεκάθαρο αν πρόκειται για καθαρό αργιλικό υλικό ή πρόκειται για κάποιον υδροφόρο ορίζοντα που ελαττώνει τις αντιστατικές τιμές. Όσον αφορά την τεκτονική, ξεκινώντας από την τομή 1 εντοπίστηκε μια μικρή ζώνη διάρρηξης από τα 17-20 μ της τομής, η οποία συνεχίστηκε και στην τομή 2 με μεγαλύτερο πάχος που φτάνει μέχρι και τα 8 μ όπως επίσης και στην τομή 3. Η δεύτερη ρηξιγενής ζώνη εντοπίστηκε στην τομή 1 στην απόσταση 32-40 μ της τομής, η οποία όμως φαίνεται να εξασθενεί στις τομές 2 και 3 και να εμφανίζεται περισσότερο σαν έντονα τεκτονικά καταπονισμένη ζώνη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

4.1.4 Κάνναβος 1 ERT4



A) Multigradient array Iterations : 7 RMS : 3 %

B) Dipole-dipole array Iterations : 7 RMS : 8.8 %

Γ) Dipole-dipole , multigradient array Iterations : 7 RMS : 10.2 %

Εικόνα 4-5: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 4 καννάβου 1 .

Η τομή 4 βρίσκεται επίσης σε συμφωνία με τις προηγούμενες τομές, κυρίως με την τομή 3. Οι τρεις διατάξεις παρουσιάζουν και εδώ σημαντικές διαφορές όσον αφορά την απεικόνιση του τεκτονισμένου ασβεστολιθικού υποβάθρου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Στην συγκεκριμένη τομή, η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας απεικονίζει τα τεμάχη του ασβεστολιθικού υποβάθρου με αρκετά μεγαλύτερες αντιστατικές τομές σε σχέση με τα αποτελέσματα των τριών προηγούμενων τομών που εξετάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο αντιστατικός σχηματισμός που βρίσκεται στην απόσταση από τα 35-40 μ παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες από 3000 Ohm-m. Παράλληλα, το βάθος στο οποίο εντοπίζεται είναι σημαντικά πιο μικρό, αφού παρατηρώντας τις προηγούμενες τομές εντοπίζεται περίπου σε 6-7 περίπου μέτρα, ενώ στην τομή 4 εντοπίζεται στο βάθος των 4 μ . Και εδώ, από την αρχή της τομής μέχρι και τα 17 μ, στο βάθος των 4 μ εντοπίζεται ένα ακόμα αντιστατικό τέμαχος του ασβεστολιθικού υποβάθρου με αντιστατικές τιμές οι οποίες φτάνουν τα 1000 Ohm-m. Η ρηξιγενής ζώνη από τα 17-25 μ που εντοπίστηκε στις προηγούμενες τομές δεν είναι τόσο ευδιάκριτη εδώ, καθώς φαίνεται να παρεμβάλλεται και ένας σχηματισμός με αντιστάσεις περίπου στα 500 Ohm-m.

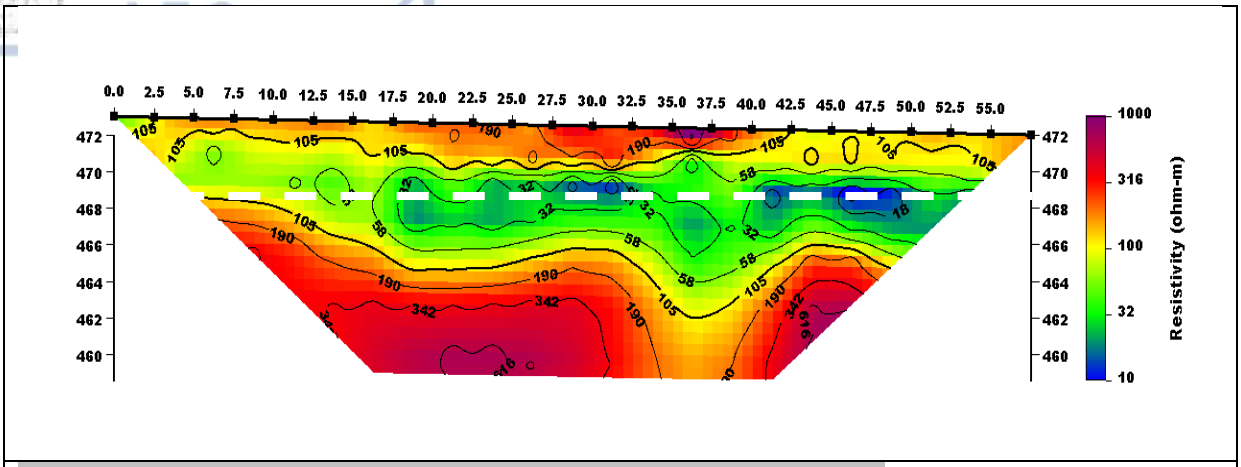
Συμπερασματικά, η τομή 4 παρουσιάζει και αυτή πολλά κοινά σημεία με τις προηγούμενες τομές, κυρίως πάλι στους επιφανειακούς σχηματισμούς οι οποίοι βρίσκονται μέχρι και το βάθος των 4μ. Αντίθετα, οι αντιστατικοί σχηματισμοί στα μεγαλύτερα βάθη, παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερες τιμές και αν ληφθεί υπόψιν το γεγονός ότι και η ρηξιγενής ζώνη φαίνεται αρκετά πιο εξασθενημένη, η περιοχή που απεικονίζεται από την συγκεκριμένη τομή ίσως είναι και η λιγότερο τεκτονισμένη σε σχέση με τις προηγούμενες.

Οι άλλες δύο διατάξεις, παρουσιάζουν μεταξύ τους αλλά και με την εικόνα της τομής 3 παρόμοια αποτελέσματα. Η μόνη διαφορά που αξίζει να σημειωθεί, είναι το γεγονός πως η διάταξη διπόλου-διπόλου εντοπίζει τον αντιστατικό σχηματισμό που βρίσκεται από την αρχή ως και τα 17 μ της τομής σε βάθος 4 μ, ενώ η συνδυαστική διάταξη δεν μπορεί να τον εντοπίσει. Τέλος η διάταξη διπόλου-διπόλου στην συγκεκριμένη τομή φαίνεται να παρουσιάζει το μικρότερο RMS σε σχέση με τις προηγούμενες τομές και όσον αφορά την ίδια διάταξη.

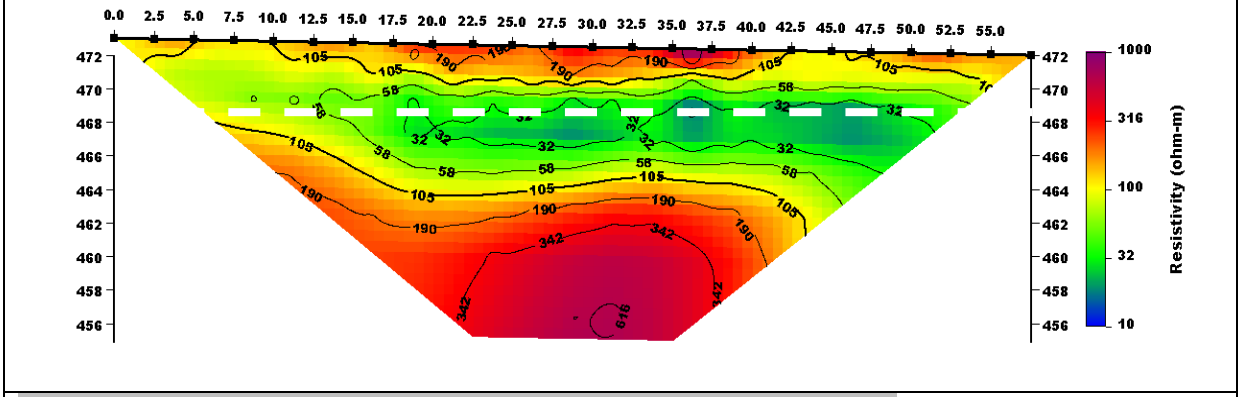
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

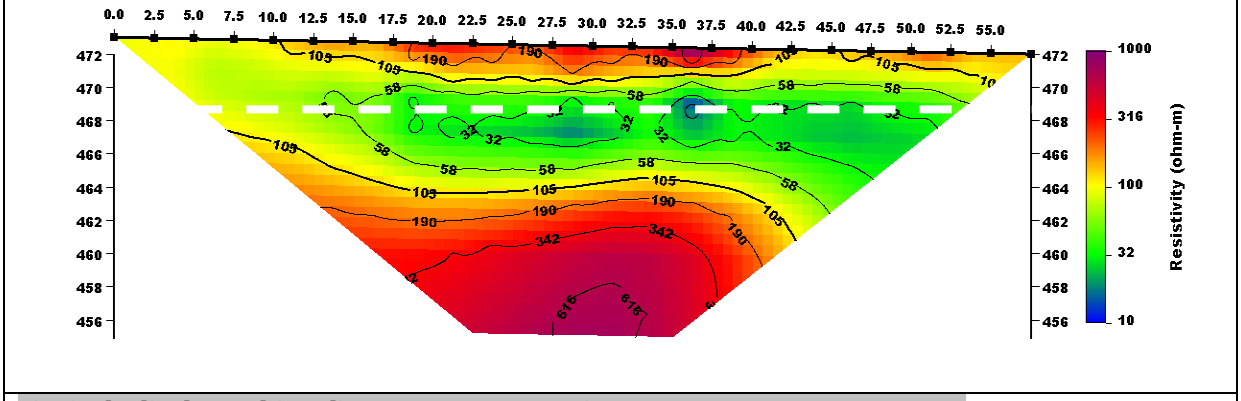
4.1.5 Κάνναβος 1 ERT5



A) Multigradient array Iterations : 7 RMS : 1.8 %



B) Dipole-dipole array Iterations : 7 RMS : 10.1 %



Γ) Dipole-dipole , multigradient array Iterations : 7 RMS : 10.4 %

Εικόνα 4-6: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 5 καννάβου 1 .

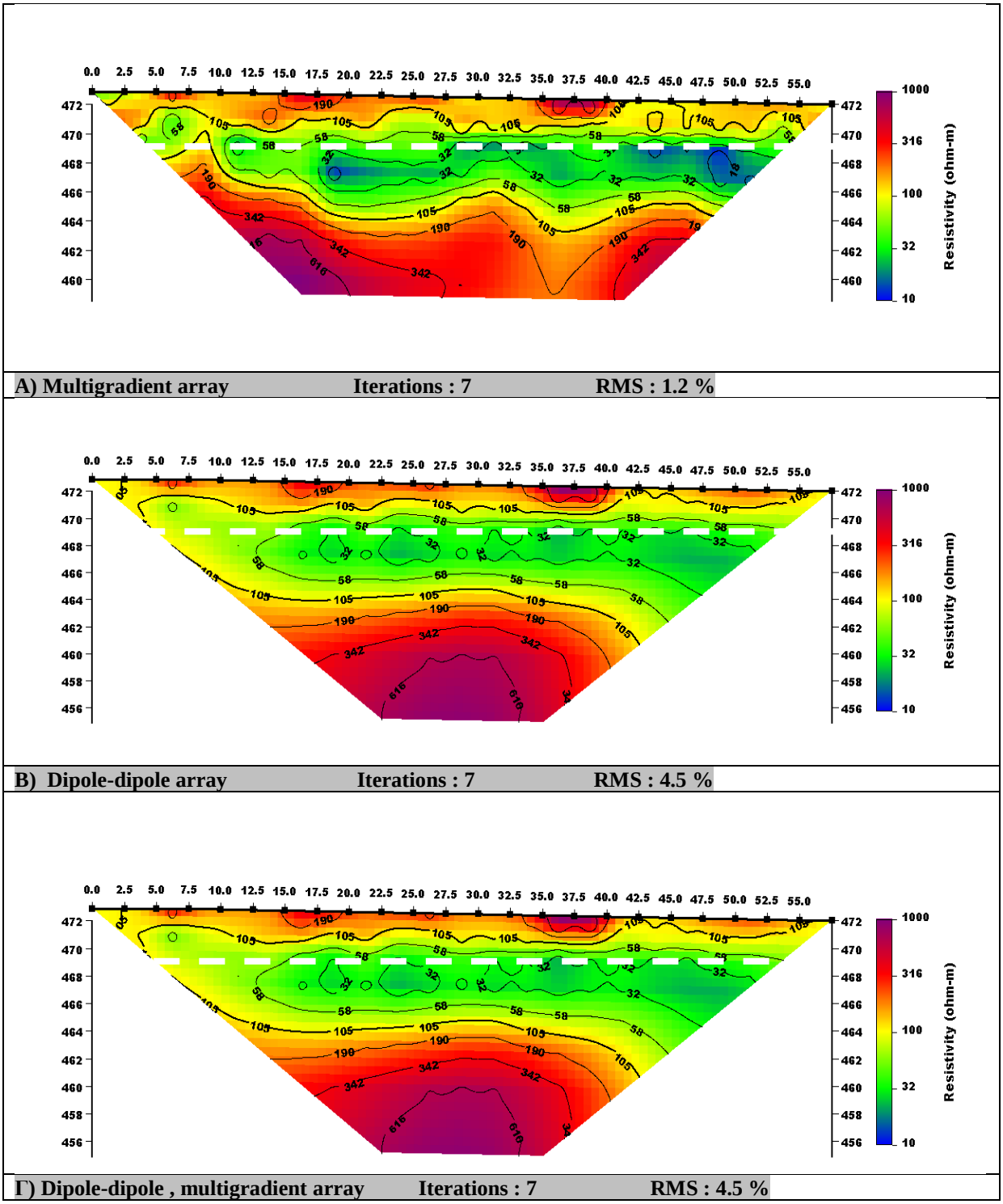
Και οι τρεις διατάξεις παρουσιάζουν παρόμοια αποτελέσματα με τις τομές που αναλύθηκαν παραπάνω. Αξίζει να σημειωθεί πως η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας εντοπίζει την ρηξιγενή ζώνη από τα 35-40 μ της τομής, που είχε εντοπιστεί πολύ καθαρά από την ίδια

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

διάταξη στις τομές 1 και 3. Ενδιαφέρον είναι επίσης το σημείο, ότι ενώ η τομή 4 φάνηκε να παρουσιάζει πιο υγιές υπόβαθρο το οποίο δεν έχει υποστεί τόσο μεγάλη τεκτονική καταπόνηση, στην τομή 5 φαίνεται και πάλι καθαρά μια ρηξιγενής ζώνη πάχους 6 μ, ενώ αναμενόταν να απεικονιστούν πιο συμπαγείς σχηματισμοί.

4.1.6 Κάνναβος 1 ERT6



A) Multigradient array Iterations : 7 RMS : 1.2 %

B) Dipole-dipole array Iterations : 7 RMS : 4.5 %

Γ) Dipole-dipole , multigradient array Iterations : 7 RMS : 4.5 %

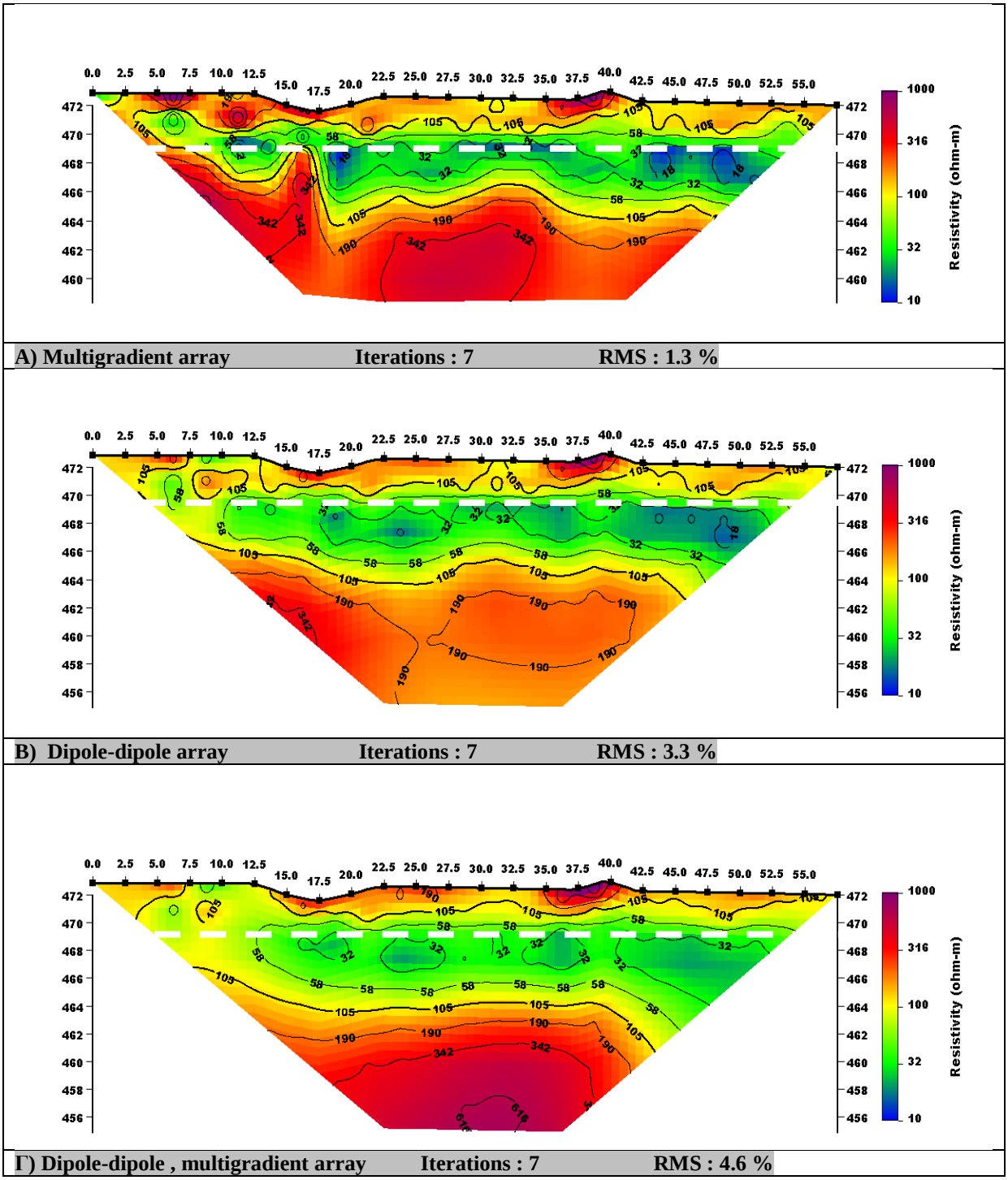
Εικόνα 4-7: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 6 καννάβου 1 .

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Οι τομές βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία με τα αποτελέσματα της τομής 5. Η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας εντοπίζει και εδώ την ρηξιγενή ζώνη από τα 35-40 μ της τομής, όχι τόσο καθαρά όσο η τομή 5. Η διάταξη διπόλου-διπόλου όπως παρατηρείται παρουσιάζει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα με την συνδυαστική διάταξη, αλλά και ίδιο RMS.

4.1.7 Κάνναβος 1 ERT7



Εικόνα 4-8: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 7 καννάβου 1 .

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Στην τομή 7 φαίνεται να μην εντοπίζονται τόσο καθαρά οι ρηξιγενείς ζώνες που εντοπίστηκαν στις προηγούμενες τομές. Ωστόσο, το γεωλογικό υπόβαθρο φαίνεται και εδώ ότι είναι έντονα τεκτονισμένο με μορφή διακλάσεων. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός πως παρόλο που οι ρηξιγενείς ζώνες δεν είναι τόσο εμφανείς, τα αποτελέσματα της διάταξης διπόλου-διπόλου απεικονίζουν το γεωλογικό υπόβαθρο με πολύ χαμηλές τιμές, οι οποίες δεν ξεπερνούν τα 300 Ohm-m. Είναι οι χαμηλότερες τιμές μάλιστα που εντοπίζει για το συγκεκριμένο βάθος η διάταξη αυτή συνολικά για όλες τις τομές.

4.1.8 Συνολική ερμηνεία για τον κάνναβο 1

Γενικά σε όλη την έκταση του καννάβου 1, παρατηρήθηκε σχεδόν σε όλες τις τομές το ίδιο εύρος αντιστατικών τιμών. Τα αποτελέσματα όλων δείχνουν μια περιοχή έντονα τεκτονισμένη με ζώνες διάρρηξης μεγάλου σχετικά πλάτους και διακλάσεις οι οποίες μειώνουν τις αντιστατικές τιμές του υποβάθρου. Το ενδιάμεσο αγώγιμο στρώμα ήταν εμφανές σε όλες τις τομές, το οποίο είναι αποτέλεσμα ύπαρξης αργιλικού υλικού ή πολύ πιθανότατα λόγω υδραυλικής επικοινωνίας της περιοχής μελέτης με την λίμνη των Ιωαννίνων. Μεγαλύτερη πιθανότητα ωστόσο υδραυλικής επικοινωνίας παρουσιάζεται στην τομή 1, καθώς η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας εντοπίζει πολύ χαμηλές αντιστατικές τιμές μέσα στην ρηξιγενή ζώνη.

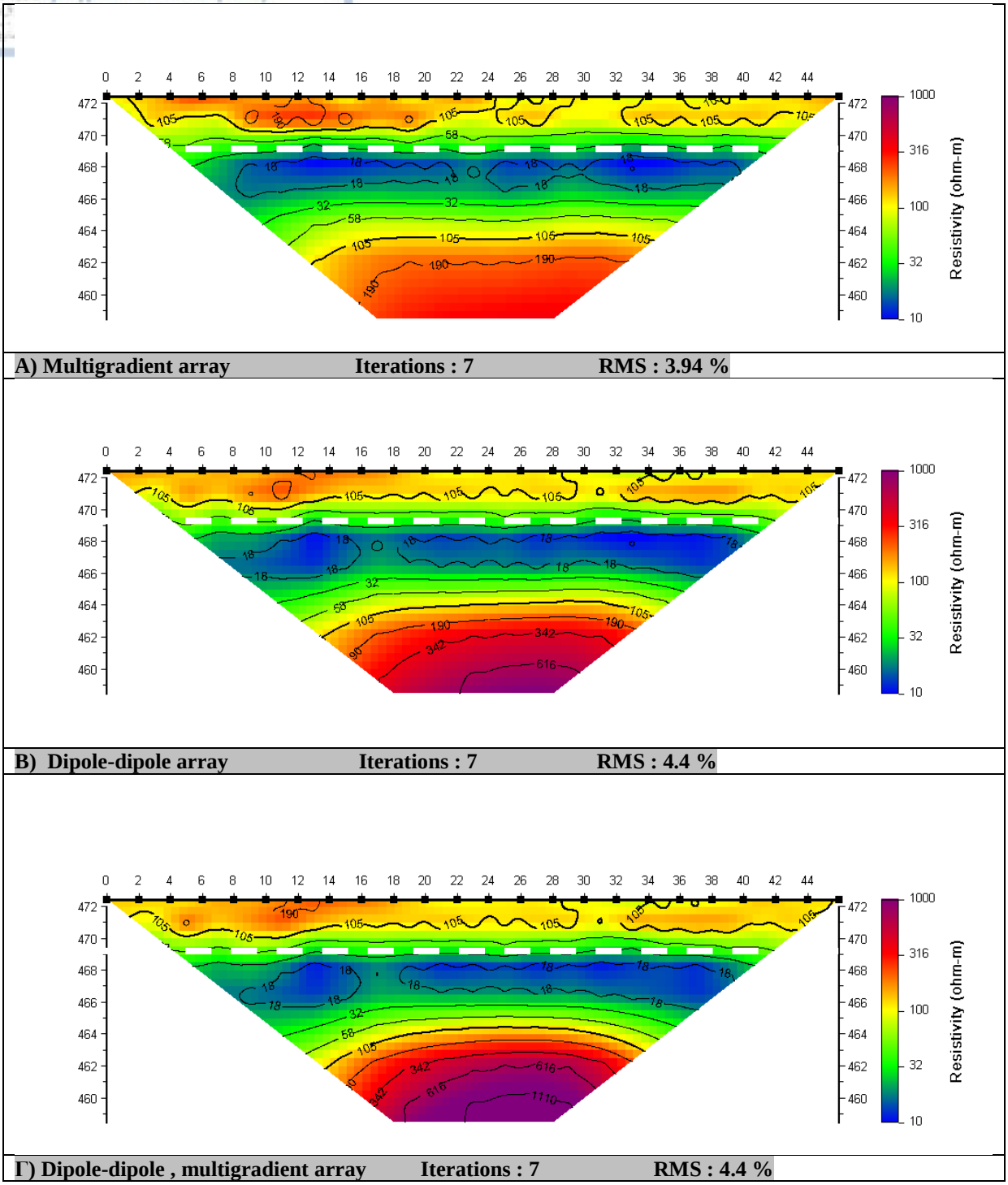
Όσον αφορά την τεκτονική της περιοχής επισημαίνονται τα εξής:

- Η ρηξιγενής ζώνη που εντοπίζεται από τα 17-25 μ της τομής, φαίνεται να ξεκινά απο την τομή 1, με μικρότερο όμως πλάτος το οποίο δεν ξεπερνά τα 3 μ. Ωστόσο, στην ίδια θέση της τομής 2 παρατηρείται πολύ πιο καθαρά και με μεγαλύτερο πλάτος, το οποίο φτάνει τα 7 μ. Με τον ίδιο τρόπο απεικονίζεται και στην τομή 3, ενώ στην τομή 4 φαίνεται να έχει εξασθενήσει. Στις υπόλοιπες τομές δεν εντοπίζεται, τουλάχιστον σε μεγάλο βαθμό.
- Η δεύτερη ρηξιγενής ζώνη φαίνεται να αναπτύσσεται στην τομή 1 στην απόσταση από 35-40 μ της τομής. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, πως η συγκεκριμένη ζώνη εμφανίζεται έπειτα στις τομές 3,5 και 6, ενώ δεν εντοπίζεται στις τομές 2 και 4.
- Η περιοχή που αντιστοιχεί στις τομές 4, 5 και 6 φαίνεται να είναι και η λιγότερο επηρεασμένη από την τεκτονική, όπως παρατηρείται και από τις υψηλότερες τιμές των σχηματισμών στα μεγαλύτερα βάθη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

4.1.9 Κάνναβος 2 ERT1



Εικόνα 4-9: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 1 καννάβου 2 .

Η τομή 1 του καννάβου 2 φαίνεται να παρουσιάζει μεγάλο εύρος αντιστάσεων όπως ακριβώς και τα αποτελέσματα του καννάβου 1. Ωστόσο, οι τομές φαίνονται αρκετά πιο ομοιογενείς σε σχέση με τις προηγούμενες που αναλύθηκαν. Παρατηρείται επίσης η

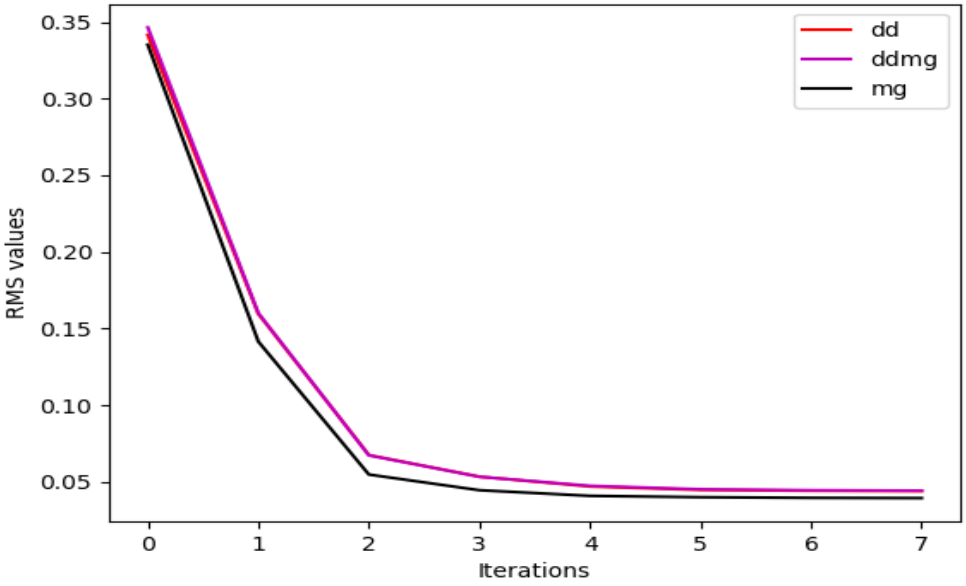
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

ομοιότητα στα αποτελέσματα των τριών διατάξεων αλλά και στις τιμές του RMS, το οποίο φαίνεται να είναι σχετικά χαμηλό (4 %).

Όσον αφορά την γεωλογική περιγραφή των παραπάνω τομών, φαίνεται να αποτελούνται από τρία αντιστατικά στρώματα στα οποία εντοπίζονται αντιστάσεις 100-200, 15-20 και 600-100 Ohm-m αντίστοιχα.

Το επιφανειακό στρώμα φαίνεται να είναι παρόμοιο με εκείνο που εντοπίστηκε στις τομές του καννάβου 1. Και εδώ το πάχος του είναι 2 μ, ενώ κατά τόπους παρατηρούνται περιοχές με υψηλότερες αντιστάσεις. Παρόμοιο αντιστατικό στρώμα συναντάται στον βαθύτερο ορίζοντα, από το επίπεδο στάθμης της λίμνης μέχρι και το απόλυτο υψόμετρο των 465 μ. Η παρουσία του αγώγιμου στρώματος φαίνεται να είναι πιο έντονη στον κάνναβο 2, καθώς εμφανίζεται σαν μια οριζόντια επιμήκης ζώνη που καταλαμβάνει μεγάλο τμήμα της τομής. Η παρουσία αργιλικού υλικού και η πιθανή υδραυλική επικοινωνία συναντάται και εδώ. Το συγκεκριμένο στρώμα θα μπορούσε να θεωρηθεί ωστόσο ως η συνέχεια της αγώγιμης ζώνης που παρατηρήθηκε στην τομή 1 του καννάβου 1 απο τα 35-47 μ. Άλλωστε, όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, ο κάνναβος 2 αναπτύχθηκε κάθετα στον κάνναβο 1. Για τον λόγο αυτό, πολλές περιοχές διασταύρωσης των τομών μεταξύ των δύο, θα εμφανίζουν κοινά αποτελέσματα και ίσως είναι ένας καλός τρόπος επαλήθευσης αυτών. Σε αντίθεση με τον κάνναβο 1, το υπόβαθρο της περιοχής τουλάχιστον μορφολογικά παρουσιάζεται ίδιο και από τις τρεις διατάξεις. Οι τιμές του υποβάθρου φαίνεται να είναι μικρότερες στην τομή της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας σε σχέση με τις άλλες δύο. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στο γεγονός πως η διακριτική ικανότητα αυτής φτάνει σε μικρότερο βάθος από εκείνο της διπόλου-διπόλου.

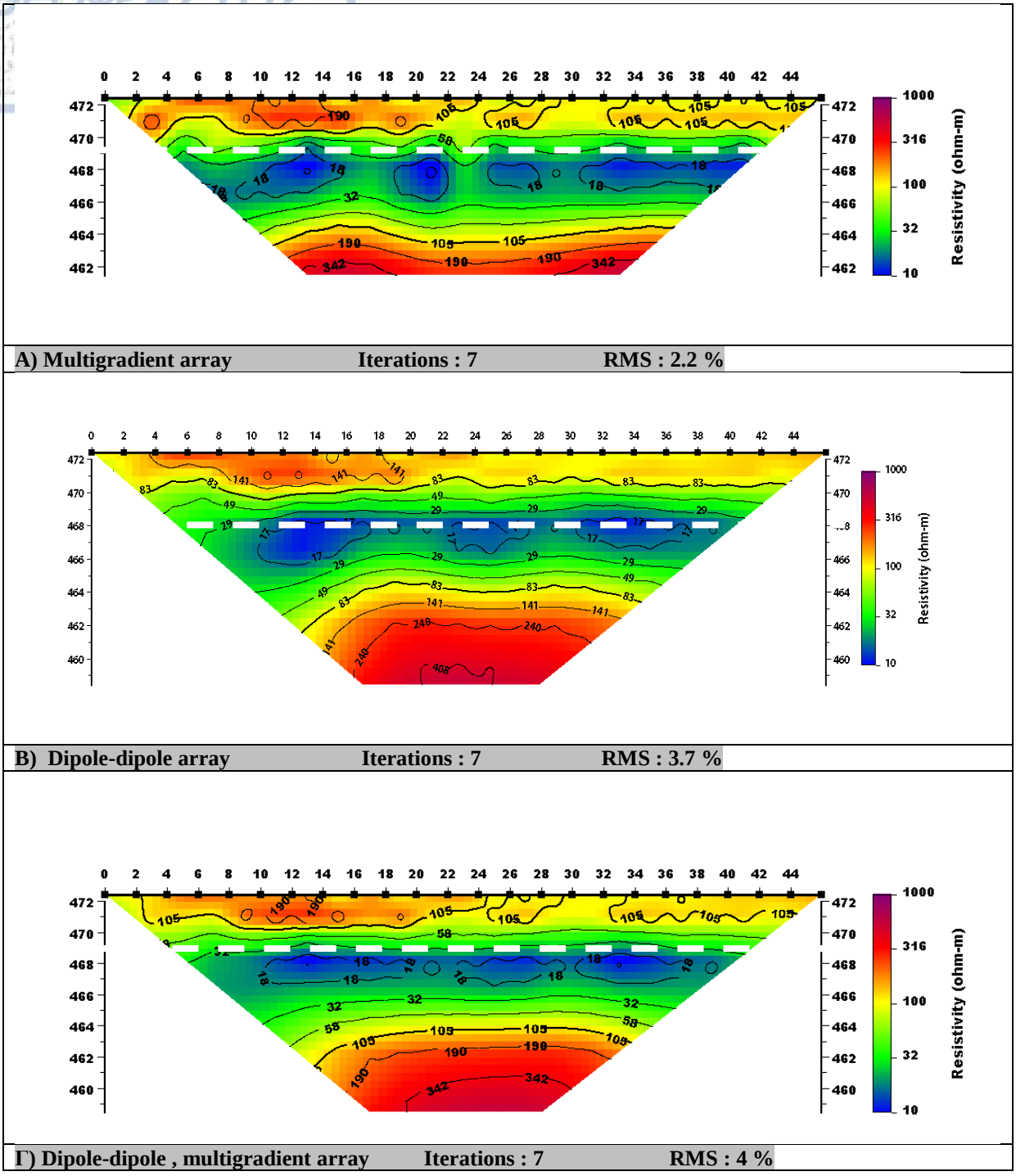


Εικόνα 4-10: Ρυθμός μεταβολής του RMS για τις διατάξεις multigradient, dipole-dipole, dipole-dipole-multigradient της τομής 1 του καννάβου 2 για 7 επαναλήψεις αντιστροφής.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ

4.1.10 Κάνναβος 2 ERT2



Εικόνα 4-11: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 2 καννάβου 2.

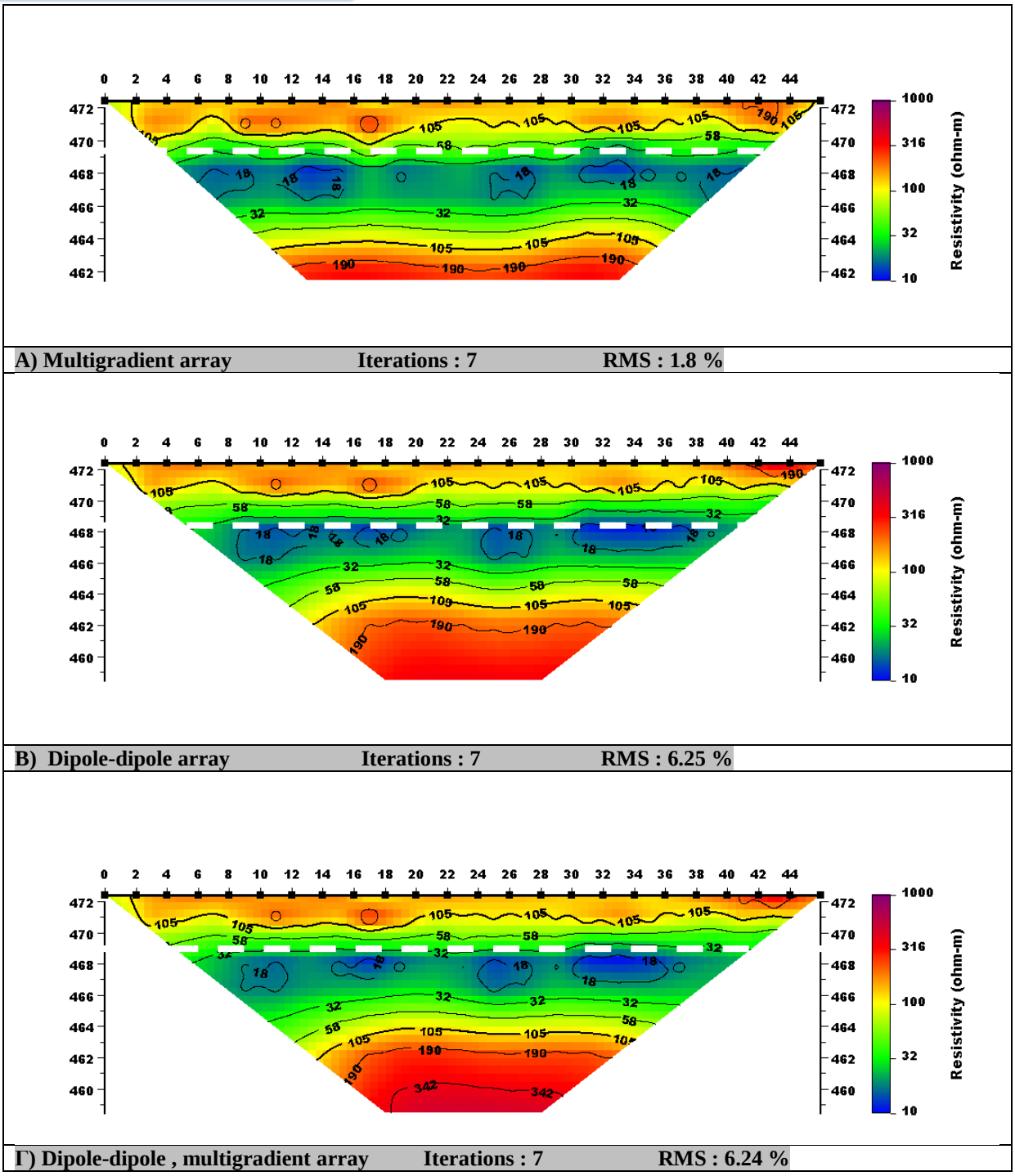
Τα αποτελέσματα της τομής 2 συμφωνούν με εκείνα της προηγούμενης τομής. Παρατηρείται πως η συνδυαστική διάταξη και η διπόλου-διπόλου εντοπίζει σχηματισμούς με διακριτική ικανότητα μεγαλύτερου βάθους σε σχέση με την multigradient. Ο σχηματισμός του υποβάθρου, εντοπίζεται και στις τρεις τομές στο απόλυτο υψόμετρο των 463 μ. Ωστόσο, η πολλαπλής βαθμίδας καθώς και η διάταξη διπόλου-διπόλου φαίνεται να μην το απεικονίζουν ως συμπαγές, αλλά κατακερματισμένο και τεκτονικά καταπονημένο, κρίνοντας

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

από τις αντιστατικές τιμές. Παρόλα αυτά, καμία από τις τρεις διατάξεις δεν φαίνεται να εντοπίζει κάποια ρηξιγενή ζώνη.

4.1.11 Κάνναβος 2 ERT3



Εικόνα 4-12: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 3 κανάβου 2.

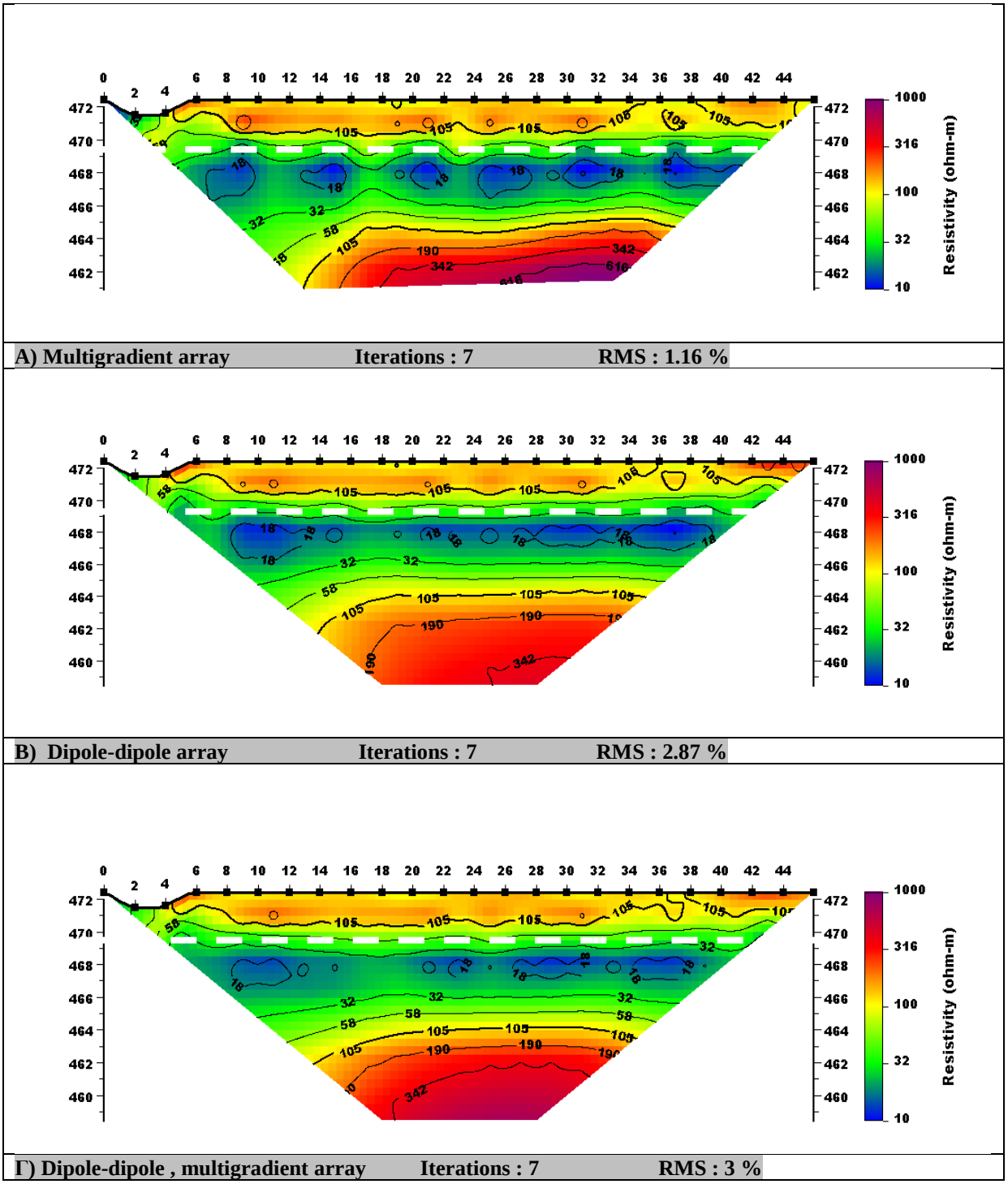
Τα αποτελέσματα των τριών διατάξεων βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία με τα αποτελέσματα της τομής 2. Το μοναδικό ίσως σημείο το οποίο θα πρέπει να αναφερθεί, είναι οι υψηλότερες τιμές RMS που παρουσιάζουν οι διατάξεις διπόλου-διπόλου καθώς και η συνδυαστική σε σχέση με την προηγούμενη τομή. Τέλος, όπως φαίνεται και από τις δύο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

πρώτες διατάξεις, οι χαμηλές αντιστατικές τιμές που εντοπίζονται στο απόλυτο υψόμετρο των 463 μ δηλώνουν μια περιοχή περισσότερο τεκτονισμένη από εκείνη της τομής 2.

4.1.12 Κάνναβος 2 ERT4



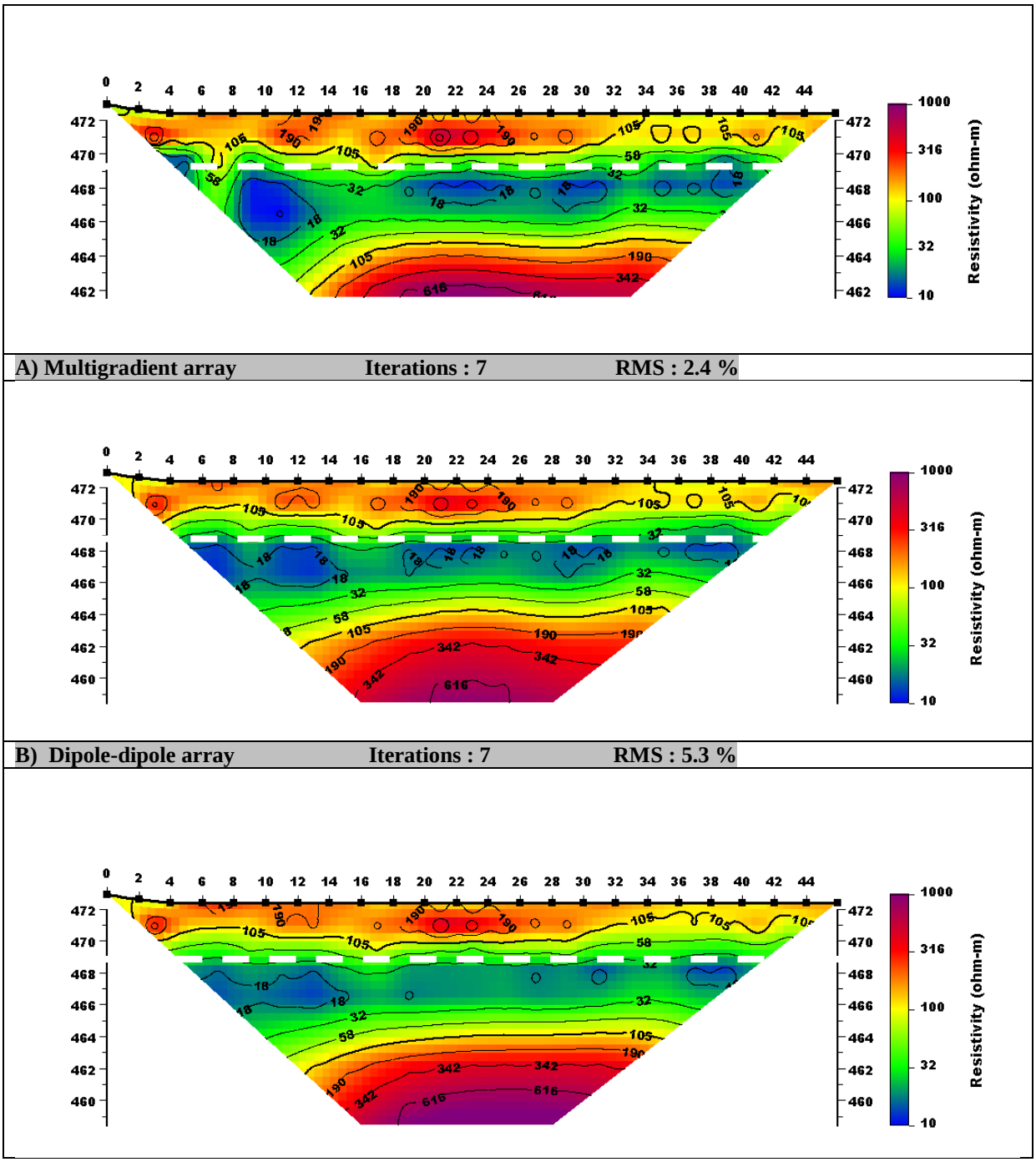
Εικόνα 4-13: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 4 καννάβου 2.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Στην τομή 4, παρατηρούνται παρόμοιες αντιστατικές τιμές, οι οποίες φαίνεται να σχηματίζουν τρία ξεχωριστά στρώματα. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας εντοπίζουν μια μικρή κλίση του αντιστατικού σχηματισμού προς την αριστερή πλευρά της εικόνας στο βάθος των 9 μ. Οι αντιστάσεις του συγκεκριμένου σχηματισμού φαίνοται να είναι μεγαλύτερες από τα 26-36 μ της τομής, ενώ χαμηλότερες αντιστάσεις παρατηρούνται από τα 14-24 μ στο ίδιο βάθος. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζονται και στην τομή 5 παρακάτω.

4.1.13 Κάνναβος 2 ERT5



Εικόνα 4-14: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 2 καννάβου 2.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

4.1.14 Συνολική ερμηνεία για τον κάνναβο 2

Όπως διαπιστώθηκε από τις παραπάνω τομές, ο κάνναβος 2 παρουσιάζει αρκετά πιο απλή υπεδάφια γεωλογική δομή, σε σχέση με τον κάνναβο 1. Έτσι , ανακεφαλαιώνοντας για αυτό :

Και στις πέντε τομές που παρουσιάστηκαν, εντοπίζεται ένα επιφανειακό στρώμα πάχους περίπου 2 μ με αντιστάσεις οι οποίες φτάνουν τα 200 Ohm-m. Το στρώμα αυτό φαίνεται να είναι το ίδιο που παρατηρήθηκε στις τομές του καννάβου 1 και ερμηνεύτηκε ως κοιλάδιες αποθέσεις με κατά τόπους παρουσία πιο αδρόκοκκων υλικών πχ. κροκάλες.

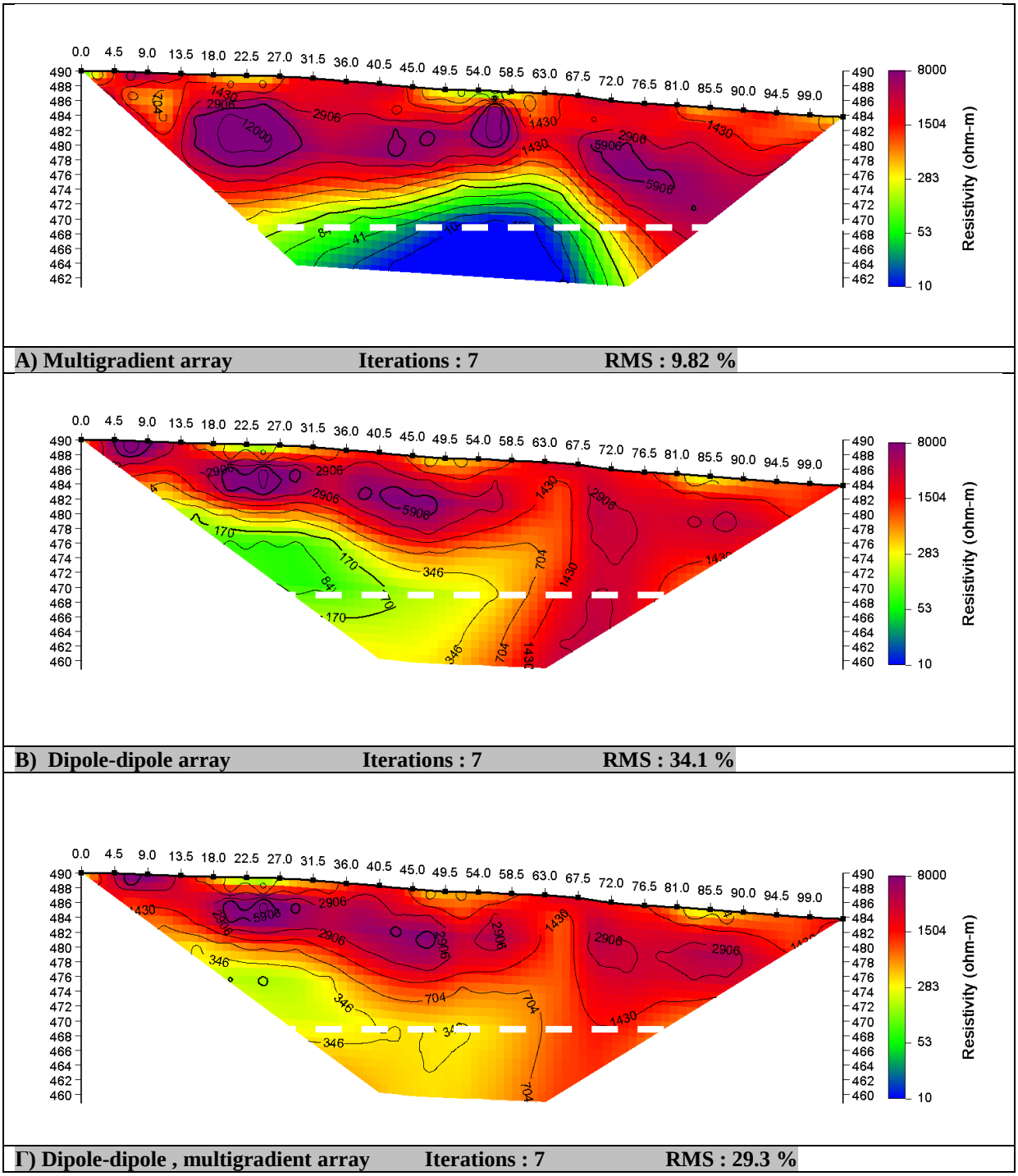
Στην συνέχεια, από το βάθος των 3-6 μ παρατηρήθηκε ένα επίσης αγώγιμο στρώμα όπως και στον κάνναβο 1, ωστόσο εδώ εντοπίζεται ως ένα ενιαίο επιμήκες στρώμα το οποίο καλύπτει όλη την έκταση της τομής στο συγκεκριμένο βάθος και όχι σαν διάσπαρτοι αγώγιμοι φακοί, σε σχέση με τα αποτελέσματα της τομής 1. Το γεγονός όμως αυτό, αποτελεί ίσως ένδειξη πως υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα το συγκεκριμένο στρώμα να οφείλεται σε αυξημένη παρουσία αργιλικού υλικού. Εαν αναπτυσσόταν υδραυλική επικοινωνία, θα ήταν πιο λογικό η παρουσία του αγώγιμου στρώματος να είναι πιο έντονη στον κάνναβο 1. Οι αντιστάσεις που παρατηρήθηκαν για τον σχηματισμό μεγαλύτερου βάθους είναι παρόμοιες με τις τιμές που εντοπίζονται και στον κάνναβο 1. Παρόλα αυτά, σε καμία από τις πέντε τομές του καννάβου 2 δεν παρατηρείται κάποια ρηξιγενής ζώνη, παρά μόνο μια ελαφριά κλίση του ασβεστολιθικού σχηματισμού, η οποία φαίνεται στις τομές 4 και 5.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

4.2 Περιοχή μελέτης Β

4.2.1 Κάνναβος 3 ERT1



Εικόνα 4-15: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 1 καννάβου 3.

Τα αποτελέσματα της τομής 1 του καννάβου 3 φαίνεται να παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερο εύρος αντιστάσεων σε σχέση με την περιοχή μελέτης Α. Αυτό ωστόσο είναι λογικό, εφόσον σε όλη την περιοχή μελέτης Β, όπως διαπιστώθηκε και στο ύπαιθρο, ο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

ασβεστολιθικός σχηματισμός εντοπιζόταν επιφανειακά. Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται και στις τομές Α-Γ, οι τρεις διατάξεις παρουσιάζουν αποτελέσματα με ευδιάκριτες διαφορές.

Πιο συγκεκριμένα, η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας φαίνεται να εντοπίζει από την αρχή μέχρι και το τέλος της τομής ένα αντιστατικό στρώμα πάχους περίπου 15 μ και εύρος αντιστατικών τιμών 2000-12000 Ohm-m. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στον ασβεστολιθικό σχηματισμό της περιοχής, ωστόσο διακρίνεται η τεκτονική καταπόνηση, αφού αυτός φαίνεται σε ορισμένες περιοχές (14-30 μ, 54-58 μ, 72-99 μ) να παρουσιάζει αρκετά υψηλές τιμές, ενώ στα οι οποίες σε ορισμένες περιοχές φτάνουν τα 20 Ohm-m. Οι τιμές αυτές ίσως να οφείλονται στην έντονη τεκτονική καταπόνηση του ασβεστολίθου, η οποία έχει μειώσει κατά πολύ τις αντιστάσεις στην συγκεκριμένη περιοχή. Όπως παρατηρείται και εδώ, η λευκή γραμμή αντιστοιχεί στην στάθμη της λίμνης (απόλυτο υψόμετρο 469 μ). Επομένως, πιθανότατα η κατακερματισμένη περιοχή έχει επηρεαστεί και από την υδραυλική ενδιάμεσα τμήματα και για το ίδιο βάθος συναντώνται αντιστάσεις μέχρι και 2000 Ohm-m. Επιφανειακά, συναντώνται δύο περιοχές (18-27 μ) και (45-58 μ) πολύ μικρού πάχους, οι οποίες φαίνεται να έχουν αρκετά χαμηλότερες αντιστάσεις, περίπου 120-200 Ohm-m και αντιστοιχούν πιθανότατα σε κατά τόπους παρουσία χαλαρού εδαφικού καλύμματος. Στο απόλυτο υψόμετρο των 472 μ, εντοπίζεται μια μεγάλη περιοχή από τα 31-80 μ της τομής με σαφώς πολύ χαμηλότερες αντιστάσεις επικοινωνία η οποία αναπτύσσεται με την λίμνη, και ο συνδυασμός και των δύο οφείλεται για τις πολύ χαμηλές αντιστατικές τιμές στο συγκεκριμένο βάθος.

Η διάταξη διπόλου-διπόλου, φαίνεται να εντοπίζει και αυτή από την αρχή μέχρι και το τέλος της τομής ένα αντιστατικό στρώμα παρόμοιων τιμών. Ωστόσο, φαίνεται το πάχος του συγκεκριμένου στρώματος να εμφανίζεται εδώ μικρότερο (10 μ) αλλά και με χαμηλότερες αντιστατικές τιμές. Μια επίσης αξιοσημείωτη διαφορά με την προηγούμενη διάταξη, είναι ότι στην απόσταση των 67.5 μ, εντοπίζεται πολύ καθαρά μια κατακόρυφη ρηξιγενής ζώνη η οποία φτάνει μέχρι το μεγαλύτερο βάθος της τομής . Ωστόσο, στην συγκεκριμένη τομή ο αγώγιμος σχηματισμός που εντοπίστηκε στην τομή Α, εντοπίζεται και εδώ χωρίς όμως να αποδίδεται σε αυτόν αντιστατική τιμή χαμηλότερη από τα 60 Ohm-m, έναντι των 20 Ohm-m που ήταν πριν.

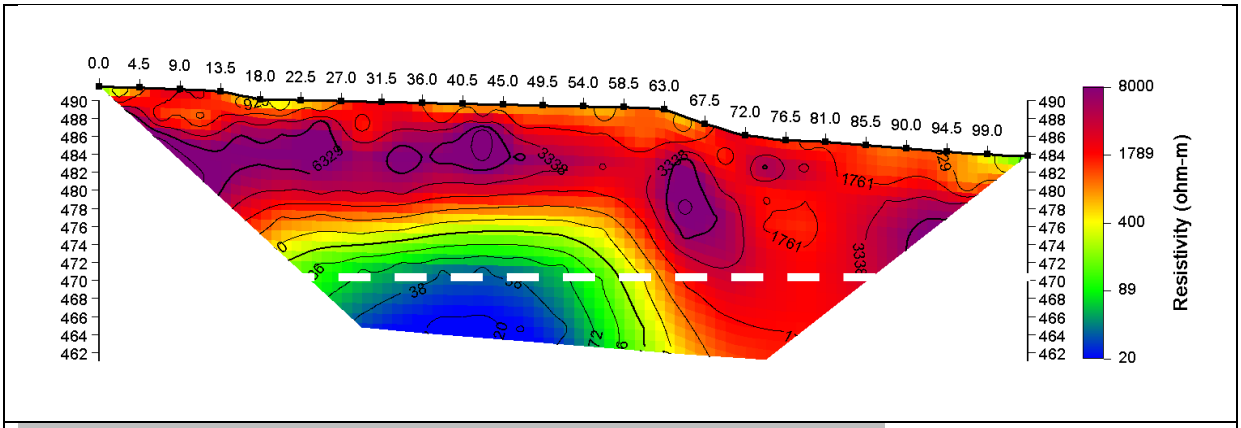
Η συνδυαστική διάταξη της τομής Γ, φαίνεται να είναι πιο κοντά στα αποτελέσματα της διάταξης διπόλου-διπόλου. Όσον αφορά το αντιστατικό στρώμα φαίνεται να εντοπίζονται κάπως χαμηλότερες τιμές αντιστάσεων σε σχέση με την τομή Β, ενώ ο αγώγιμος σχηματισμός παρατηρείται ότι έχει ακόμα υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

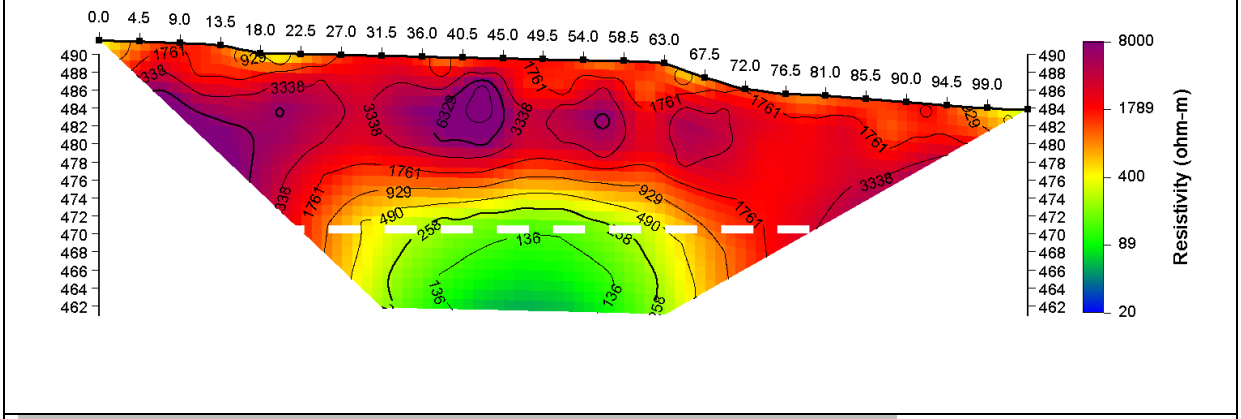
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

αποτελέσματα των προηγούμενων διατάξεων. Η κατακόρυφη ρηξιγενής ζώνη στα 67.5 μ της τομής παρατηρείται και εδώ.

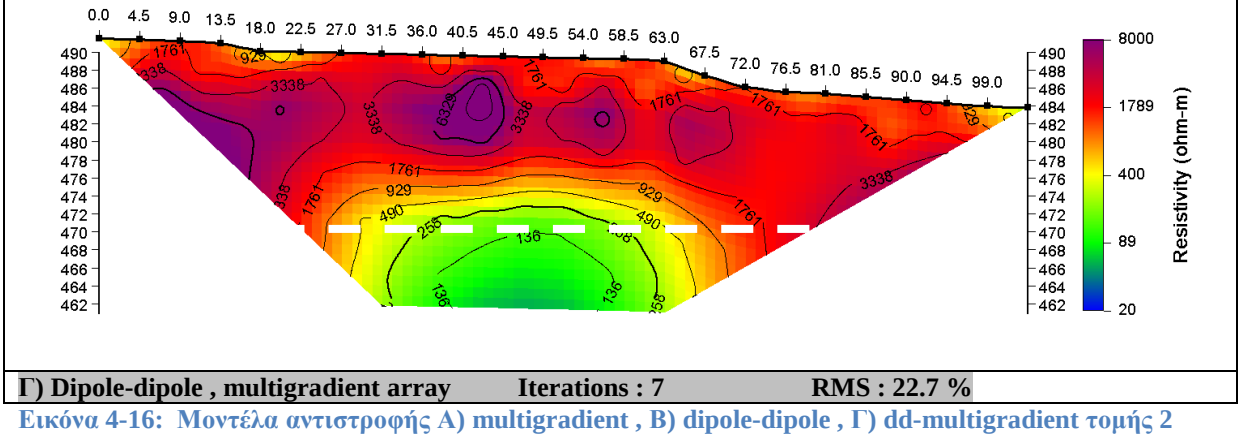
4.2.2 Κάνναβος 3 ERT2



A) Multigradient array Iterations : 7 RMS : 6.3 %



B) Dipole-dipole array Iterations : 7 RMS : 22.7 %



Γ) Dipole-dipole , multigradient array Iterations : 7 RMS : 22.7 %

Εικόνα 4-16: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 2 καννάβου 3.

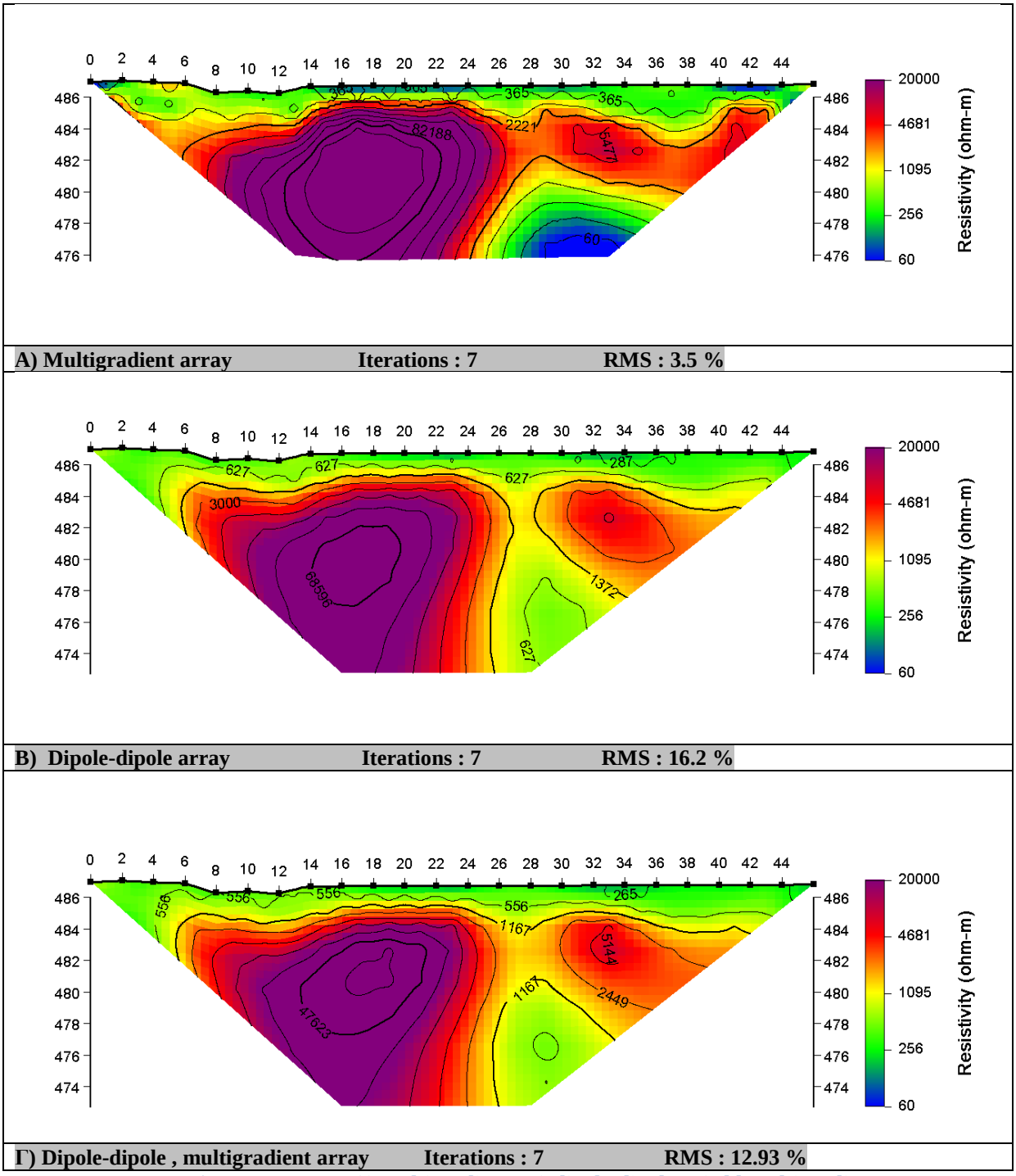
Τα αποτελέσματα της τομής 2 και για τις τρεις διατάξεις φαίνεται να είναι παρόμοια με της τομής 1. Διακρίνεται και εδώ ο μεγάλος βαθμός τεκτονικής καταπόνησης του ασβεστολίθου. Η πολλαπλής βαθμίδας διάταξη φαίνεται να εντοπίζει και πάλι έναν αγώγιμο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

σχηματισμό στο ίδιο βάθος και με αντιστάσεις οι οποίες φτάνουν μέχρι και τα 20 Ohm-m. Οι άλλες δύο διατάξεις εντοπίζουν και εδώ την αγώγιμη περιοχή με σχετικά υψηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ενώ η ύπαρξη της κατακόρυφης ρηξιγενούς ζώνης στα 67.5 μ, αυτή την φορά εντοπίζεται καλύτερα από την διάταξη πολλαπλής βαθμίδας.

4.2.3 Κάνναβος 3 ERT3



Εικόνα 4-17: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 3 καννάβου 3.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Τα αποτελέσματα και των τριών διατάξεων φαίνεται να βρίσκονται σε αρκετά καλή συμφωνία σε ότι αφορά την διάκριση αγώγιμων με αντιστατικών δομών ενώ παρατηρείται και πάλι διαφορετικής κλίμακας εκτίμησης τωντιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στα μεγαλύτερα βάθη, με την διάταξη πολλαπλής βαθμίδας να απόδίδει κατά πολύ μικρότερες τιμές.

Πιο συγκεκριμένα, και οι τρεις τομές (Α-Γ), εντοπίζουν από την αρχή μέχρι και το τέλος της τομής ένα επιφανειακό στρώμα πάχους περίπου 2 μ, με αντιστάσεις από 200-500 Ohm. Το στρώμα αυτό, ερμηνεύεται ως το χαλαρό εδαφικό κάλυμμα, το οποίο βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον ασβεστολιθικό σχηματισμό.

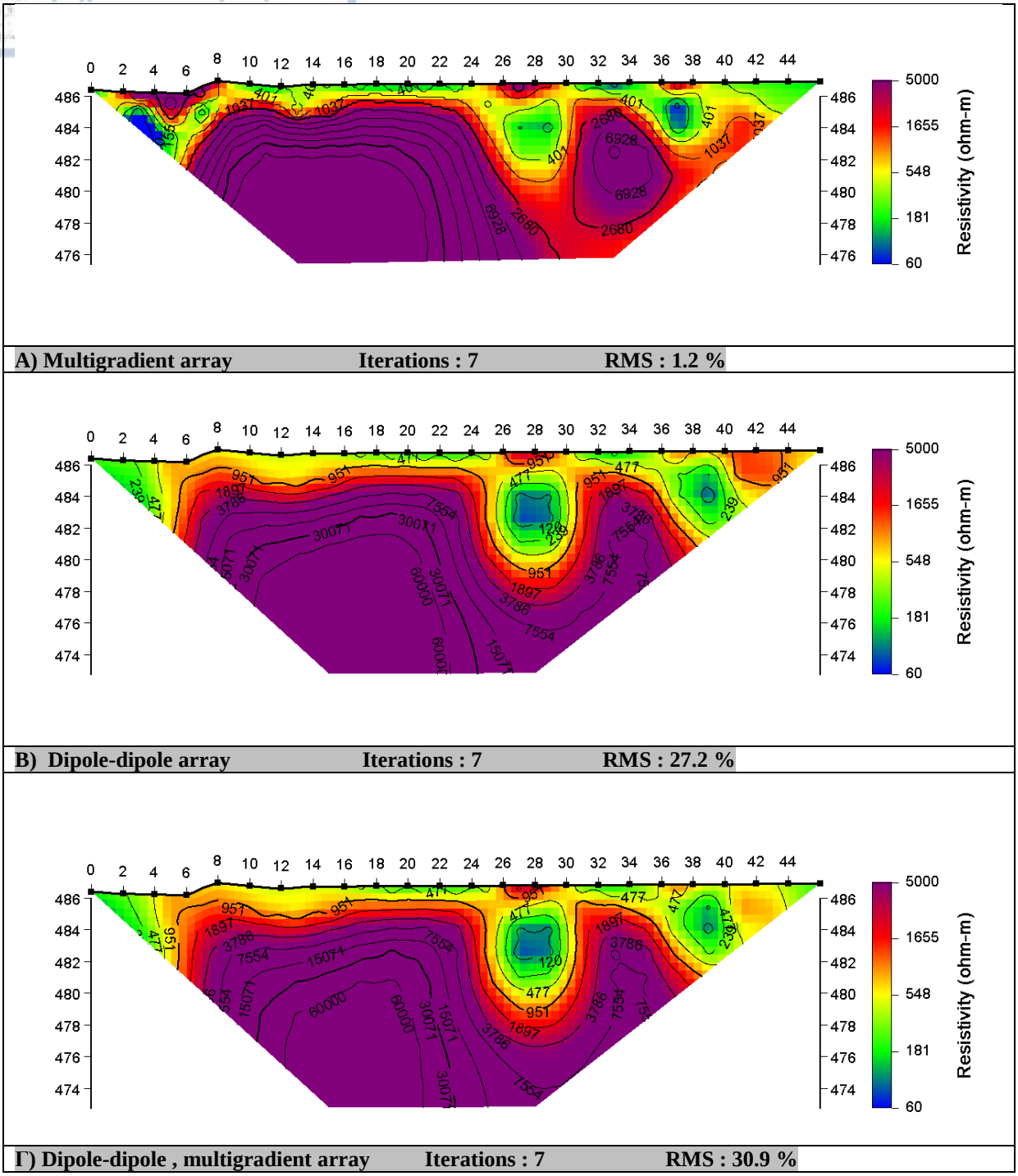
Από τα 6-26 μ, τα αποτελέσματα για τις τρεις διατάξεις φαίνεται να είναι επίσης παρόμοια, καθώς εντοπίζεται ο ασβεστολιθικός σχηματισμός, μέχρι το βαθύτερο σημείο της τομής. Ωστόσο, η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας (τομή Α), φαίνεται να αποδίδει υψηλότερες αντιστατικές τιμές στον συγκεκριμένο σχηματισμό, σε σχέση με τις άλλες δύο διατάξεις. Επίσης, από τα 30-40 μ της τομής απεικονίζεται ένα στρώμα πάχους 6 μ, το οποίο παρουσιάζει επίσης υψηλές αντιστάσεις, περίπου 6000 Ohm-m, ωστόσο είναι αρκετά χαμηλότερες σε σχέση με τις τιμές του σχηματισμού που αναφέρθηκε πριν. Πιθανότατα, αντιστοιχεί σε τέμαχος του συμπαγούς υποβάθρου από το οποίο αποκολλήθηκε, σχηματίζοντας μάλιστα την εικόνα μιας μικρής ρηξιγενούς ζώνης από τα 26-30 μ της τομής, η οποία φαίνεται πιο καθαρά στις τομές Β και Γ. Μεγάλη διαφορά παρατηρείται και πάλι μεταξύ των διατάξεων, όσον αφορά τον εντοπισμό ενός αρκετά αγώγιμου σχηματισμού από τα 28-34 μ και στο απόλυτο υψόμετρο των 479 μ από τηνπολλαπλής βαθμίδας, ο οποίος δεν παρατηρείται στις άλλες δύο τομές.

Εδώ αξίζει να αναφερθεί, πως η τομή 3 είναι η πρώτη προς ερμηνεία μέχρι τώρα η οποία βρίσκεται πάνω από την στάθμη της λίμνης. Παρόλα αυτά, ο αγώγιμος σχηματισμός που εντοπίζεται και εδώ από την διάταξη πολλαπλής βαθμίδας παρά την υψομετρική διαφορά, ίσως αποδεικνύει πως πρόκειται μόνο για παρουσία αργιλικού υλικού σε κατακερματισμένη ζώνη παρά υδραυλική επικοινωνία μεταξύ της λίμνης και της περιοχής μελέτης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

4.2.4 Κάνναβος 3 ERT4



Εικόνα 4-18: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 4 καννάβου 3.

Στην τομή 4, παρατηρούνται γενικά πολύ υψηλότερες αντιστατικές τιμές, σε σχέση με τις προηγούμενες, γεγονός που δείχνει ότι στην συγκεκριμένη περιοχή ο ασβεστολιθικός σχηματισμός είναι πιο συμπαγής.

Και στις τρεις τομές (Α-Γ) των διαφορετικών διατάξεων, φαίνεται να εντοπίζεται ένα επιφανειακό στρώμα πάχους περίπου 1.5 μ, με αντιστάσεις από 200-500 Ohm-m σε όλο το

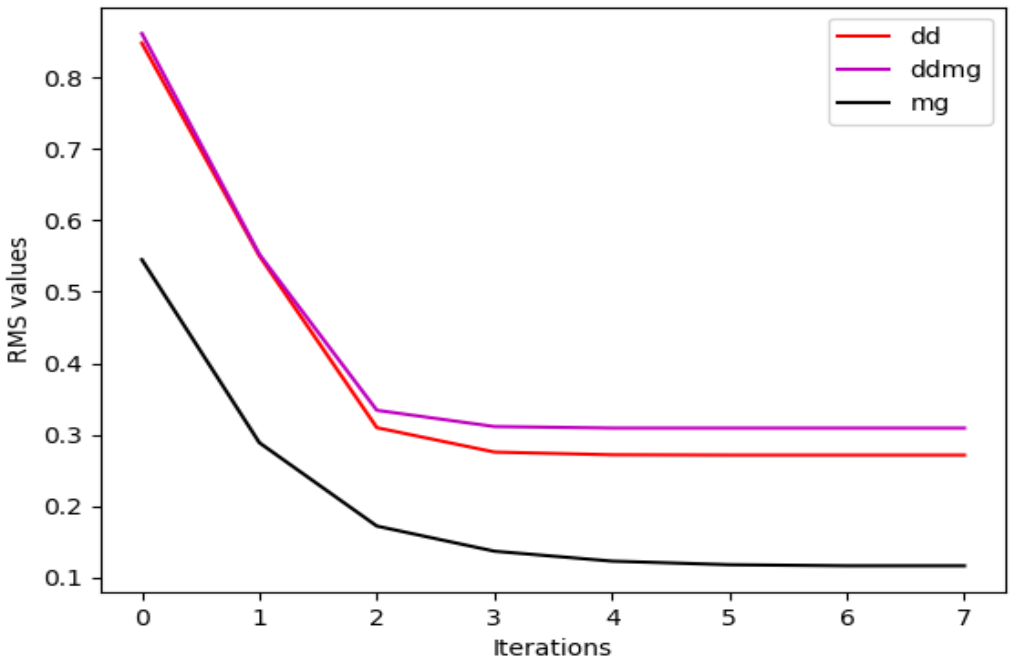
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

μήκος της τομής. Πρόκειται μάλλον για ένα στρώμα χαλαρότερων επιφανειακών υλικών (κυρίως κροκάλες και άμμος), το οποίο βρίσκεται ακριβώς επάνω από τον ασβεστολιθικό σχηματισμό, ακριβώς όπως και στην τομή 3.

Η διάταξη διπόλου-διπόλου καθώς και η συνδυαστική, εντοπίζουν τον ασβεστολιθικό σχηματισμό με τιμές οι οποίες φτάνουν τα 60000 Ohm-m, ενώ στον ίδιο σχηματισμό η πολλαπλής βαθμίδας φαίνεται να αποδίδει ακόμα μεγαλύτερες αντιστατικές τιμές. Σε απόλυτη συμφωνία, βρίσκονται τα αποτελέσματα των τριών διατάξεων όσον αφορά τον εντοπισμό μιας ρηξιγενούς ζώνης από τα 24-30 μ της τομής. Ωστόσο, αν και το πλάτος που εντοπίζεται είναι το ίδιο, παρόλα αυτά, η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας φαίνεται να δείχνει την συγκεκριμένη ζώνη να συνεχίζεται και σε βαθύτερα σημεία από το απόλυτο υψόμετρο των 480 μ, σε αντίθεση με τις άλλες δύο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας να απεικονίζει τον αντιστατικό σχηματισμό που εντοπίζεται από τα 32-34 μ της τομής σαν ένα τέμαχος το οποίο έχει αποκολληθεί απο το υπόβαθρο λόγω της ρηξιγενούς ζώνης που εντοπίζεται, ενώ αντίθετα στην διπόλου-διπόλου το τμήμα αυτό βρίσκεται ενωμένο με το υπόβαθρο καθώς δεν επηρεάζεται από την τεκτονική.

Σημειώνεται ότι στην περιοχή μελέτης Β, οι τιμές RMS που παρουσίασαν γενικά οι τομές της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας ήταν πολύ μικρότερες από εκείνες των άλλων δύο διατάξεων.. Το γεγονός αυτό, ίσως οφείλεται στις πολύ υψηλές αντιστατικές τιμές οι οποίες συναντώνται στην περιοχή μελέτης, με αποτέλεσμα να αυξάνεται πού πιο εύκολα η τιμή του σφάλματος στο πρόγραμμα αντιστροφής.

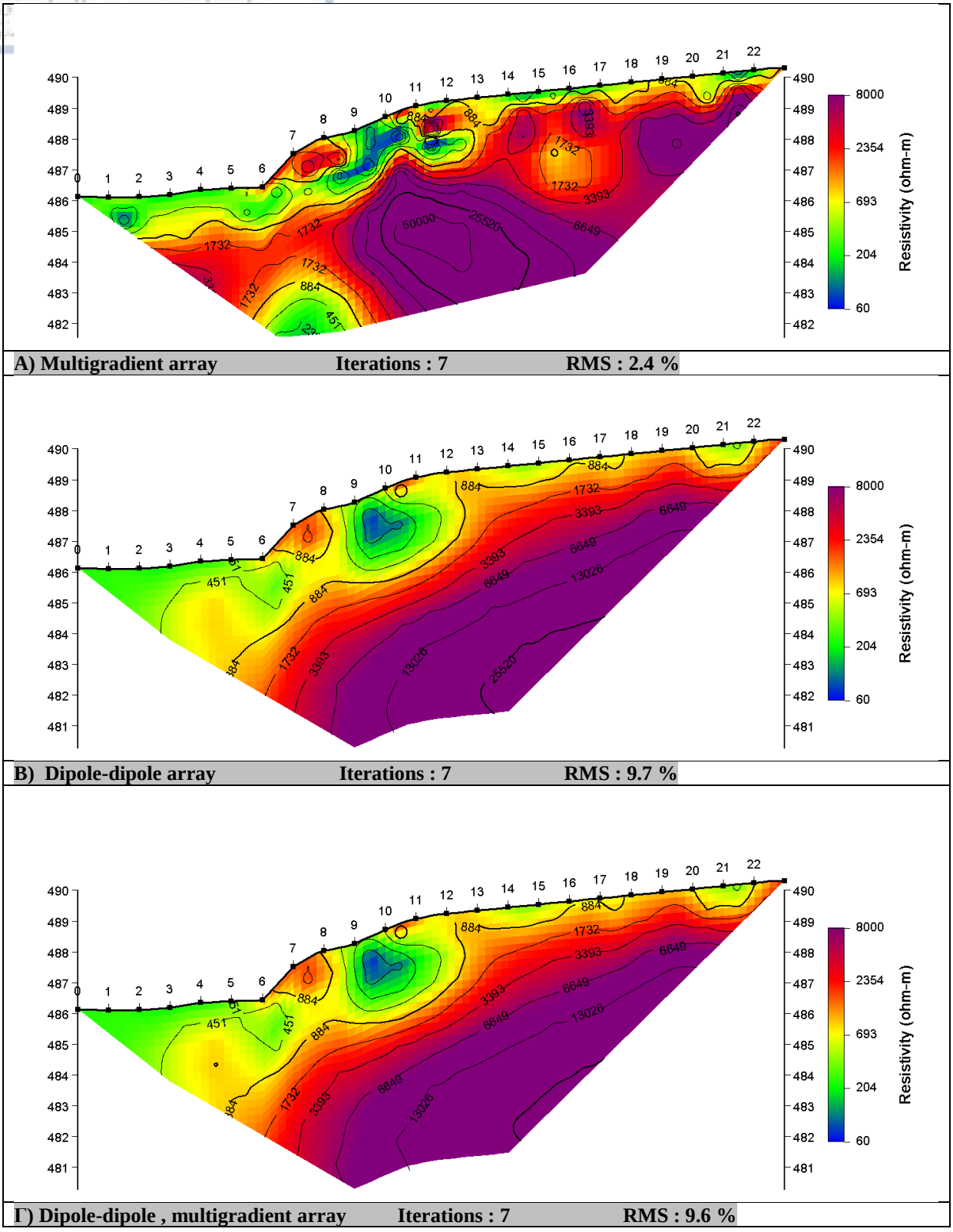


Εικόνα 4-19: Ρυθμός μεταβολής RMS των τριών διατάξεων για την τομή 4 καννάβου 3.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

4.2.5 Κάνναβος 3 ERT5



Εικόνα 4-20: Μοντέλα αντιστροφής Α) multigradient , Β) dipole-dipole , Γ) dd-multigradient τομής 5 καννάβου 3.

Η τομή 5 είναι η τελευταία όσον αφορά τον κάνναβο 3 και είναι αυτή που διέρχεται από το κτίριο Α. Οι τομές που προυσιάζονται από την διάταξη διπόλου-διπόλου και από την

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

συνδυαστική βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία μεταξύ τους. Και στις δύο τομές (Β και Γ), παρατηρείται ένα επιφανειακό στρώμα πάχους περίπου 2 μ, το οποίο αποτελείται από αδρόκοκκα υλικά (κυρίως κροκάλες και άμμος), όπως φαίνεται από τις αντιστατικές τους τιμές. Από τα 9-11 μ των δύο τομών φαίνεται να εντοπίζεται μια πολύ μικρή αγώγιμη περιοχή, με αντιστατική τιμή 60 Ohm-m. Οι τιμές αυτές πιθανότατα να οφείλονται στην συγκέντρωση πιο λεπτόκοκκων υλικών στο σημείο εκείνο (αργιλικό υλικό με άμμο). Στην βαθύτερη περιοχή παρατηρείται υγιές υπόβαθρο με υψηλές τιμές αντιστάσεων, οι οποίες φτάνουν τα 30000 Ohm-m, χωρίς να παρατηρείται κάποιο στοιχείο ρηξιγενούς ζώνης.

Τα αποτελέσματα της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας φαίνεται να είναι και εδώ διαφορετικά. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζει το υπόβαθρο στην απόσταση από 8-16 μ της τομής και στο ίδιο βάθος με τις προηγούμενες. Ωστόσο αποδίδει σε αυτό υψηλότερες αντιστάσεις, οι οποίες φτάνουν τα 6000 Ohm-m. Τέλος, τα αποτελέσματα της τομής Α, δεν συμφωνούν με εκείνα των τομών Β και Γ, όσον αφορά την ύπαρξη υγιούς υποβάθρου σε όλη την έκταση της τομής. Αντίθετα, φαίνεται να απεικονίζει δύο ασθενείς, μικρού πλάτους ρηξιγενείς ζώνες, η μια εξ αυτών στην απόσταση από τα 6-9 μ της τομής ενώ η δεύτερη στην απόσταση από τα 15-18 μ αυτής.

4.2.6 Συνολική ερμηνεία για τον κάνναβο 3

Οι τομές του καννάβου 3 φάνηκε να έχουν πολύ μεγάλο εύρος αντιστάσεων, αφού εκτελέστηκαν σε περιοχή στην οποία ο σχηματισμός του υποβάθρου ήταν εμφανής από τα πρώτα επιφανειακά σημεία.

Στις πρώτες δύο τομές και οι τρεις διατάξεις φάνηκε να εντοπίζουν ένα επιφανειακό στρώμα υψηλών αντιστάσεων και έντονα καταπονημένο. Ωστόσο, η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας εντόπισε έναν σχηματισμό αρκετά αγώγιμο σε αντίθεση με τις άλλες δύο διατάξεις, όπως επίσης και στην τομή 3, όπου παρατηρήθηκε επίσης μια αύξηση των αντιστατικών τιμών.

Στην τομή 4 φάνηκε να βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία τα αποτελέσματα και από τις τρεις καθώς εντόπισαν από την απόσταση 24-32 μ μια ρηξιγενή ζώνη, η οποία παρόλα αυτά στην διάταξη πολλαπλής βαθμίδας φαίνεται να εξαπλώνεται και βαθύτερα.

Τέλος, στην τομή 5 σε αντίθεση με την πολλαπλής βαθμίδας η οποία εντόπισε δύο πιθανές μικρού πλάτους ρηξιγενείς ζώνες, η διάταξη διπόλου-διπόλου όπως και η συνδυαστική έδωσαν την εικόνα ενός συμπαγούς σχηματισμού υποβάθρου με σχετικά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

υψηλές αντιστατικές τιμές και χωρίς κανένα σημάδι ύπαρξης κάποιας περιοχής της τομής που να είναι έντονα τεκτονισμένη.

4.2.7 Line 6 – Line 7

Στην Εικόνα 4-21, φαίνονται τα μοντέλα αντιστροφής τα οποία αφορούν τις δύο επιπλέον οδεύσεις μετρήσεων οι οποίες εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης Β. Στην αριστερή στήλη παρατηρούνται τα αποτελέσματα για την όδευση 7 (τομές Α-Γ), ενώ στην δεξιά στήλη για την όδευση 7 (τομές Δ-ΣΤ).

Όσον αφορά τις τομές (Α-Γ), και οι τρεις διατάξεις εντοπίζουν τον ασβεστολιθικό σχηματισμό του υποβάθρου στο βάθος των 2 μ, με υψηλές αντιστατικές τιμές οι οποίες φτάνουν μέχρι 20000 Ohm-m. Στις τομές Β και Γ, παρατηρείται μια ασθενής ρηξιγενής ζώνη μικρού βάθους από τα 5-10 μ της τομής, ενώ αντίθετα στην τομή Α η ίδια περιοχή και μέχρι τα 22 μ της τομής φαίνεται να απεικονίζεται ως έντονα τεκτονισμένη με τον ασβεστολιθικό σχηματισμό να είναι κατακερματισμένος. Παράλληλα, οι τρεις διατάξεις βρίσκονται σε συμφωνία όσον αφορά τον εντοπισμό της ρηξιγενούς ζώνης η οποία βρίσκεται από τα 22-31 μ της τομής.

Ωστόσο, οι διαφορές είναι και εδώ ευδιάκριτες, με την πολλαπλής βαθμίδας διάταξη να αποδίδει μικρότερο πλάτος στην συγκεκριμένη ζώνη και να δίνει την εικόνα ενός κατακόρυφου ρήγματος, το οποίο αρχικά έχει πλάτος περίπου 9 μ, ενώ από το απόλυτο υψόμετρο των 480 μ, φαίνεται το πλάτους αυτού να μειώνεται κατά 4 μ. Ωστόσο, οι αντιστατικές τιμές οι οποίες απεικονίζονται από τις τρεις διατάξεις μέσα στην συγκεκριμένη ζώνη φαίνεται να είναι παρόμοιες.

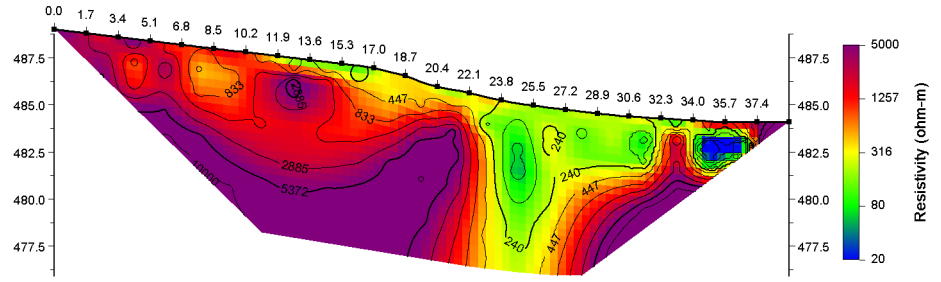
Στα αποτελέσματα της όδευσης 6, στις τομές Ε και ΣΤ από τα 64-90 μ της τομής φαίνεται να εντοπίζεται ο ασβεστολιθικός σχηματισμός με συμπαγή μορφή, λόγω των υψηλών αντιστατικών σχηματισμών που παρατηρούνται. Η πλευρική διακριτική ικανότητα ωστόσο της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας (τομή Δ), δείχνει ότι ο συγκεκριμένος σχηματισμός στο βάθος των 10 περίπου μέτρων συναντάται πιο πριν, από τα 52 μ της τομής μέχρι και το τέλος αυτής. Για τα πρώτα 4 μ βάθους και στις τρεις διατάξεις από την αρχή μέχρι και τα 60 μ της τομής παρατηρείται ένα στρώμα χαμηλότερων αντιστάσεων, περίπου 100 Ohm-m, το οποίο αντιστοιχεί σε χαλαρότερα επιφανειακά υλικά. Από τα 10-44 μ της τομής και σε βάθος 11 μ, εντοπίζεται ένας σχηματισμός με αντιστάσεις περίπου 700 Ohm-m, που όπως φαίνεται από την τομή Δ, κατά τόπους φτάνουν τα 3000 Ohm-m. Πιθανότατα, πρόκειται για τέμαχος το οποίο αποκολλήθηκε από το υγιές τμήμα του ασβεστολίθου λόγω τεκτονικής. Έτσι από τα 44-60 μ σχηματίζεται εικόνα πιθανής ρηξιγενούς ζώνης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

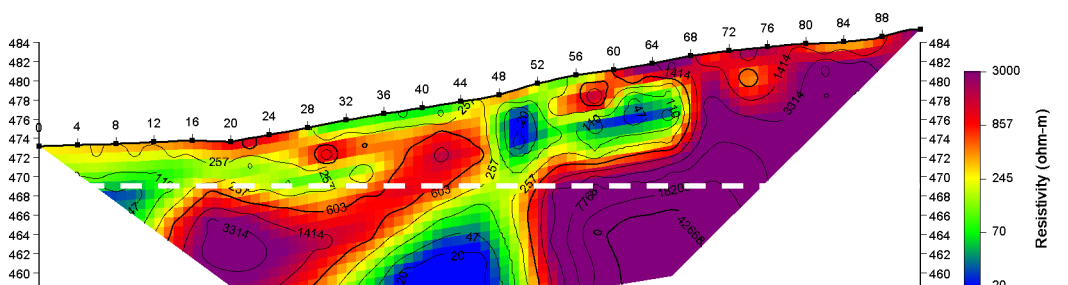
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Τέλος, παρατηρείται ότι εντοπίζεται ένας αρκετά αγώγιμος σχηματισμός (20 Ohm-m), στο απόλυτο υψόμετρο των 468 μ, το οποίο όπως έχει προαναφερθεί συμπίπτει με το επίπεδο στάθμης της λίμνης, επομένως υπάρχει και πάλι η υποψία ύπαρξης υδραυλικής επικοινωνίας.

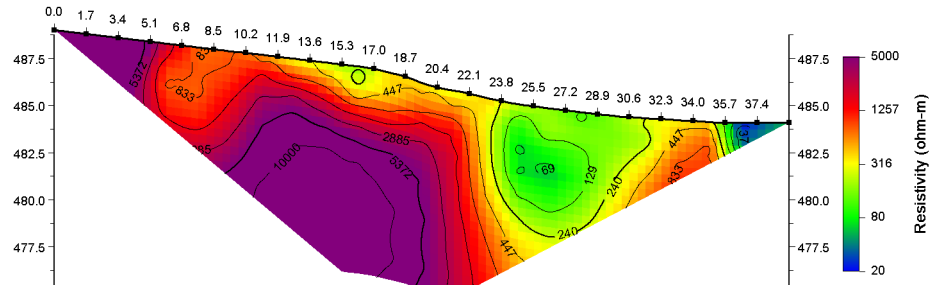
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



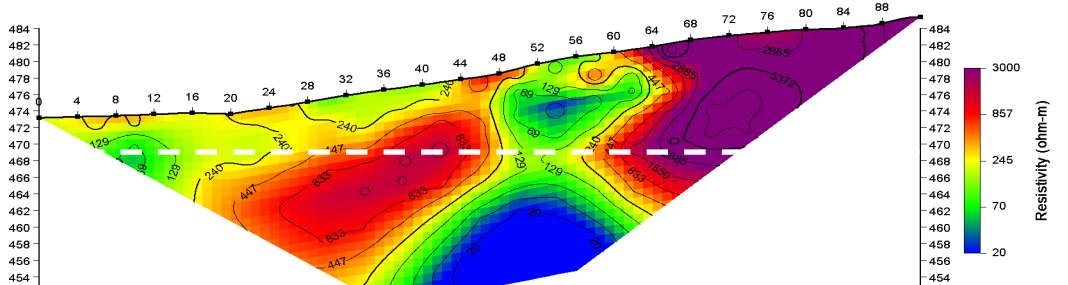
A) mg Line 6 **Iterations 7** **RMS : 9.5 %**



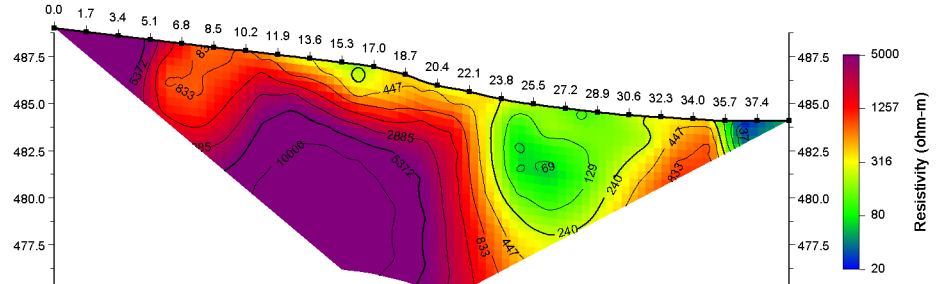
Δ) mg Line 7 **Iterations 7** **RMS : 8.8 %**



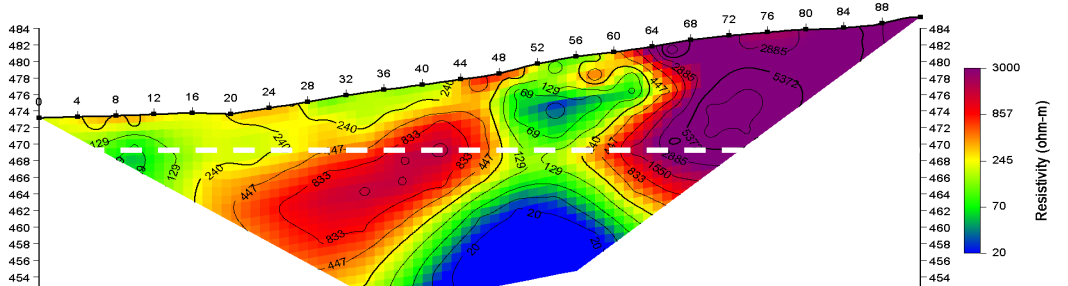
B) dd Line 6 **Iterations 7** **RMS : 26 %**



Ε) dd Line 7 **Iterations 7** **RMS : 21 %**



Γ) ddmg Line 6 **Iterations 7** **RMS : 25.9 %**



ΣΤ) ddmg Line 7 **Iterations 7** **RMS : 20.9 %**

Εικόνα 4-21: Αριστερή στήλη- τομές (Α-Γ) γραμμής 6, δεξιά στήλη- τομές (Δ-ΣΤ) γραμμής 7.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

5 Ερμηνεία αποτελεσμάτων με χρήση συνθετικών μοντέλων

5.1 Εισαγωγή

Η χρήση των συνθετικών μοντέλων, αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική τεχνική. Χρησιμοποιείται όχι μόνο στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης, αλλά σχεδόν σε όλους τους τομείς της γεωφυσικής όπως είναι οι σεισμικές, βαρυτικές και μαγνητικές μέθοδοι αλλά και σε πολλές άλλες επιστήμες. Το βασικό πλεονέκτημα το οποίο προσφέρει, είναι ο ορισμός της 'προσομοίωσης', η αναπαράσταση δηλαδή μιας διεργασίας με την βοήθεια ενός γνωστού αρχικού μοντέλου.

Όσον αφορά τις γεωηλεκτρικές μεθόδους, τα συνθετικά μοντέλα χρησιμοποιούνται από πολλούς ερευνητές για διαφορετικούς σκοπούς. Έτσι λοιπόν, έχουν χρησιμοποιηθεί για να ερευνηθεί η διακριτική ικανότητα και η αξιοπιστία των διαφορετικών διατάξεων ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται (Dahlin and Zhou, 2004), ή ακόμα για να ερευνηθεί η δυνατότητα απεικόνισης των πραγματικών γεωλογικών σχηματισμών, χρησιμοποιώντας τεχνικές επεξεργασίας εικόνας στα μοντέλα που προέκυψαν από την αντιστροφή (Ishola et al., 2014).

Πολλές ερευνητικές εργασίες επικεντρώνονται παράλληλα στον τύπο της αντιστροφής ο οποίος θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να προκύψουν όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα (Loke et al., 2003), (Loke and Dahlin, 2002), χρησιμοποιώντας συνθετικά μοντέλα. Όσον αφορά τα τελικά αποτελέσματα της αντιστροφής τα οποία προκύπτουν, ορισμένοι ερευνητές έχουν προσπαθήσει να εντοπίσουν με ακρίβεια τους παράγοντες που επηρεάζουν την διακριτική ικανότητα αυτών (Sasaki, 1992).

Αποτελέσματα αντιστροφής από διάφορες εργασίας επίσης, έχουν δείξει ότι στην περίπτωση μετρήσεων με πρωτόκολλο το οποίο περιέχει περισσότερες από μία διάταξη, τα αποτελέσματα επηρεάζονται πολύ περισσότερο από τα δεδομένα της μιας διάταξης (Athanasiou et al., 2007). Συνθετικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί και εδώ για την διερεύνηση και αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος.

Ακόμα, έχουν χρησιμοποιηθεί για να ερευνηθεί η δυνατότητα των διαφόρων διατάξεων ηλεκτροδίων να εντοπίσουν υπεδάφιες κοιλότητες (Putiška et al., 2012b), ή για να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο η κάθε διάταξη εντοπίζει το όριο μεταξύ δύο λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων (Putiška et al., 2012a). Ιδιαίτερα σημαντική έχει αποδειχθεί η χρήση τους στον τομέα της τεχνικής γεωφυσικής, όπου μελετάται η δυνατότητα των διατάξεων να εντοπίσει πιθανές επιφάνειες ολίσθησης (Dostál et al., 2014).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Εξίσου σημαντική είναι η συμβολή τους στην αντιμετώπιση ενός σημαντικού μειονεκτήματος της διαδικασίας αντιστροφής, το οποίο είναι η αδυναμία να εντοπιστεί ο θόρυβος στις τελικές τομές της αντιστροφής στις περιπτώσεις που παρατηρείται απότομη μεταβολή του τοπογραφικού αναγλύφου. Πολλοί επιστήμονες, έχουν ερευνήσει το συγκεκριμένο θέμα, προτείνοντας τρόπους αντιμετώπισης και δοκιμής σε συνθετικά μοντέλα (Tsourlos et al., 1999), (Tong and Yang, 1990).

Τέλος, ορισμένες μελέτες πάνω στο συγκεκριμένο θέμα πχ. (Fox et al., 1980), προτείνουν μάλιστα πως ο θόρυβος στα μοντέλα αντιστροφής παρατηρείται όταν εντοπίζεται γωνία αναγλύφου μεγαλύτερη των 10 μοιρών ή συνολικό μήκος της τοπογραφικής ανωμαλίας είναι μεγαλύτερο από την απόσταση ενός διπόλου.

Στην παρούσα εργασία λοιπόν, δημιουργήθηκαν συνολικά πέντε συνθετικά μοντέλα ηλεκτρικών αντιστάσεων. Τα τρία εξ' αυτών αφορούν την περιοχή μελέτης Α, ενώ τα άλλα δύο την περιοχή μελέτης Β. Σημειώνεται ότι και τα πέντε συνθετικά μοντέλα, περιέχουν πληροφορίες οι οποίες βασίζονται στα αποτελέσματα αντιστροφής των πραγματικών δεδομένων.

Σκοπός της χρήσης των συνθετικών μοντέλων ήταν:

1. Να διερευνηθεί η διακριτική ικανότητα των τριών διατάξεων οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την απόκτηση των δεδομένων στο ύπαιθρο.
2. Να εντοπιστούν πιθανές αδυναμίες της κάθε διάταξης κάθε φορά που το αρχικό μοντέλο αλλάζει πολύ λίγο, για παράδειγμα τα αποτελέσματα της κάθε διάταξης αν πάνω από μια ρηξιγενή ζώνη παρατηρείται ένας αγώγιμος σχηματισμός ή όχι.
3. Να ελεγχθεί ένα διαφορετικό πρωτόκολλο περισσότερων μετρήσεων συγκριτικά με εκείνο που χρησιμοποιήθηκε στο ύπαιθρο, όσον αφορά την διάταξη πολλαπλής βαθμίδας .
4. Τέλος, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η παρουσία απότομης μεταβολής τοπογραφίας σε ορισμένα σημεία των τομών, μπορεί να δημιουργεί πιθανό θόρυβο στα αποτελέσματα, επομένως θεωρήθηκε κρίσιμο τα σημεία αυτά να εντοπιστούν και να ερμηνευτούν κατάλληλα.

Τελικός στόχος ωστόσο των συνθετικών μοντέλων, είναι η επιλογή της διάταξης εκείνης αλλά και του τύπου αντιστροφής, που πρέπει να χρησιμοποιηθούν τελικά για την ορθή ερμηνεία των πραγματικών δεδομένων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

5.2 Μεθοδολογία δημιουργίας συνθετικών μοντέλων

Για την δημιουργία των συνθετικών μοντέλων όπως και για την αντιστροφή, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα (DC_2DPRO,Kim, 2009).

Όσον αφορά τα μοντέλα της περιοχής μελέτης Α, χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικοί σχηματισμοί οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε ημιχώρο αντίστασης (80 Ohm-m). Ο ένας από τους σχηματισμούς ήταν αγώγιμος και τοποθετήθηκε στην επιφάνεια και σε πολύ μικρά βάθη, ενώ οι άλλοι δύο ήταν αντιστατικοί και τοποθετήθηκαν σε μεγαλύτερα βάθη. Και στα τρία μοντέλα οι αντιστατικές τιμές των σχηματισμών παρέμειναν σταθερές, και μελετήθηκε κυρίως η μεταβολή της διακριτικής ικανότητας της κάθε διάταξης στην περίπτωση που οι σχηματισμοί εντοπίζονταν σε μεγαλύτερο βάθος και οι διαστάσεις του αγώγιμου σχηματισμού ήταν διαφορετικές.

Οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων για το συνθετικό μοντέλο 1 είναι 2.5 μ και το συνολικό μήκος της τομής 57.5 μ. Στα συνθετικά μοντέλα 2 και 3 επειδή οι σχηματισμοί τοποθετήθηκαν σε μεγαλύτερο βάθος, θεωρήθηκε σωστό να αυξηθεί η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων στα 3 μ, έτσι ώστε να επιτευχθεί και μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης.

Στην περιοχή μελέτης Β, συναντήθηκαν αρκετά υψηλότερες αντιστάσεις σε σχέση με την περιοχή μελέτης Α, επομένως τα δύο συνθετικά μοντέλα περιέχουν αντίστοιχα αρκετά πιο υψηλές αντιστάσεις. Η μεθοδολογία για τον σχηματισμό τους εδώ ήταν παρόμοια με πριν. Τέσσερις σχηματισμοί τοποθετήθηκαν στο μοντέλο με ημιχώρο αντιστατικής τιμής 700 Ohm-m. Και εδώ ο επιφανειακός σχηματισμός ήταν αγώγιμος και τοποθετήθηκε σε πολύ μικρά βάθη, ενώ οι υπόλοιποι τρεις σχηματισμοί σε μεγαλύτερα. Στην περιοχή μελέτης Β οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων ήταν ίδια και στα δύο συνθετικά μοντέλα (1.7 μ), ενώ το συνολικό μήκος τομής φτάνει τα 39.1 μ.

Και στην περίπτωση αυτή, μελετήθηκε κυρίως η διακριτική ικανότητα των διατάξεων στις διάφορες αλλαγές, τόσο του βάθους των αντιστατικών σχηματισμών αλλά και στις διαστάσεις του αγώγιμου.

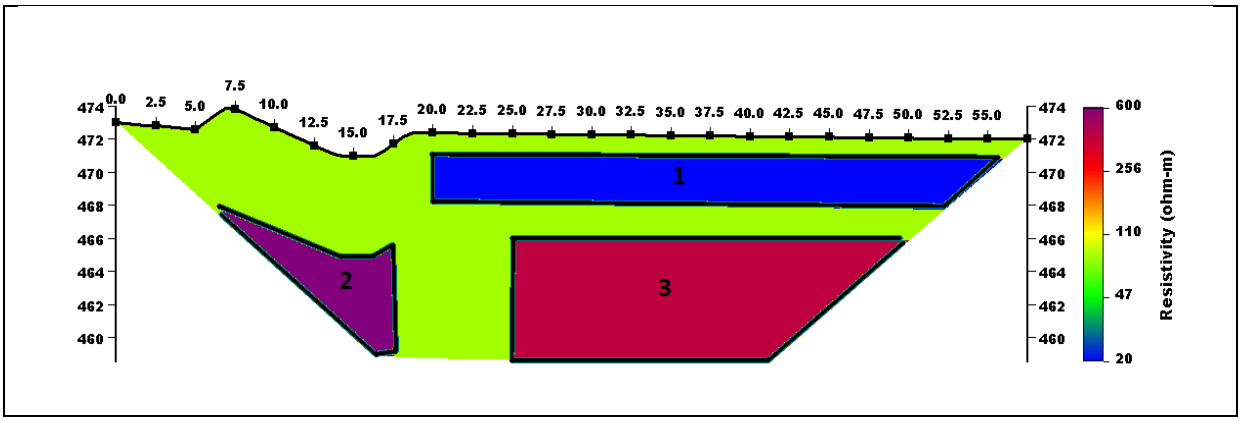
Σημειώνεται ότι τα συνθετικά μοντέλα της περιοχής Α, δημιουργήθηκαν με σημείο αναφοράς την τομή 2 του καννάβου 1, θεωρώντας ότι βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με τις υπόλοιπες τομές του ίδιου καννάβου αλλά και του καννάβου 2, επομένως αντιπροσωπεύει γεωλογικά την συγκεκριμένη περιοχή. Το ίδιο ισχύει και για τα συνθετικά μοντέλα της περιοχής Β, τα οποία φαίνεται να μοιάζουν περισσότερο με τα μοντέλα της τομής 6, αφού βρίσκεται σε ένα περιβάλλον υψηλών αντιστατικών τιμών, ρηξιγενών ζωνών και εύρους αντιστάσεων που ήταν παρόμοια σε όλη την περιοχή εκείνη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

5.3 Περιοχή μελέτης Α

5.3.1 Συνθετικό μοντέλο 1, περιοχή μελέτης Α



Εικόνα 5-1: Συνθετικό μοντέλο 1, περιοχή μελέτης Α.

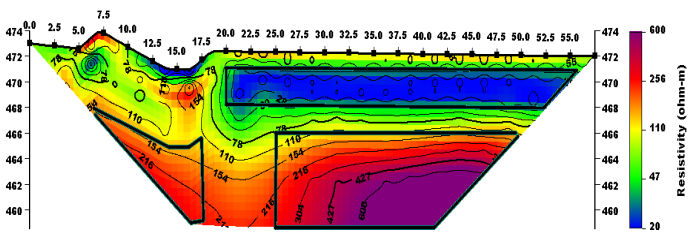
Στο παραπάνω μοντέλο παρατηρούνται τα εξής στοιχεία:

- Ένας αγώγιμος σχηματισμός (10 Ohm-m) από τα 20-57 μ της τομής και από το βάθος 1-3 μ (**Σχηματισμός 1**).
- Ένας αντιστατικός σχηματισμός από την αρχή της τομής μέχρι και τα 17.5 μ στο βάθος των 6 μ και με αντιστατική τιμή 600 Ohm-m (**Σχηματισμός 2**).
- Ένας δεύτερος αντιστατικός σχηματισμός στο ίδιο βάθος, από τα 25-58 μ της τομής με αντιστατική τιμή 400 Ohm-m (**Σχηματισμός 3**).
- Μία ρηξιγενής ζώνη από τα 17.5-25 μ της τομής.

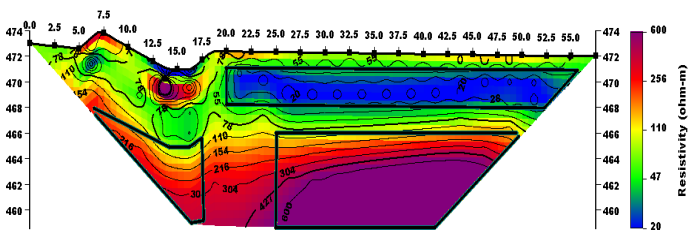
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τις διαφορετικές διατάξεις, αλλά και από τους 4 διαφορετικούς τύπους αντιστροφής αντίστοιχα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

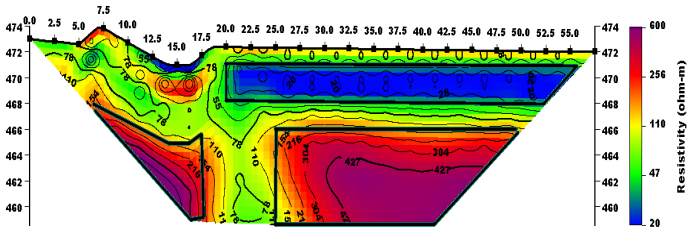
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



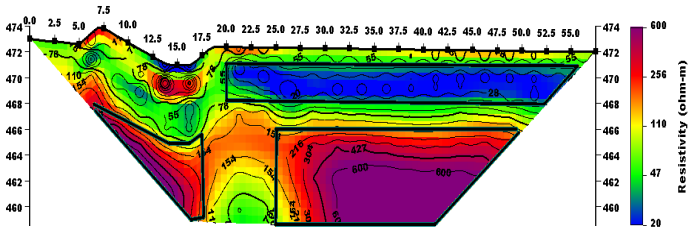
A) mg L1L1 Iterations : 7 RMS : 3.7 %



B) mg L2L1 Iterations : 7 RMS : 1.86 %



Γ) mg L1L2 Iterations : 7 RMS : 2.8 %



Δ) mg L2L2 Iterations : 7 RMS : 1.43 %

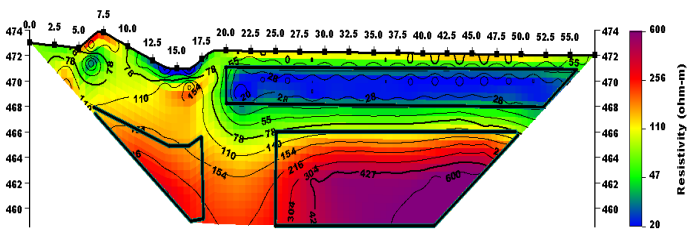
Εικόνα 5-2: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα. Η εξομάλυνση της αντιστροφής, γινόταν σε κάθε επανάληψη αυξητικά.

Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 5-2**,** η διάταξη multigradient εντοπίζει και με τους τέσσερις διαφορετικούς τύπους αντιστροφής , πολύ καθαρά τον αγώγιμο σχηματισμό 1 τόσο όσον αφορά την θέση αυτού αλλά και το σχήμα. Ένα σημαντικό σημείο το οποίο αξίζει να αναφερθεί, είναι πως και στις 4 τομές, στην απόσταση από 12.5-17.5 μ της τομής και στο βάθος του 1 μ παρατηρείται ένας μικρός αντιστατικός σχηματισμός, ο οποίος δεν παρατηρείται στο αρχικό μοντέλο 1. Προφανώς, πρόκειται για κάποιο 'artifact' το οποίο προκύπτει από την διαδικασία της αντιστροφής, λόγω της απότομης μεταβολής της τοπογραφίας που παρατηρείται στο σημείο εκείνο.

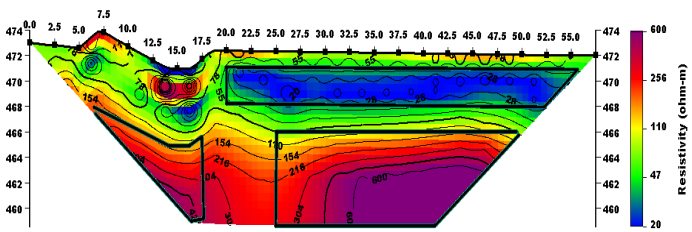
Όσον αφορά την βαθύτερη περιοχή της τομής από τα 466 μ και πιο κάτω, παρατηρείται πως μόνον οι τύποι αντιστροφής L1L2 και L2L2 εντοπίζουν την ρηξιγενή ζώνη που βρίσκεται από τα 17.5-25 μ της τομής στο αρχικό μοντέλο που κατασκευάστηκε. Ωστόσο, η mg L1L2 εντοπίζει πολύ καλά την θέση των αντιστατικών σχηματισμών 2 και 3, ενώ και ο εντοπισμός της ρηξιγενούς ζώνης φαίνεται να γίνεται πολύ πιο καθαρά σε αυτή την τομή συγκριτικά με τον τύπο αντιστροφής L2L2.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

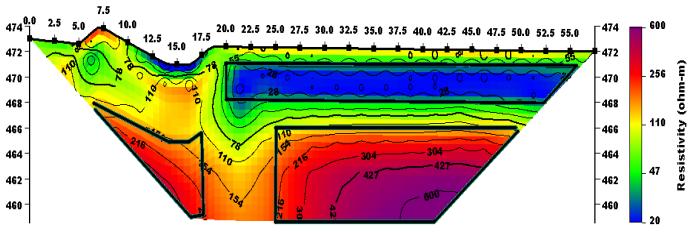
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



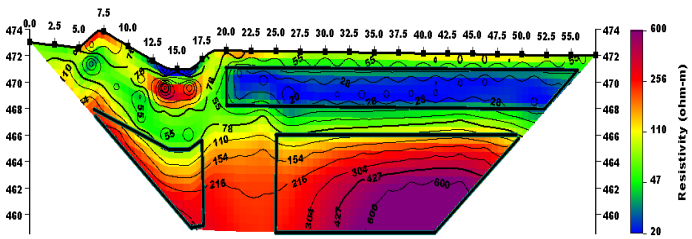
A) mg L1L1 Iterations : 7 RMS : 4.2 %



B) mg L2L1 Iterations : 7 RMS : 1.7 %



Γ) mg L1L2 Iterations : 7 RMS : 4.2 %



Δ) mg L2L2 Iterations : 7 RMS : 2.1 %

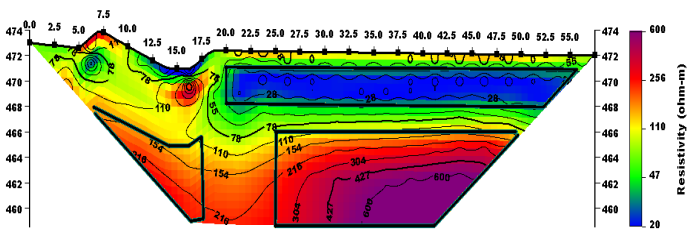
Εικόνα 5-3: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα. Η εξομάλυνση της αντιστροφής έγινε στην τελική επανάληψη της αντιστροφής.

Στην Εικόνα 5-3**,** φαίνονται τα μοντέλα αντιστροφής, αυτή την φορά όμως με το smoothing να έχει γίνει στο τελικό στάδιο της αντιστροφής για το κάθε ένα ξεχωριστά. Παρατηρείται και εδώ, πως ο αντιστατικός σχηματισμός 1 εντοπίζεται και από τους τέσσερις τύπους της αντιστροφής, ενώ και πάλι η ρηξιγενής ζώνη εντοπίζεται καλύτερα από την L1L2 (τομή Γ).

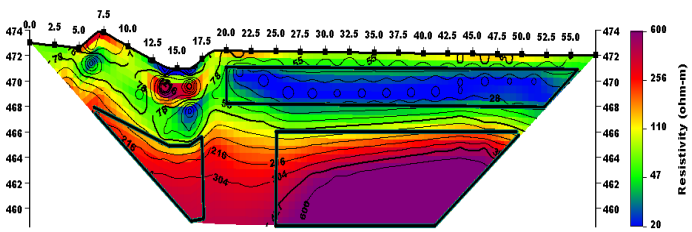
Ωστόσο, οι σχηματισμοί 2 και 3 φαίνεται να μην αποτυπώνονται με τόσο μεγάλη ακρίβεια όσον αφορά το σχήμα τους, κυρίως στον τύπο αντιστροφής L2L2, όπου πλέον δεν εντοπίζεται ούτε η ρηξιγενής ζώνη. Μικρή βελτίωση παρατηρείται στον τύπο αντιστροφής L2L1, καθώς φαίνεται να εντοπίζει σε μικρό βαθμό την ρηξιγενή ζώνη, παρόλα αυτά με έναν μικρό βαθμό μετατόπισης προς τα δεξιά.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

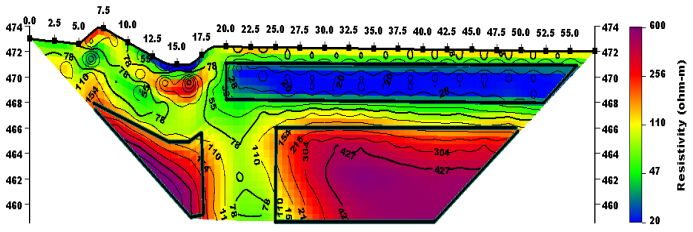
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



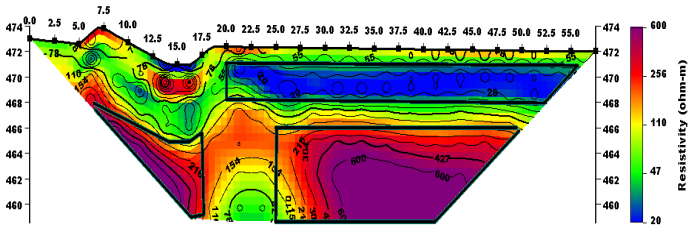
A) mg_full L1L1 Iterations : 7 RMS : 3.6 %



B) mg_full L2L1 Iterations : 7 RMS : 1.7 %



Γ) mg_full L1L2 Iterations : 7 RMS : 2.81 %



Δ) mg_full L2L2 Iterations : 7 RMS : 1.4 %

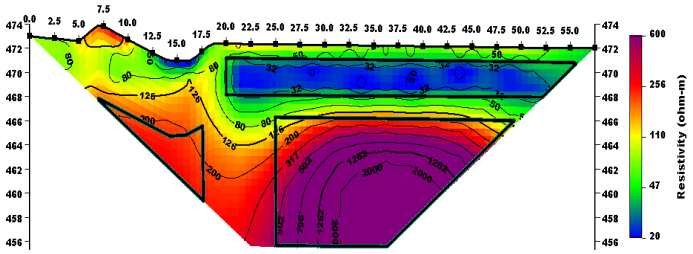
Εικόνα 5-4: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα με πρωτόκολλο περισσότερων μετρήσεων (1771 μετρήσεις). Η εξομάλυνση της αντιστροφής, γινόταν σε κάθε επανάληψη αυξητικά.

Στην Εικόνα 5-4**,** φαίνονται τα μοντέλα για την πολλαπλής βαθμίδας διάταξη, χρησιμοποιώντας περισσότερες μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, ενώ το αρχικό πρωτόκολλο περιείχε 609 μετρήσεις, το νέο αυξήθηκε στις 1771 μετρήσεις, σχεδόν τριπλάσιες. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αν και παρουσιάζουν μια μικρή ελάττωση του RMS, δεν δείχνουν κάποια ουσιαστική διαφορά με εκείνα των λιγότερων μετρήσεων, καθώς δεν φαίνεται να εντοπίζουν κάποιον άλλον σχηματισμό η να έχουν μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα.

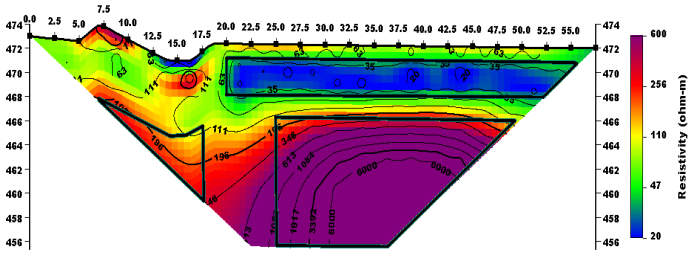
Αν και αναμενόταν λοιπόν, ένας αρκετά μεγαλύτερος αριθμός υπαίθριων μετρήσεων να προσφέρει πολύ καλύτερα αποτελέσματα, φαίνεται πως η ποσότητα των ηλεκτρικών δεδομένων δεν μεταφράζεται πάντοτε και σε ακριβέστερα γεωηλεκτρικά μοντέλα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

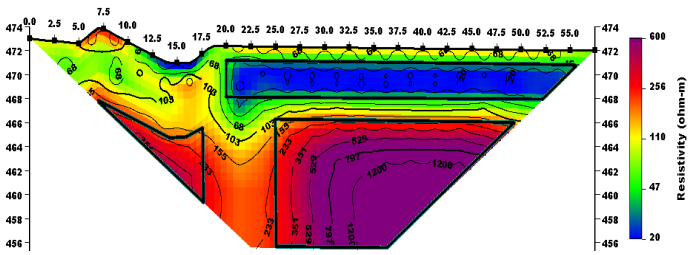
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



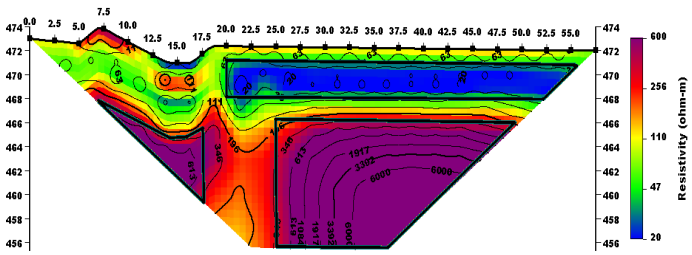
A) dd L1L1 Iterations : 7 RMS : 5.1 %



B) dd L2L1 Iterations : 7 RMS : 3.34 %



Γ) dd L1L2 Iterations : 7 RMS : 4.18 %



Δ) dd L2L2 Iterations : 7 RMS : 2.49 %

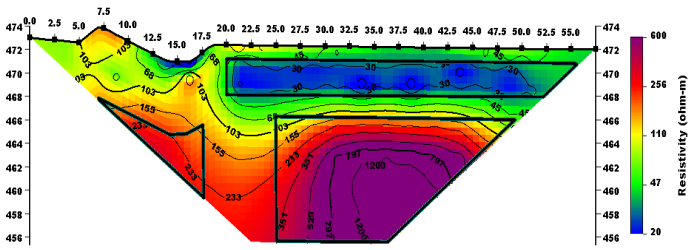
Εικόνα 5-5: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα. Η εξομάλυνση της αντιστροφής, γινόταν σε κάθε επανάληψη αυξητικά.

Στην Εικόνα 5-5**,** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την διαδικασία της αντιστροφής, για την διάταξη διπόλου- διπόλου όσον αφορά το μοντέλο 1. Παρατηρείται πως και η συγκεκριμένη διάταξη εντοπίζει με τον ίδιο τρόπο τον σχηματισμό 1 ακριβώς όπως και η πολλαπλής βαθμίδας, εκτός από τον τύπο αντιστροφής L1L1, όπου φαίνεται κάπως μειωμένη η διακριτική ικανότητα. Ο σχηματισμός που εντοπίστηκε στην πολλαπλής βαθμίδας διάταξη και θεωρήθηκε ως "artifact " της αντιστροφής λόγω της τοπογραφίας, φαίνεται να εντοπίζεται σε μικρότερο βαθμό εδώ και πιο συγκεκριμένα μόνο στον τύπο αντιστροφής dd L2L1 και dd L2L2. Ο τύπος αντιστροφής L1L2, φαίνεται να εντοπίζει πάλι με μεγαλύτερη ακρίβεια και καθόλου μετατοπισμένη την ρηξιγενή ζώνη από τα 17.5-25 μ της τομής. Η διακριτική ικανότητα φαίνεται περιορισμένη όσον αφορά την αποτύπωση του σχηματισμού 2, ο οποίος φαίνεται πολύ καλύτερα στην εικόνα της τομής Δ.

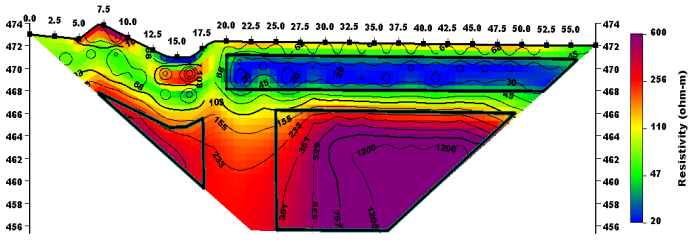
Τέλος, αν και ο τύπος dd L1L2 όπως προαναφέρθηκε αδυνατεί να εντοπίσει καθαρά τον σχηματισμό 2, παρόλα αυτά αποτυπώνει τον σχηματισμό 3 με τις πιο σωστές αντιστατικές τιμές, καθώς οι υπόλοιπες τρεις τομές φαίνεται να παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερες τιμές για τον συγκεκριμένο σχηματισμό σε σχέση με την εκείνη που ορίστηκε στο αρχικό μοντέλο 1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

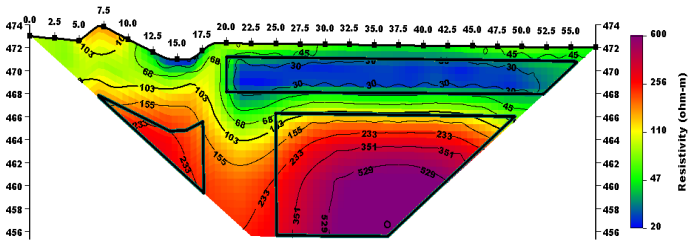
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



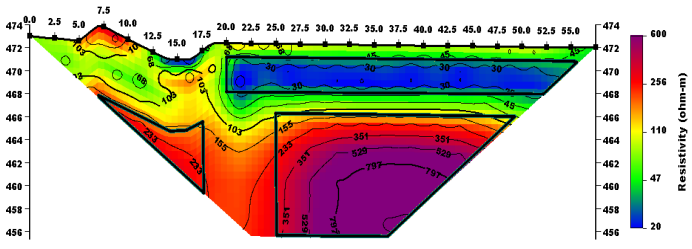
A) dd L1L1 Iterations : 7 RMS : 5.98 %



B) dd L2L1 Iterations : 7 RMS : 2.97 %



Γ) dd L1L2 Iterations : 7 RMS : 6.78 %



Δ) dd L2L2 Iterations : 7 RMS : 4.26 %

Εικόνα 5-6: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα. Η εξομάλυνση της αντιστροφής έγινε για το κάθε μοντέλο στην τελική επανάληψη της αντιστροφής.

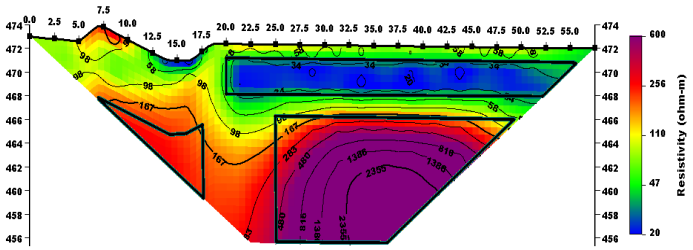
Για τα παραπάνω μοντέλα, το smoothing εκτελέστηκε στην τελευταία επανάληψη της διαδικασίας της αντιστροφής. Γενικά, τα αποτελέσματα των περισσότερων τομών φαίνεται να αποτυπώνουν τους τρεις σχηματισμούς του μοντέλου 1 με αρκετά μικρότερη διακριτική ικανότητα. Παρατηρείται επίσης, πως το RMS παρουσίασε αρκετά μεγάλη μεταβολή για όλους τους τύπους αντιστροφής εκτός από τον L2L1. Αντίθετα, στον συγκεκριμένο τύπο αντιστροφής , παρατηρήθηκε μείωση του RMS και αύξηση της διακριτικής ικανότητας.

Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος αντιστροφής dd L2L1 φαίνεται να εντοπίζει με καλή διακριτική ικανότητα τον αντιστατικό σχηματισμό 3 αλλά και την ρηξιγενή ζώνη με ακρίβεια θέσης. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζει είναι πολύ κοντά με τα αποτελέσματα που παρουσίασε ο τύπος αντιστροφής dd L1L2 στην Εικόνα 5-5.

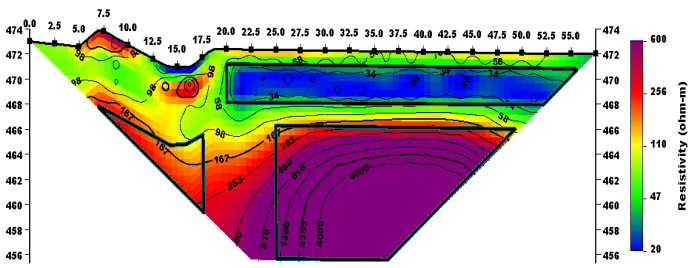
Όσον αφορά την σύγκριση της διάταξης διπόλου-διπόλου με την πολλαπλής βαθμίδας, συμπεραίνεται πως η πρώτη παρουσιάζει μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης, ωστόσο αδυνατεί να εντοπίσει τους σχηματισμούς 2 και 3 στον βαθμό που εντοπίζονται από την διάταξη πολλαπλής βαθμίδας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο μικρότερο οριζόντιο πεδίο διασκόπησης που έχει η διάταξη διπόλου-διπόλου. Ωστόσο, εκτός από τους σχηματισμούς 2 και 3 η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας φαίνεται να απεικονίζει επίσης σε πολύ καλύτερο βαθμό την ρηξιγενή ζώνη στην απόσταση 17.5-25 μ της τομής του αρχικού μοντέλου 1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

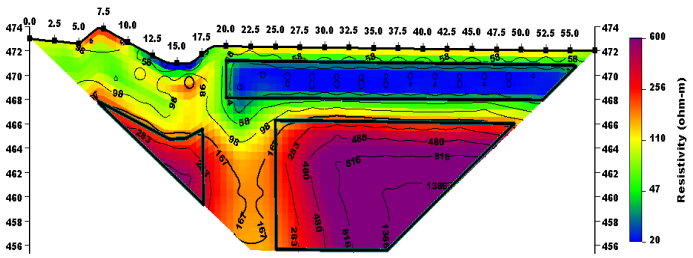
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



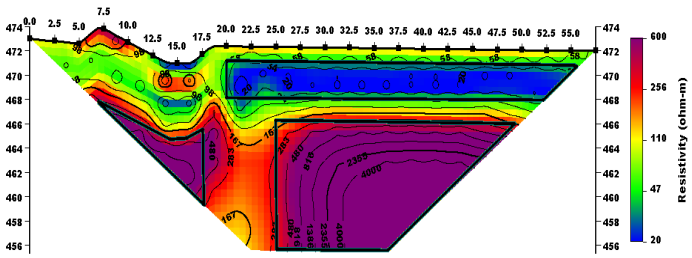
A) ddmg L1L1 Iterations : 7 RMS : 4.89 %



B) ddmg L2L1 Iterations : 7 RMS : 3.19 %



Γ) ddmg L1L2 Iterations : 7 RMS : 3.91 %



Δ) ddmg L2L2 Iterations : 7 RMS : 2.29 %

Εικόνα 5-7: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole-multigradient για τους τύπους αντιστροφής L1L1, L1L2, L2L1, L2L2 αντίστοιχα. Η εξομάλυνση της αντιστροφής, γινόταν σε κάθε επανάληψη αυξητικά.

Παραπάνω παρουσιάζονται τα μοντέλα αντιστροφής, για την συνδυαστική διάταξη, στην οποία κατά το στάδιο υπαίθρου χρησιμοποιήθηκε πρωτόκολλο, το οποίο περιλάμβανε μετρήσεις διάταξης διπόλου-διπόλου και πολλαπλής βαθμίδας ταυτόχρονα. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, οι μετρήσεις της διάταξης διπόλου-διπόλου φαίνεται να υπερκαλύπτουν τα δεδομένα της πολλαπλής βαθμίδας. Έτσι, οι τελικές τομές είναι πολύ κοντά στις εικόνες που παρουσιάστηκαν παραπάνω για τα αποτελέσματα της διάταξης διπόλου-διπόλου (Εικόνα 5-5).

Τα τελικά συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την ανάλυση και ερμηνεία του συνθετικού μοντέλου 1 συνοψίζονται παρακάτω :

Όσον αφορά την επιλογή της καταλληλότερης διάταξης για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, αυτή φαίνεται να είναι η πολλαπλής βαθμίδας (multigradient). Παρόλο που και η διάταξη διπόλου-διπόλου έδωσε αποτελέσματα πολύ κοντά στο συνθετικό μοντέλο 1, ωστόσο όπως αποδείχθηκε αδυνατεί να εντοπίσει την ρηξιγενή ζώνη που βρίσκεται στα 17.5-25 μ της διάταξης τόσο καθαρά όσο η πολλαπλής βαθμίδας. Παράλληλα, εκτός από τον σχηματισμό 1 που εντοπίζεται σχεδόν σε όλες τις τομές πολύ καθαρά, η πολλαπλής βαθμίδας διάταξη εντόπιζε επιπρόσθετα τους σχηματισμούς 2 και 3 πολύ καλύτερα από την διάταξη διπόλου-διπόλου, τόσο όσον αφορά τις αντιστατικές τους τιμές, αλλά και την μορφολογία

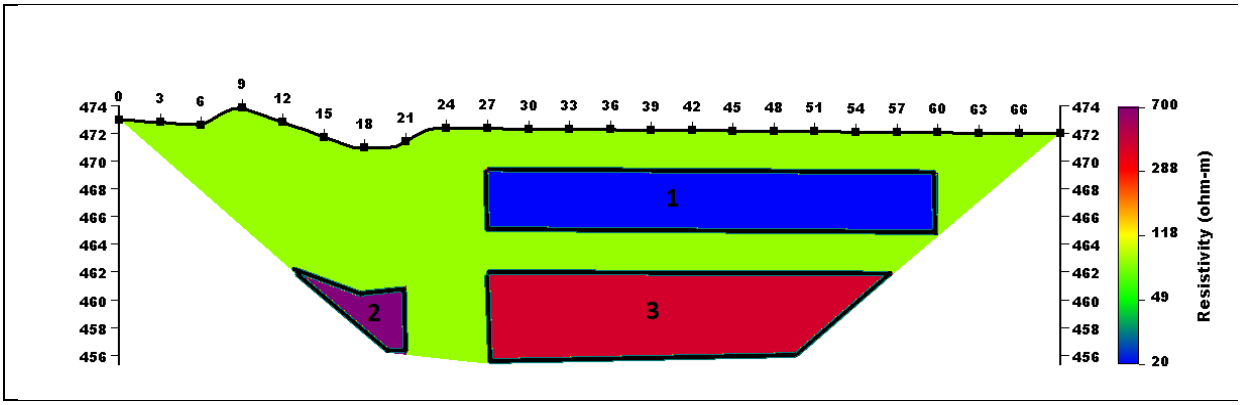
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

και την θέση στην οποία βρίσκονται. Όσον αφορά τον τύπο αντιστροφής, ο L1L2 με το smoothing του μοντέλου να γίνεται αυξητικά στην κάθε επανάληψη αντιστροφής φάνηκε να είναι και ο καλύτερος. Ωστόσο, ο τύπος αντιστροφής L2L1 στην περίπτωση που το smoothing σημειώνεται στην τελευταία επανάληψη, φάνηκε να δίνει επίσης αξιόπιστα αποτελέσματα, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδίως για την διάταξη διπόλου-διπόλου φαίνεται να είναι παρόμοια με εκείνα του τύπου αντιστροφής L1L2.

Τέλος, τα αντιστατικά μοντέλα τα οποία προέκυψαν από την χρήση του πρωτοκόλλου περισσότερων μετρήσεων στο ύπαιθρο, δεν φάνηκε να παρουσιάζουν κάποια σημαντική διαφορά σε σχέση με τα άλλα. Επομένως, η χρήση του πρωτοκόλλου με περισσότερες μετρήσεις δεν θα οδηγούσε σε ακριβέστερα αντιστατικά μοντέλα. Επιπλέν, το κόστος χρόνου για την πραγματοποίηση αυτών θα ήταν αρκετά μεγαλύτερο.

5.3.2 Συνθετικό μοντέλο 2, περιοχή μελέτης Α



Εικόνα 5-8: Συνθετικό μοντέλο 2, περιοχή μελέτης Α.

Το συνθετικό μοντέλο 2 φαίνεται να είναι σχεδόν παρόμοιο με το συνθετικό μοντέλο 1. Ωστόσο παρατηρούνται ορισμένες σημαντικές διαφορές, οι οποίες και σχολιάζονται παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα, στο μοντέλο 2 παρατηρούνται τα εξής στοιχεία :

- Υπάρχει και εδώ ένας αγώγιμος σχηματισμός στο βάθος των 2 μ, πάχους περίπου 4 μ (**Σχηματισμός 1**) από τα 27-60 μ της τομής.
- Ο **σχηματισμός 2** και **3,** όπως και στο μοντέλο 1 φαίνεται να παρουσιάζουν επίσης υψηλές αντιστατικές τιμές, με τον σχηματισμό 2 να φτάνει στα 700 Ohm-m ενώ ο σχηματισμός 3 έχει και εδώ αντίσταση 400 Ohm-m.
- Παρατηρείται επίσης ανάμεσα στους σχηματισμούς 2 και 3 μια ρηξιγενής ζώνη από τα 21-27 μ της τομής.

Οι κύριες διαφορές με το συνθετικό μοντέλο 1, εντοπίζονται στον αγώγιμο σχηματισμό, ο οποίος αυτή την φορά δεν καλύπτει την ρηξιγενή ζώνη σε αντίθεση με πριν.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

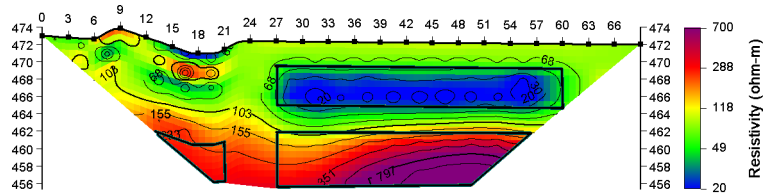
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Το βάθος των σχηματισμών 2 και 3, έχει αυξηθεί κατά 4 μ σε σχέση με το μοντέλο 1, καθώς φαίνεται να εντοπίζονται στο απόλυτο υψόμετρο των 462 μ. Το μεγαλύτερο βάθος των σχηματισμών που επιλέχθηκε αυτή την φορά, είχε ως επακόλουθο την αύξηση της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων. Έτσι, φαίνεται στην Εικόνα 5-8**,** η απόσταση μεταξύ αυτών να είναι στα 3 μ, με στόχο να αυξηθεί η διακριτική ικανότητα της διασκόπησης σε βάθος. Αποτέλεσμα επίσης της αύξησης της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων, είναι και το μεγαλύτερο μήκος τομής το οποίο φαίνεται να είναι 69 μ. Σημειώνεται τέλος, πως η αντίσταση του ημιχώρου επιλέχθηκε να είναι 80 Ohm-m.

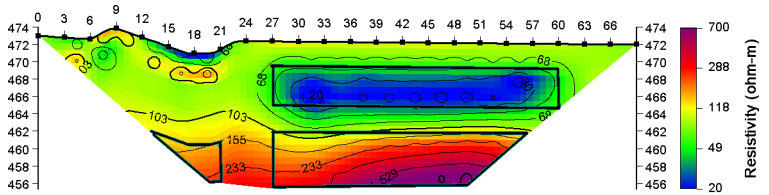
Παρακάτω λοιπόν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αντιστροφής των διατάξεων και τύπων αντιστροφής, τα οποία αναφέρθηκαν και παραπάνω κατά τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων για το συνθετικό μοντέλο 1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

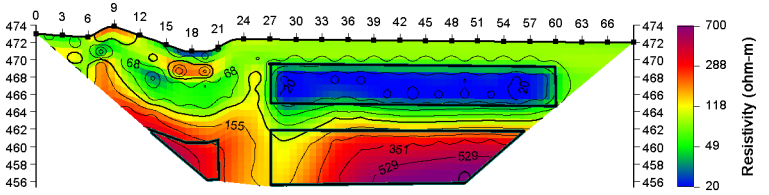
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



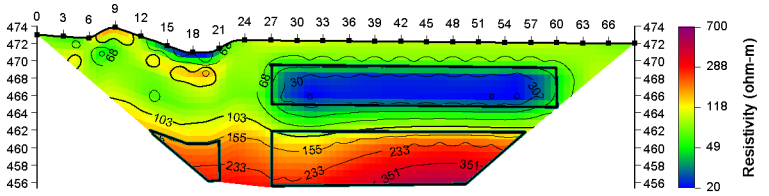
A) mg L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 2.13 %



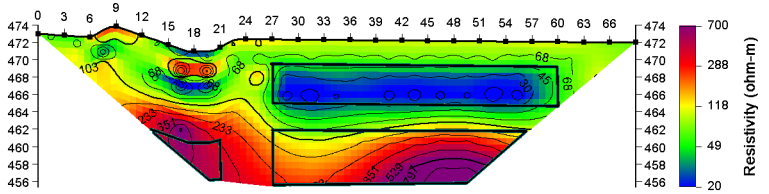
E) mg L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 3.64 %



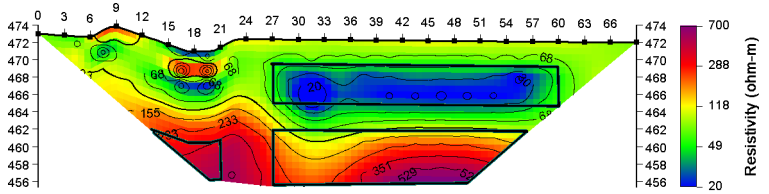
B) mg L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.5 %



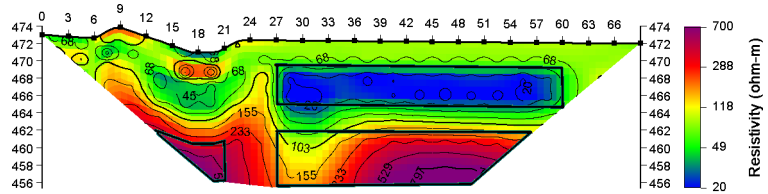
ΣΤ) mg L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 3.65 %



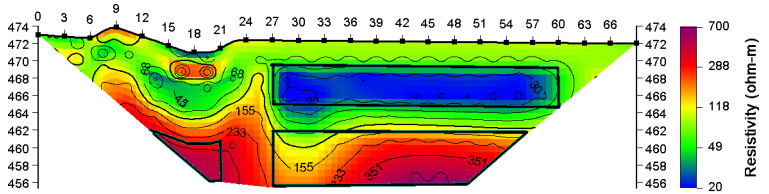
Γ) mg L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.96 %



Z) mg L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 1.1 %



Δ) mg L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.8 %



H) mg L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.89 %

Εικόνα 5-9: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Παρατηρώντας τις τομές που παρουσιάζονται στην αριστερή στήλη, με την εξομάλυνση να εκτελείται αυξητικά σε κάθε επανάληψη αντιστροφής, φαίνεται πάλι, ότι και οι τέσσερις τύποι αντιστροφής εντοπίζουν με μεγάλη ακρίβεια τον αγώγιμο σχηματισμό 1. Ωστόσο, ο τύπος αντιστροφής L2L1 (τομή Γ) φαίνεται να τον εντοπίζει με μικρότερη διακριτική ικανότητα, ενώ ο L2L2 (τομή Δ) με μια μικρή μετατόπιση προς τα κάτω. Από τα 15-21 μ της τομής και σε βάθος 2 μ, εντοπίζεται και πάλι ένας μικρός αντιστατικός σχηματισμός, ο οποίος αντιστοιχεί στο τεχνητό στοιχείο που προκύπτει από την αντιστροφή, που όπως αναφέρθηκε και στο μοντέλο 1, οφείλεται στην απότομη μεταβολή της τοπογραφίας στην περιοχή εκείνη. Όσον αφορά τους αντιστατικούς σχηματισμούς 2 και 3, φαίνεται να εντοπίζονται από όλους τους τύπους αντιστροφής στην αριστερή στήλη, εκτός από την τομή Α. Ωστόσο, στην τομή Β με τύπο αντιστροφής L1L2 οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί απεικονίζονται πολύ καλύτερα μέσα στα όριο του αρχικού μοντέλου, κυρίως ο σχηματισμός 2. Τέλος, στην ίδια τομή παρατηρείται πως η ρηξιγενής ζώνη που ορίστηκε στο συνθετικό μοντέλο 2 εντοπίζεται αρκετά καθαρά, παρόλα αυτά με μία μικρή μετατόπιση περίπου 2 μ, ενώ στην τομή Δ η μετατόπιση αυτή είναι 5 μ, αρκετά μεγαλύτερη.

Στην δεξιά στήλη, παρουσιάζονται τα μοντέλα με την εξομάλυνση της αντιστροφής να έχει εκτελεστεί μόνο στην έβδομη επανάληψη. Γίνεται φανερό, πως τα αποτελέσματα της αριστερής στήλης είναι πολύ καλύτερα, κυρίως όσον αφορά τον εντοπισμό των σχηματισμών 2, 3 αλλά και στην απεικόνιση του αγώγιμου σχηματισμού 1. Επίσης, το RMS φαίνεται να αυξήθηκε συγκριτικά με τις προηγούμενες τομές κυρίως όσον αφορά τον τύπο αντιστροφής L1L1 και L1L2. Μικρή βελτίωση ωστόσο, παρατηρείται στον τύπο αντιστροφής L2L1 (τομή Ζ), αφού φαίνεται να παρουσιάζει την ρηξιγενή ζώνη καθώς και τον σχηματισμό 2 καλύτερα από την τομή Γ. Τέλος, η τομή Η, δεν παρουσίασε μεγάλες διαφορές με την τομή Δ, γεγονός που αποδεικνύει μάλλον πως η εξομάλυνση της αντιστροφής στον τύπο L2L2, επηρεάζει περισσότερο τις αντιστατικές τιμές και λιγότερο την μορφολογία των σχηματισμών.

Όσον αφορά το συνθετικό μοντέλο 2 και τα αποτελέσματα αντιστροφής και για τους τέσσερις τύπους αντιστροφής, αλλά και με εξομάλυνση σε διαφορετικό στάδιο της αντιστροφής για την διάταξη πολλαπλής βαθμίδας, αυτά είναι πολύ κοντά με εκείνα του μοντέλου 1.

Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος αντιστροφής L1L2 και με την εξομάλυνση να έχει εκτελεστεί αυξητικά σε κάθε επανάληψη της αντιστροφής (τομή Β), φαίνεται να είναι η καλύτερη επιλογή όσον αφορά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, αν και παρουσιάζει σχετικά μεγαλύτερο RMS από μερικές άλλες τομές πχ Γ και Δ. Τέλος αξίζει να αναφερθεί το γεγονός, πως στην περίπτωση του συνθετικού μοντέλου 2, η τομή Β, η οποία κρίθηκε ως η

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

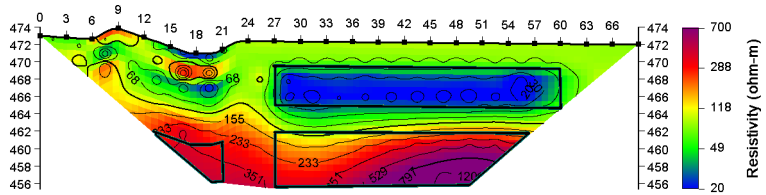
πιο αξιόπιστη, παρουσιάζει μια αξιοσημείωτη μετατόπιση της ρηξιγενούς ζώνης στα 2μ, κάτι το οποίο δεν παρατηρήθηκε στο προηγούμενο συνθετικό μοντέλο. Προφανώς, σε αυτό οφείλεται το μεγαλύτερο βάθος στο οποίο τοποθετήθηκαν οι δύο αντιστατικοί σχηματισμοί, επομένως και η ρηξιγενής ζώνη. Επομένως, μια αύξηση 4 μ του βάθους των αντιστατικών σχηματισμών, οδήγησε σε μείωση της διακριτικής ικανότητας της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας όσον αφορά τον εντοπισμό του σχηματισμού 2, αλλά και σε μία μετατόπιση 2 μ της ρηξιγενούς ζώνης.

Στην Εικόνα 5-10, παρουσιάζονται οι τομές για το συνθετικό μοντέλο 2, μετά την αντιστροφή και χρησιμοποιώντας το νέο πρωτόκολλο της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας. Το ίδιο πρωτόκολλο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο συνθετικό μοντέλο 1, με τις 1771 μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε επίσης και εδώ. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα των τομών παρακάτω επιβεβαιώνει το συμπέρασμα το οποίο εξήχθη από την ερμηνεία των τομών του μοντέλου 1 για το ίδιο πρωτόκολλο. Παρατηρείται, ότι ούτε στην περίπτωση αυτή ο μεγαλύτερος αριθμός μετρήσεων έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, καθώς οι αδυναμίες οι οποίες παρατηρήθηκαν στα αποτελέσματα πριν εντοπίζονται και εδώ χωρίς καμία τουλάχιστον ευδιάκριτη διαφορά.

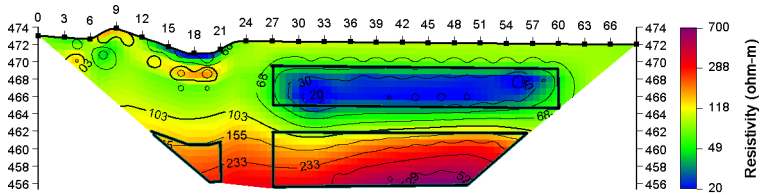
Ωστόσο, το RMS των περισσότερων τομών φαίνεται να μειώθηκε και στην περίπτωση των μοντέλων με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη αυξητικά αλλά και στα μοντέλα όπου αυτή εκτελείται κατά το τελικό στάδιο αντιστροφής. Άλλωστε, η μικρότερη τιμή του RMS όπως προαναφέρθηκε δεν αντιστοιχεί σε καλύτερα αποτελέσματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μέχρι τώρα, αποτελεί ο τύπος αντιστροφής L1L2 στηνδιάταξη πολλαπλής βαθμίδας, ο οποίος παρόλο που έχει μεγαλύτερες τιμές RMS από τους τύπους αντιστροφής L2L1 και L2L2, εντοπίζει τόσο την μορφολογία όσο και την θέση των σχηματισμών και της ρηξιγενούς ζώνης πολύ καλύτερα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

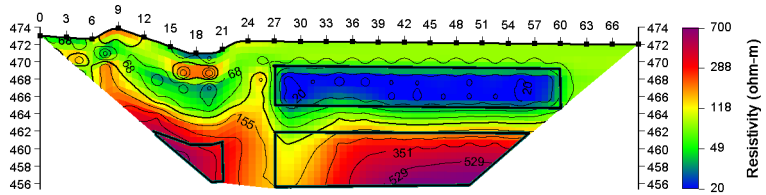
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



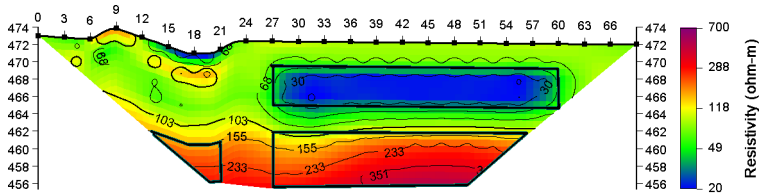
A) mg full L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.5 %



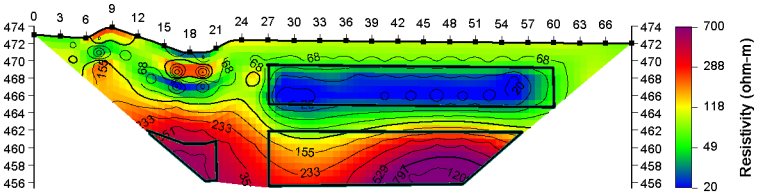
E) mg full L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 3.4 %



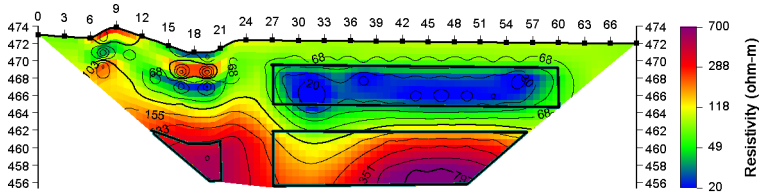
B) mg full L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.1 %



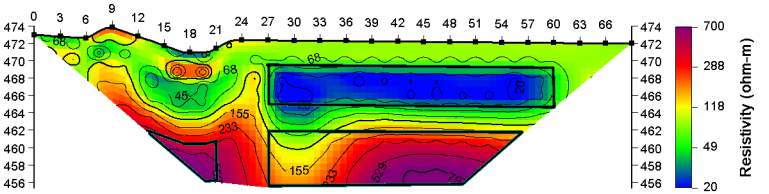
ΣΤ) mg full L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 3.6 %



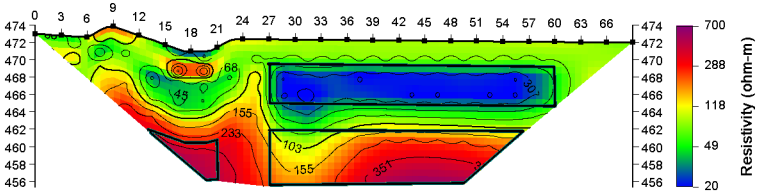
Γ) mg full L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.86 %



Z) mg full L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 1.1 %



Δ) mg full L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.81 %

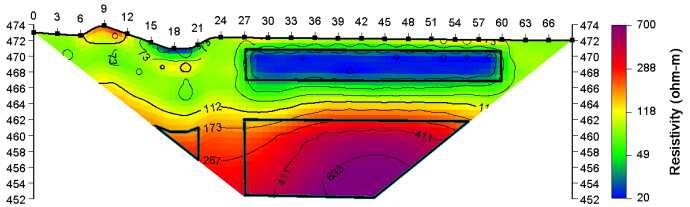


H) mg full L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 1.2 %

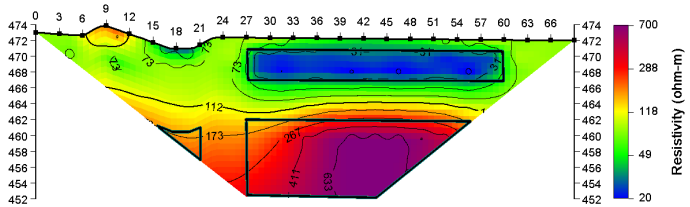
Εικόνα 5-10: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη), χρησιμοποιώντας το νέο πρωτόκολλο το οποίο περιείχε 1771 μετρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

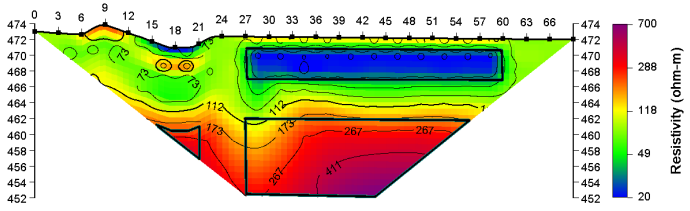
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



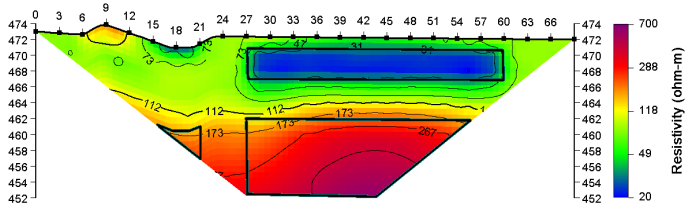
A) dd L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 3.21 %



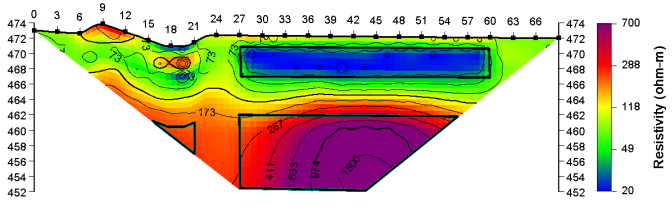
E) dd L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 4.9 %



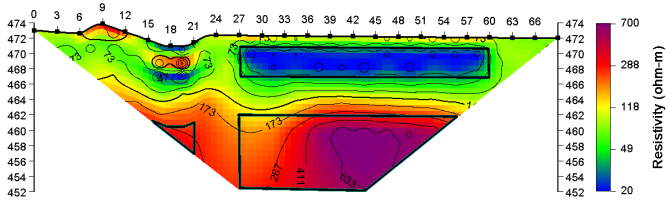
B) dd L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 2.6 %



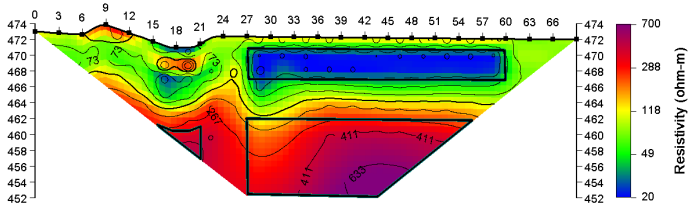
ΣΤ) dd L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 5.1 %



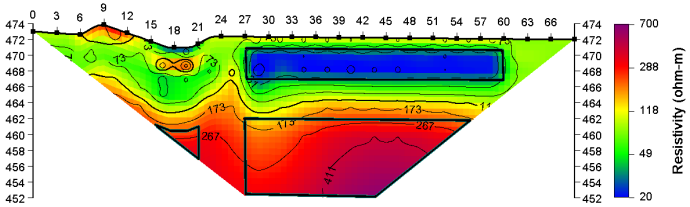
Γ) dd L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.75 %



Z) dd L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.25 %



Δ) dd L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.31 %



H) dd L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 1.56 %

Εικόνα 5-11: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Στην Εικόνα 5-11, παρουσιάζονται τα μοντέλα αντιστροφής της διάταξης διπόλου-διπόλου, έτσι όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα αντιστροφής DC_2DPRO, και για τους τέσσερις διαφορετικούς τύπους αντιστροφής (L1L1, L1L2, L2L1, L2L2) αντίστοιχα. Παρατηρείται και εδώ, ότι οι τύποι αντιστροφής L1L1 και L1L2, παρουσιάζουν μεγαλύτερη τιμή RMS συγκριτικά με τις άλλες τομές. Σε όλες τις τομές φαίνεται να εντοπίζεται με μεγάλη ακρίβεια θέσης ο αντιστατικός σχηματισμός 1. Οι τεχνητοί σχηματισμοί οι οποίοι προκύπτουν από την διόρθωση της τοπογραφίας διακρίνονται και στις τομές της διάταξης διπόλου-διπόλου στον ίδιο βαθμό.

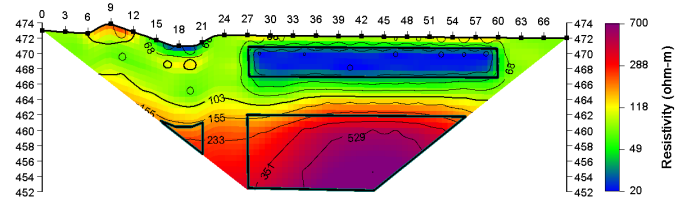
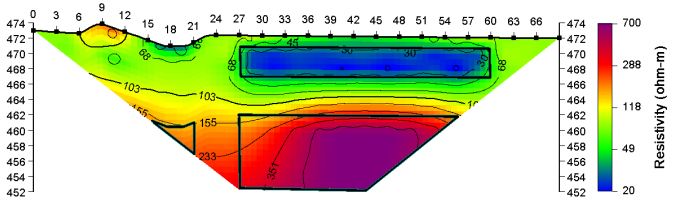
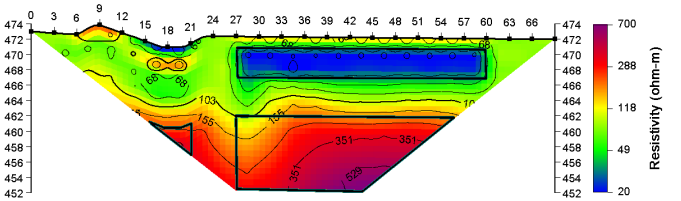
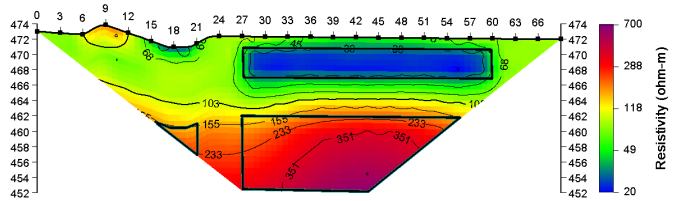
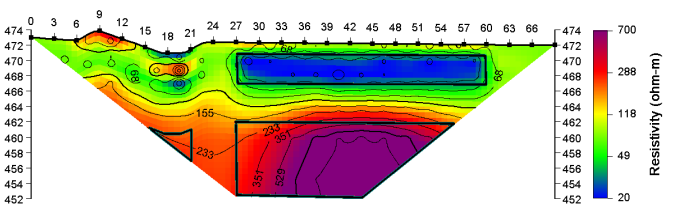
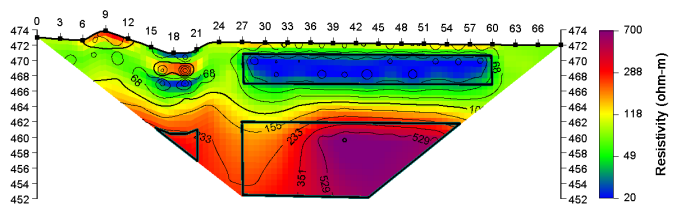
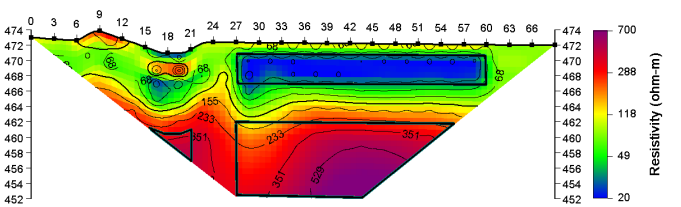
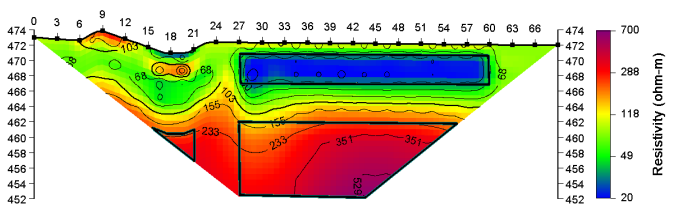
Όσον αφορά τις τομές της αριστερής στήλης, στην τομή Α και Γ ο αντιστατικός σχηματισμός 3 φαίνεται να εντοπίζεται αρκετά καλά, εφόσον βρίσκεται σε καλή συμφωνία με τα όρια του αρχικού μοντέλου. Ωστόσο, στην τομή Γ οι τιμές είναι αρκετά πιο υψηλές (1200 Ohm-m) σε σχέση με αυτές που ορίστηκαν στο αρχικό μοντέλο. Παρόλα αυτά οι συγκεκριμένες τομές αδυνατούν να εντοπίσουν ακόμα και σε μικρό βαθμό την ύπαρξη της ρηξιγενούς ζώνης. Αντίθετα, αν και οι τομές Β και Δ δεν εντοπίζουν τον σχηματισμό 3 τόσο καλά όσο οι προηγούμενες, ωστόσο φαίνεται να απεικονίζεται στα αποτελέσματά τους σε μικρό βαθμό και ο σχηματισμός 2, με αποτέλεσμα να φαίνεται και η ρηξιγενής ζώνη ανάμεσα στους δύο τελευταίους.

Όσον αφορά την δεξιά στήλη, παρατηρούνται και εδώ οι τομές με το smoothing να έχει εκτελεστεί στο τελικό στάδιο της αντιστροφής ($7^{η}$ επανάληψη). Η τομή Ε δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την εξομάλυνση, αφού τα αποτελέσματα βρίσκονται πολύ κοντά σε εκείνα της τομής Α. Η τομή Η, παρουσιάζει επίσης κοινά αποτελέσματα με την τομή Δ. Έτσι επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα το οποίο προέκυψε πριν και από την διάταξη πολλαπλής βαθμίδας για τον τύπο αντιστροφής L2L2. Ότι δηλαδή η εξομάλυνση επηρεάζει περισσότερο τις αντιστατικές τιμές των σχηματισμών πχ (σχηματισμός 2 και 3 στις τομές Δ και Η) και πολύ λιγότερο την μορφολογία αυτών. Η τομή ΣΤ φαίνεται να αποκλίνει αρκετά από την τομή Β και να παρουσιάζει χειρότερα αποτελέσματα. Τέλος, η τομή Ζ φαίνεται να παρουσιάζει διαφορά όσον αφορά την απεικόνιση του σχηματισμού 3, ο οποίος απεικονίζεται καλύτερα στην τομή Γ, ωστόσο εντοπίζει σε μικρό βαθμό τον σχηματισμό 2 και δίνει καλύτερα την εικόνα μιας πιθανούς ζώνης διάρρηξης.

Συμπερασματικά για την διάταξη διπόλου-διπόλου, ο τύπος αντιστροφής L1L2 (τομή Β) φαίνεται να απεικονίζει καλύτερα την ρηξιγενή ζώνη, ενώ ο τύπος αντιστροφής L2L2 (τομή Δ) απεικονίζει καλύτερα τους αντιστατικούς σχηματισμούς 2 και 3.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή

	
A) ddmg L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 3.2 %	E) ddmg L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 4.9 %
	
B) ddmg L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 2.6 %	ΣΤ) ddmg L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 5.1 %
	
Γ) ddmg L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.76 %	Z) ddmg L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.27 %
	
Δ) ddmg L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.3 %	H) ddmg L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 1.56 %

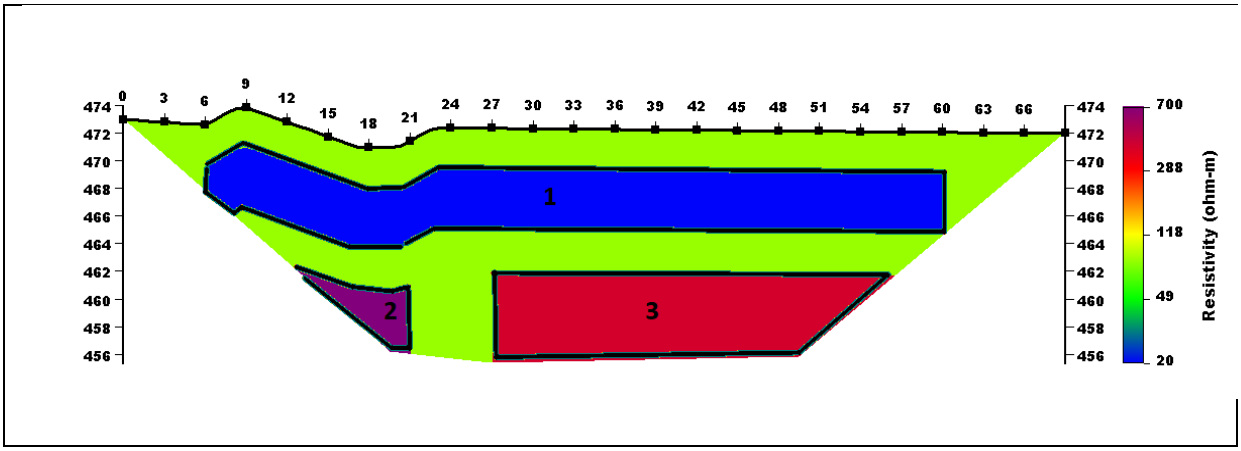
Εικόνα 5-12: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole-multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Τα τελικά αποτελέσματα για το συνθετικό μοντέλο 2 παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-12 και αφορούν την συνδυαστική διάταξη πολλαπλής βαθμίδας και διπόλου-διπόλου. Όπως προαναφέρθηκε και στην ανάλυση της συγκεκριμένης διάταξης κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων που παρουσίασε στο συνθετικό μοντέλο 1, αυτή φαίνεται να υπερκαλύπτεται κυρίως από την διάταξη διπόλου-διπόλου. Για τον λόγο αυτό, τα αποτελέσματα που παρουσιάζει είναι σχεδόν παρόμοια με εκείνα της διπόλου-διπόλου που ερμηνεύτηκαν παραπάνω. Ίσως η πιο ορατή διαφορά είναι στην τομή Z, όπου φαίνεται η απεικόνιση του σχηματισμού 3 να είναι καλύτερη απ' ότι στην τομή Γ. Όσον αφορά τον εντοπισμό της ρηξιγενούς ζώνης, φαίνεται και εδώ ο πιο αξιόπιστος τύπος αντιστροφής να παρουσιάζεται στην τομή Β (L1L2).

5.3.3 Συνθετικό μοντέλο 3, περιοχή μελέτης Α



Εικόνα 5-13: Συνθετικό μοντέλο 3, περιοχή μελέτης Α.

Όπως παρατηρείται, το συνθετικό μοντέλο 3 έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το μοντέλο 2 όσον αφορά :

- Το μήκος τομής, επομένως και την απόσταση των ηλεκτροδίων.
- Το βάθος διασκόπησης.
- Την θέση, την μορφολογία, καθώς και τις αντιστατικές τιμές των σχηματισμών 2 και 3.
- Την θέση και την έκταση της ρηξιγενούς ζώνης.

Στην περίπτωση αυτή ωστόσο, ο αγώγιμος σχηματισμός 1 φαίνεται να καλύπτει όλη την έκταση της τομής.

Σκοπός λοιπόν του συγκεκριμένου μοντέλου, είναι να ερευνηθεί το κατά πόσο η παρουσία του συγκεκριμένου αγώγιμου στρώματος θα επηρεάσει τον

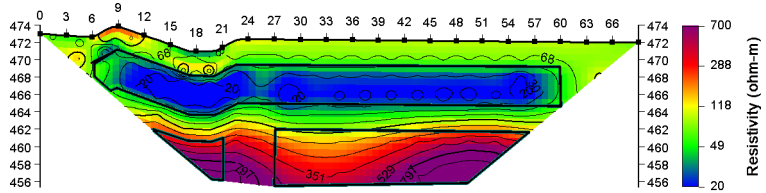
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

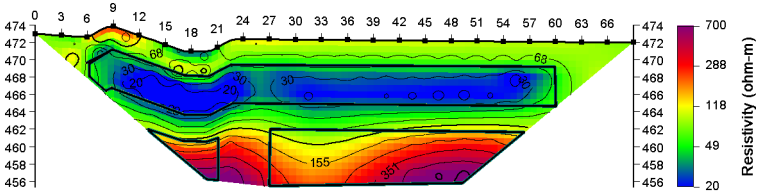
εντοπισμό των βαθύτερων σχηματισμών 2 και 3, αλλά κυρίως το πόσο καλά θα εντοπιστεί η θέση και η έκταση της ρηξιγενούς ζώνης, συγκριτικά με πριν.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

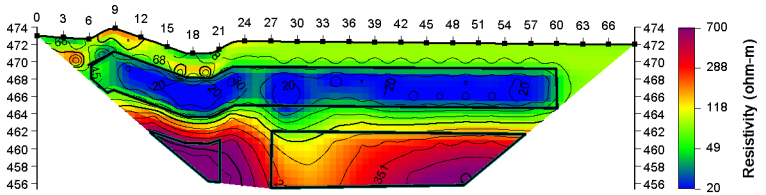
Ψηφιακή συλλογή
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



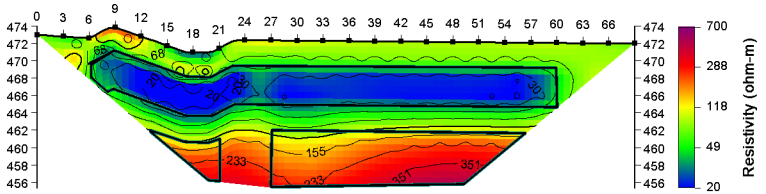
A) mg L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.8%



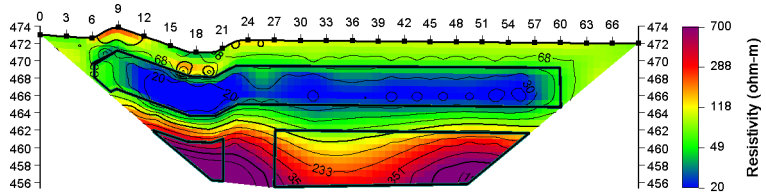
E) mg L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.7 %



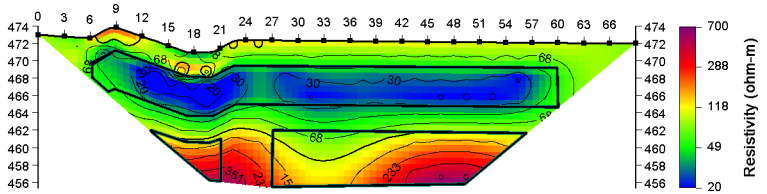
B) mg L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.3 %



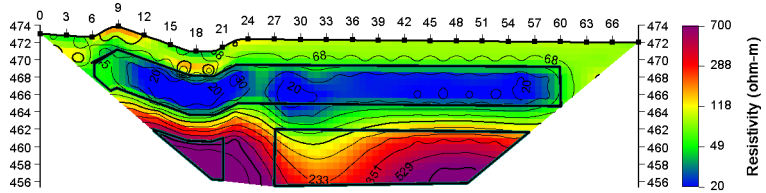
ΣΤ) mg L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.8 %



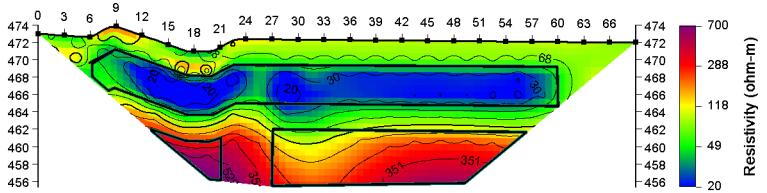
Γ) mg L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.2 %



Z) mg L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.2 %



Δ) mg L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.89 %



H) mg L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 1 %

Εικόνα 5-14: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

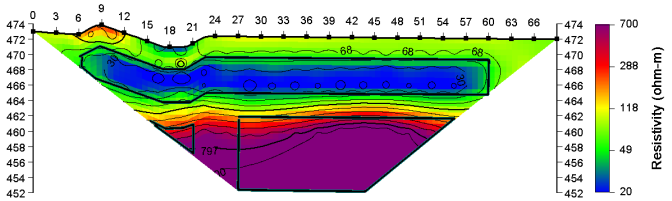
Τα αποτελέσματα της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας για το συνθετικό μοντέλο 3, διαφέρουν αρκετά από εκείνα του μοντέλου 2. Έτσι λοιπόν, φαίνεται ότι η έκταση του αγώγιμου στρώματος 1 όντως παίζει σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό των σχηματισμών και των ζωνών διάρρηξης, που πιθανότατα να βρίσκονται κάτω από αυτόν.

Ο αγώγιμος σχηματισμός 1, εντοπίζεται από όλους τους τύπους αντιστροφής, ωστόσο στην τομή Α φαίνεται να αποτυπώνεται με μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα. Στην αριστερή στήλη (τομές Α-Δ), παρατηρείται η αδυναμία και των τεσσάρων τύπων αντιστροφής να εντοπίσουν σωστά τόσο τους σχηματισμούς 2, 3 αλλά και την θέση της ρηξιγενούς ζώνης, η οποία σύμφωνα με το αρχικό μοντέλο βρίσκεται στην απόσταση 21-27 μ της τομής. Μάλιστα, στις τομές Β και Δ, όπου εντοπίζεται καλύτερα η ρηξιγενής ζώνη μορφολογικά, παρουσιάζει μία απόκλιση 9 μέτρων από την κανονική της θέση, ενώ στο συνθετικό μοντέλο 2, είχε εντοπιστεί καλύτερα και με απόκλιση η οποία έφτανε τα 3 μ, σαφώς πολύ μικρότερη.

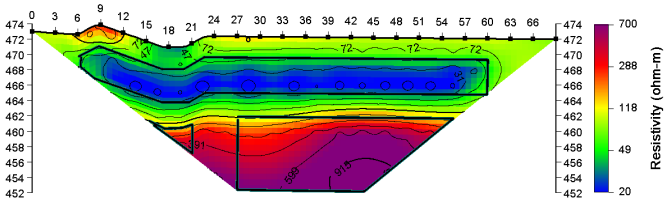
Όσον αφορά την δεξιά στήλη των τομών (Ε-Η), όπου το smoothing εκτελέστηκε στην τελευταία επανάληψη της αντιστροφής, αυτές φαίνεται να παρουσιάζουν αρκετά καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με εκείνα που παρουσιάστηκαν στα συνθετικά μοντέλα 1 και 2. Πιο συγκεκριμένα, η τομή Ε, φαίνεται να παρουσιάζει αποτελέσματα πολύ κοντά στην τομή Β, με τύπο αντιστροφής L1L2, ο οποίος κρίνεται μέχρι τώρα ως ο πιο αξιόπιστος για την ερμηνεία των συνθετικών μοντέλων. Η τομή Ζ, παρουσιάζει επίσης αρκετά καλά αποτελέσματα, αφού φαίνεται να απεικονίζει καθαρά την παρουσία ρηξιγενούς ζώνης, όπως επίσης και η τομή Η.

Τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζουν οι τομές της διάταξης διπόλου-διπόλου (Εικόνα 5-15) για το συνθετικό μοντέλο 2, φαίνεται να μην είναι καθόλου κοντά στα πραγματικά δεδομένα. Στην αριστερή στήλη, φαίνεται όλες οι τομές (Α-Δ) να εντοπίζουν όχι και τόσο καθαρά τον αγώγιμο σχηματισμό 1, ενώ δεν εντοπίζουν καθόλου την ρηξιγενή ζώνη, επομένως και τους σχηματισμούς 2 και 3. Ωστόσο στην τομή Β φαίνεται μια μικρή τεκτονισμένη ζώνη, παρόλα αυτά χωρίς την γνώση του πραγματικού μοντέλου η ερμηνεία της ως ρηξιγενή ζώνη δεν θα ήταν σαφής. Στην δεξιά στήλη, φαίνεται ότι ούτε και στις τομές αυτές εντοπίζεται η ρηξιγενής ζώνη και οι σχηματισμοί 2. Εξαίρεση αποτελεί η τομή Ζ, στην οποία φαίνεται να εντοπίζεται καλύτερα από όλες τις άλλες τομές η ύπαρξη ρηξιγενούς ζώνη, σαφώς μετατοπισμένη σε σχέση με την πραγματική της θέση και δύο αντιστατικών σχηματισμών, οι οποίοι αντιστοιχούν στους 2 και 3. Τέλος, σημειώνεται πως η συγκεκριμένη τομή έχει και την μικρότερη τιμή RMS από όλες τις τομές της δεξιάς στήλης.

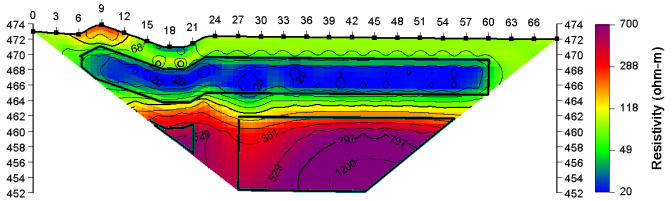
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



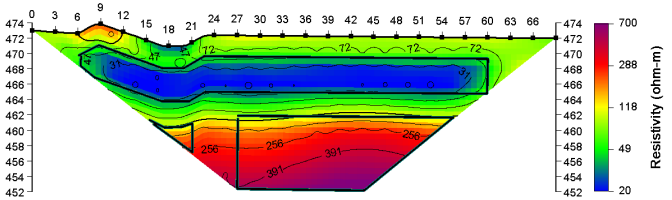
A) dd L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 3.18 %



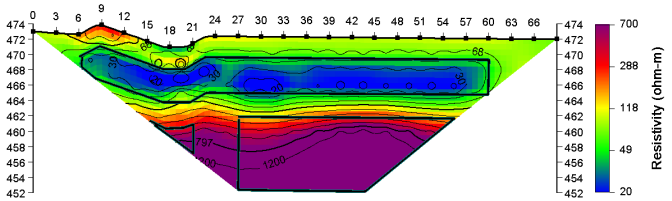
E) dd L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 5.49 %



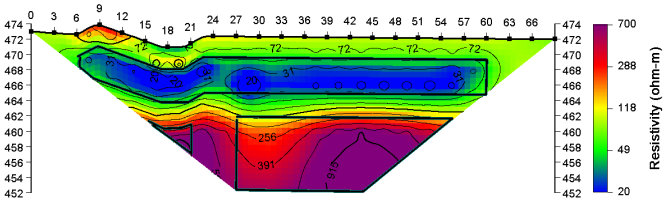
B) dd L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 2.18 %



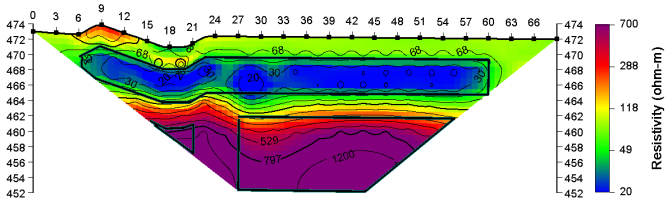
ΣΤ) dd L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 4.89 %



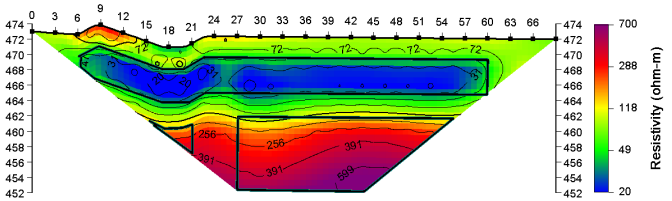
Γ) dd L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.63 %



Z) dd L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 1.83 %



Δ) dd L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.3 %



H) dd L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.43 %

Εικόνα 5-15: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

5.3.4 Συμπεράσματα για την περιοχή μελέτης Α

Για την περιοχή μελέτης Α λοιπόν, σχεδιάστηκαν τρία συνθετικά μοντέλα, τα αποτελέσματα των οποίων και ερμηνεύτηκαν. Σκοπός όπως προαναφέρθηκε , ήταν να βρεθούν οι αδυναμίες οι οποίες παρουσιάζουν οι τρεις διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ερμηνεία των πραγματικών δεδομένων. Παράλληλα, αποδείχθηκε ότι ο τύπος αντιστροφής L1L2, ο οποίος παρουσίασε τις μικρότερες τιμές RMS στα τελικά αποτελέσματα, ορθώς χρησιμοποιήθηκε στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Πράγματι, όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα του συνθετικού μοντέλου 1, ο συγκεκριμένος τύπος αντιστροφής και στις τρεις διατάξεις, φάνηκε να είναι ο πιο αξιόπιστος. Η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας, φάνηκε να απεικονίζει πολύ καλύτερα τους τρεις σχηματισμούς του αρχικού μοντέλου αλλά και την ύπαρξη της ρηξιγενούς ζώνης **(Εικόνα 5-2, τομή Γ**). Όσον αφορά το συνθετικό μοντέλο 2, η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας και η διπόλου-διπόλου με τύπο αντιστροφής (L1L2), παρουσιάζουν τα πιο ορθά αποτελέσματα,.

Στο συνθετικό μοντέλο 3, η διάταξη διπόλου-διπόλου φαίνεται να παρουσιάζει τομές οι οποίες απέχουν αρκετά από το πραγματικό συνθετικό μοντέλο 3, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει στην διάταξη πολλαπλής βαθμίδας.

Τέλος, αναφέρονται οι μικρής έκτασης αντιστατικοί σχηματισμοί οι οποίοι παρατηρήθηκαν σχεδόν σε όλες τις τομές αντιστροφής των συνθετικών μοντέλων στην περιοχή απότομης μεταβολής της τοπογραφίας. Οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί, πρέπει να ερμηνεύονται με ιδιαίτερη προσοχή στην περίπτωση των πραγματικών δεδομένων, καθώς όπως αποδείχθηκε οφείλονται στην αδυναμία της αντιστροφής να διορθώσει την τοπογραφία της περιοχής.(πχ **Εικόνα 4-4, τομή Α**).

Συμπερασματικά, ο τύπος αντιστροφής L1L2 με εξομάλυνση αυξητικά σε κάθε επανάληψη του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε για την ερμηνεία των πραγματικών δεδομένων. Ο συγκεκριμένος τύπος αντιστροφής φάνηκε να είναι και ο πιο έγκυρος.

Ωστόσο :

- Με βάση τα συνθετικά μοντέλα, η ερμηνεία των πραγματικών δεδομένων για την περιοχή μελέτης Α, είναι περισσότερο αξιόπιστη με βάση τα αποτελέσματα της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας.
- Παρατηρώντας τα αποτελέσματα αντιστροφής των συνθετικών μοντέλων 2 και 3, όπου η ρηξιγενής ζώνη εντοπίζεται με ένα εύρος μετατόπισης 3-6 μ, είναι πολύ πιθανό, όσον αφορά τις ρηξιγενείς ζώνες του καννάβου 1 στις θέσεις (17-25 μ) και

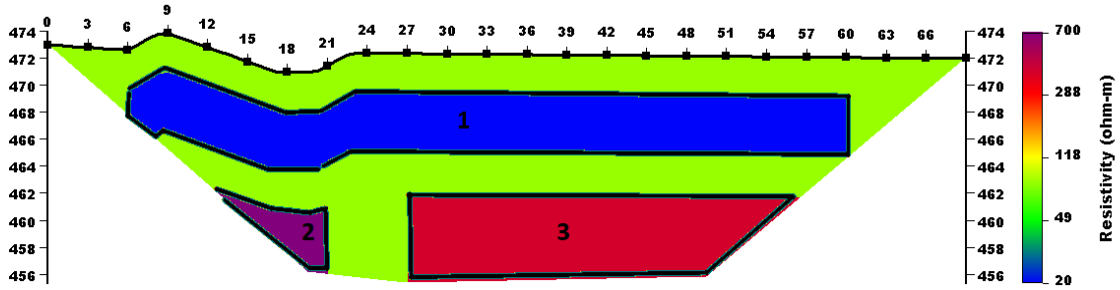
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

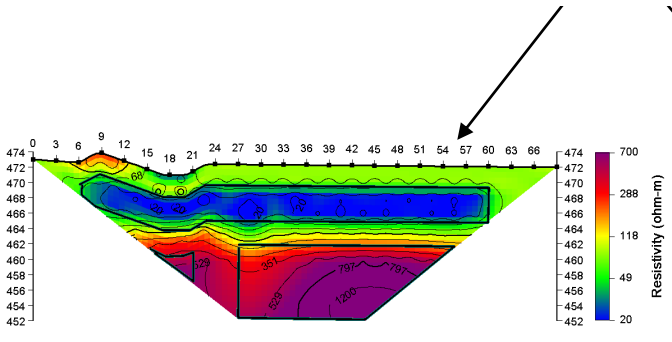
(35-40 μ), να παρουσιάζουν αντίστοιχη μετατόπιση, συγκριτικά με την πραγματική τους θέση.

- Αποδείχθηκε επίσης το γεγονός, πως η χρήση πρωτοκόλλου περισσότερων μετρήσεων στην διάταξη πολλαπλής βαθμίδας στο ύπαιθρο δεν θα οδηγούσε σε κάποια βελτίωση των αποτελεσμάτων. Αντίθετα, θα κόστιζε περισσότερο χρόνο.

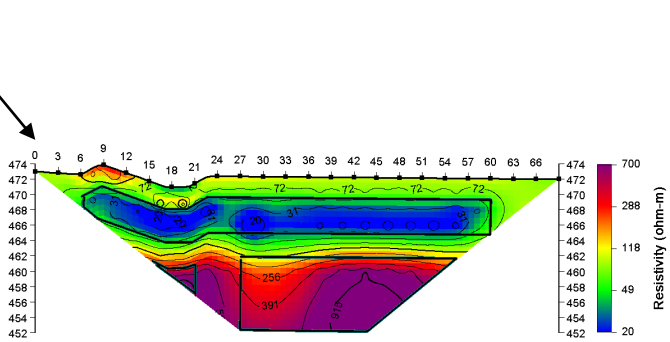
- Τέλος, όσον αφορά τις περιπτώσεις της διάταξης διπόλου-διπόλου, όπως φάνηκε και από τα συνθετικά μοντέλα, σημαντική βελτίωση αποτελεσμάτων παρουσιάζει ο τύπος αντιστροφής L2L1, με την εξομάλυνση να εκτελείται στην τελευταία επανάληψη της αντιστροφής (Εικόνα 5-18 και Εικόνα 5-16).



Εικόνα 5-16: Διάταξη διπόλου-διπόλου L1L2 για το συνθετικό μοντέλο 3.



Εικόνα 5-17: Συνθετικό μοντέλο 3.



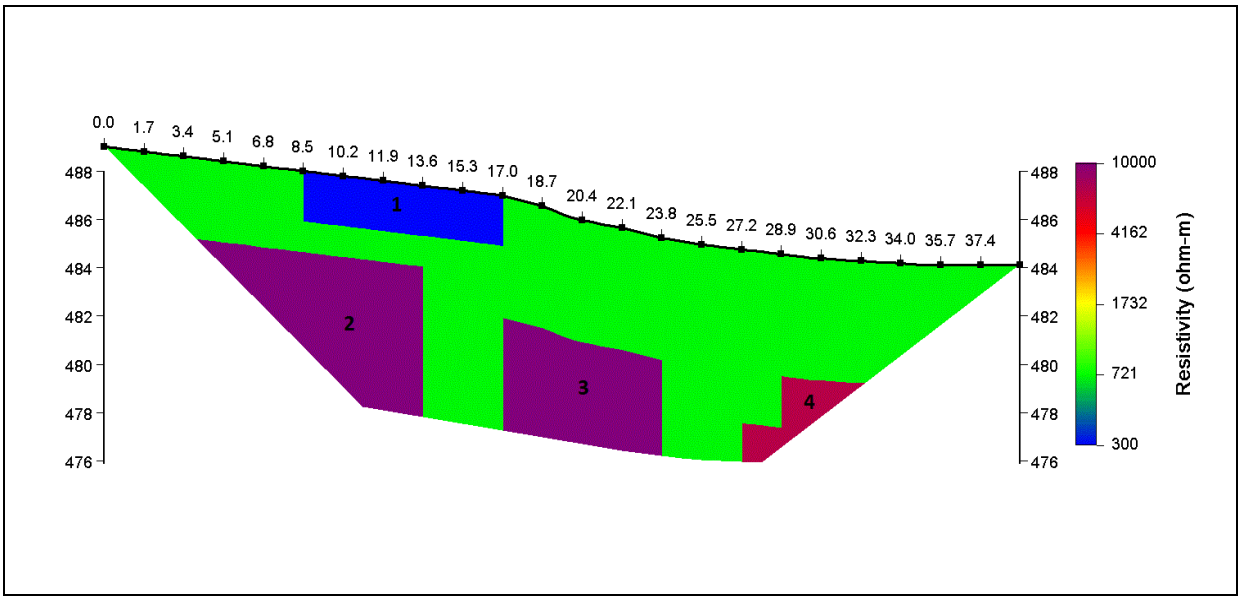
Εικόνα 5-18: Διάταξη διπόλου-διπόλου L2L1, για το συνθετικό μοντέλο 3.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

5.4 Περιοχή μελέτης Β

5.4.1 Συνθετικό μοντέλο 1, περιοχή μελέτης Β



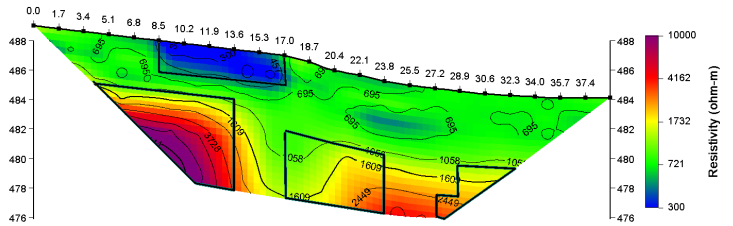
Εικόνα 5-19: Συνθετικό μοντέλο 1, περιοχή μελέτης Β.

Στην Εικόνα 5-19**,** απεικονίζεται το πρώτο συνθετικό μοντέλο το οποίο δημιουργήθηκε για την περιοχή μελέτης Β. Το μήκος της τομής φτάνει τα 39 μ, ενώ οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων όπως παρατηρείται είναι 1.7 μ. Όσον αφορά την γεωλογική σύνθεση του μοντέλου, εντοπίζονται τα εξής στοιχεία :

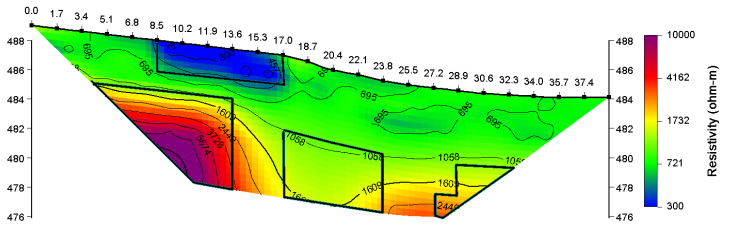
- Η αντιστατική τιμή του ημιχώρου είναι 700 Ohm-m.
- Από τα 8.5-17 μ της τομής παρατηρείται ο **σχηματισμός 1,** πάχους περίπου 4 μ και τιμή αντίστασης 300 Ohm-m.
- Οι **σχηματισμοί 2** και **3,** στους οποίους αποδόθηκε παρόμοια τιμή αντίστασης (10000 Ohm-m).
- Ένας επίσης αντιστατικός σχηματισμός (**4**), παρατηρείται από τα 27-34 μ της τομής σε βάθος περίπου 7 μ με αντιστατική τιμή 7000 Ohm-m.
- Οι θέσεις στις οποίες τοποθετήθηκαν οι σχηματισμοί 2, 3, 4 δεν ήταν τυχαίες καθώς όπως φαίνεται προκύπτουν δύο ρηξιγενείς ζώνες. Η μία από τα 13.6-17 μ της τομής, η οποία μάλιστα φαίνεται να καλύπτεται από τον σχηματισμό 1, σε αντίθεση με την δεύτερη η οποία εντοπίζεται από τα 23.8-29 μ της τομής.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

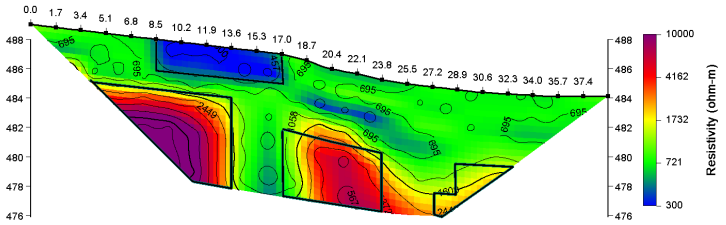
Ψηφιακή συλλογή



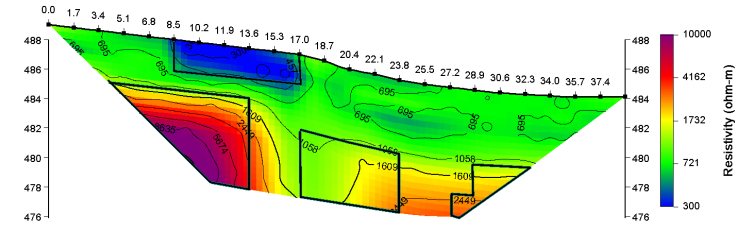
A) mg L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.7 %



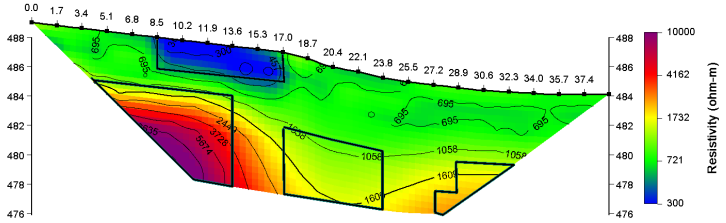
E) mg L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.9 %



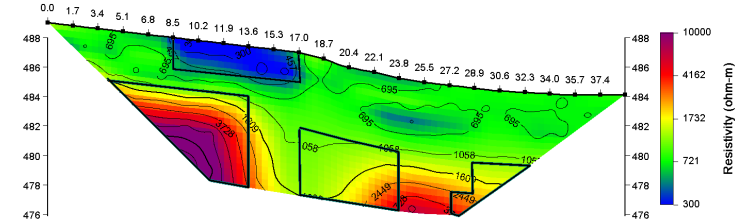
B) mg L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.3 %



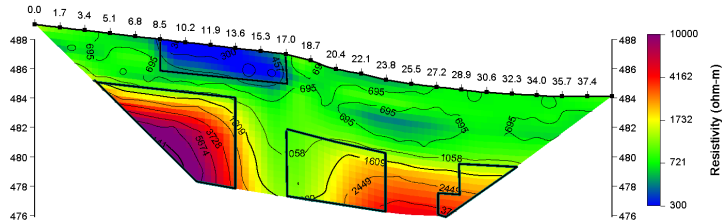
ΣΤ) mg L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.8 %



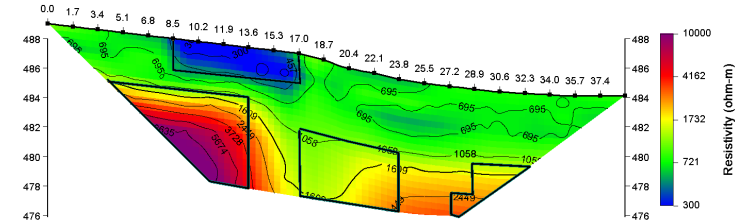
Γ) mg L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.8 %



Z) mg L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.6 %



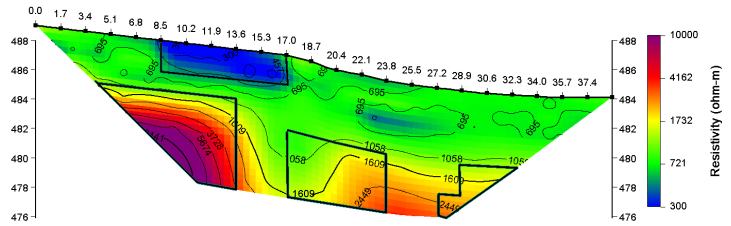
Δ) mg L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.5 %



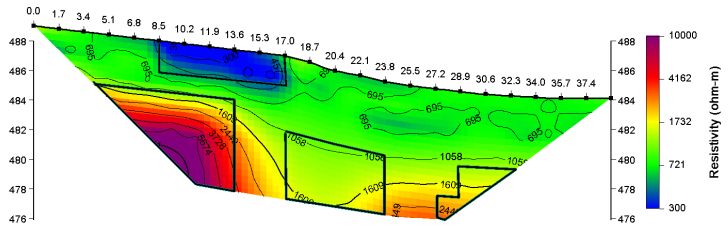
H) mg L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.8 %

Εικόνα 5-20: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη).

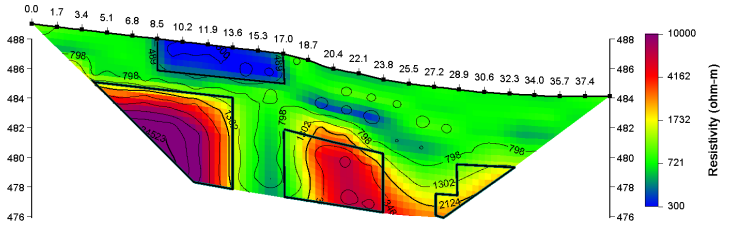
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



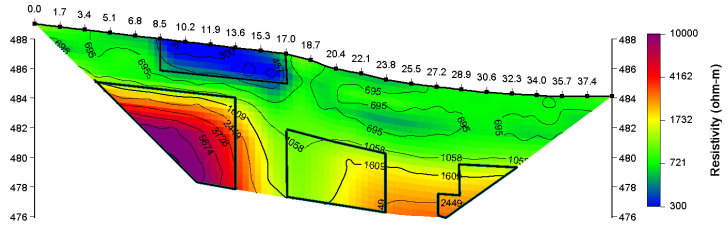
A) mg full L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.68 %



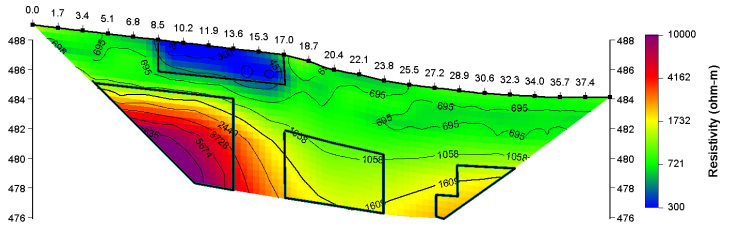
E) mg full L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.88 %



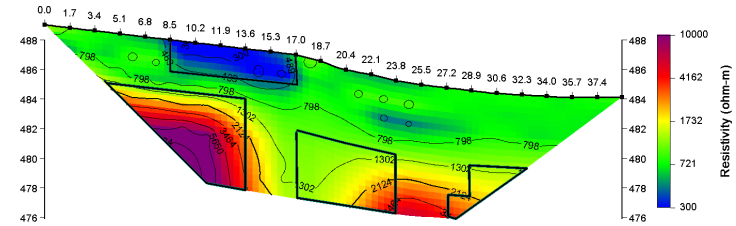
B) mg full L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.34 %



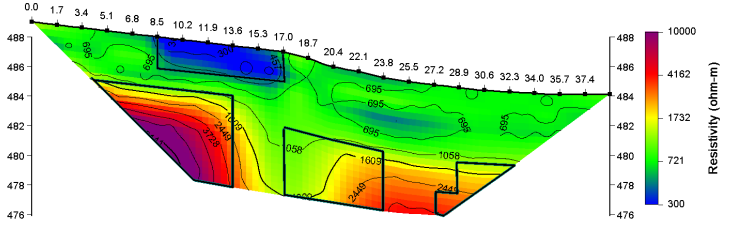
ΣΤ) mg full L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.8 %



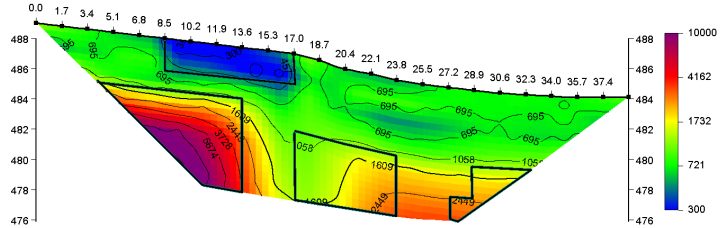
Γ) mg full L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.83 %



Z) mg full L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.59 %



Δ) mg full L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.55 %



H) mg full L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.69 %

Εικόνα 5-21: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη), χρησιμοποιώντας το νέο πρωτόκολλο το οποίο περιείχε 1771 μετρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Στην Εικόνα 5-20**,** παρουσιάζονται τα μοντέλα αντιστροφής για το συνθετικό μοντέλο 1, χρησιμοποιώντας την διάταξη πολλαπλής βαθμίδας. Στην αριστερή στήλη (τομές Α-Δ) , τοποθετήθηκαν τα μοντέλα στα οποία η εξομάλυνση εκτελέστηκε αυξητικά στην κάθε επανάληψη της αντιστροφής, ενώ στην δεξιά στήλη (τομές Ε-Η), εκείνα στα οποία εκτελέστηκε μόνο στην τελευταία επανάληψη.

Σαν πρώτη παρατήρηση, πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι παρατηρούνται εξαιρετικά χαμηλές τιμές RMS σε όλες τις τομές. Παρόλα αυτά όμως, τα αποτελέσματα δεν φαίνεται να είναι ικανοποιητικά.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την αριστερή στήλη, φαίνεται πως μόνον ο τύπος αντιστροφής L1L2 εντοπίζει σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό τόσο τον επιφανειακό σχηματισμό 1, αλλά και τους υπόλοιπους τρεις. Ο εντοπισμός των δύο ρηξιγενών ζωνών φαίνεται επίσης να γίνεται με μεγάλη ακρίβεια. Μάλιστα, οι σχηματισμοί 1 και 2 στην συγκεκριμένη τομή εντοπίζονται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως ορίστηκαν και στο αρχικό συνθετικό μοντέλο. Στις τομές Α, Γ, Δ εντοπίζεται ο σχηματισμός 2 αρκετά καλά, ωστόσο παρατηρείται μια μεγάλη αδυναμία όσον αφορά τον εντοπισμό των σχηματισμών 3 και 4, ειδικά στην τομή Γ. Στις τομές Α, Δ παρόλο που φαίνεται στην περιοχή που ορίστηκε ο σχηματισμός 3 να εντοπίζεται ένας αντιστατικός σχηματισμός, ωστόσο η θέση και η μορφολογία του συγκεκριμένου απέχουν κατά πολύ από τα πραγματικά δεδομένα.

Όσον αφορά την δεξιά στήλη των τομών, τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν από την μελέτη των συνθετικών μοντέλων για την περιοχή μελέτης Α, φαίνεται να επαληθεύονται και εδώ. Πράγματι, για τηνδιάταξη πολλαπλής βαθμίδας, η εξομάλυνση της αντιστροφής στην τελευταία επανάληψη δεν φαίνεται να βελτιώνει καθόλου τα αποτελέσματα, αντιθέτως τα αποτελέσματα απέχουν κατά πολύ από το πραγματικό μοντέλο. Και στις τομές αυτές παρατηρείται πως ο σχηματισμός 1 και 2 εντοπίζονται πολύ καλά σε αντίθεση με τους σχηματισμούς 3, 4. Αποτέλεσμα αυτών, όπως είναι άλλωστε λογικό είναι να μην εντοπίζονται καθόλου ούτε οι δύο ρηξιγενείς ζώνες.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί πως συγκριτικά για τις τομές των δύο στηλών, φαίνεται πως μόνον η τομή Z παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα από την Γ καθώς και χαμηλότερο RMS, ενώ για τις υπόλοιπες τομές όπως αναφέρθηκε υπερτερούν εκείνες της αριστερής στήλης.

Στην Εικόνα 5-21, παρουσιάζονται τα μοντέλα αντιστροφής για την πολλαπλής βαθμίδας διάταξη, χρησιμοποιώντας το νέο πρωτόκολλο με τις 1771 μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκε και στην περιοχή μελέτης Α. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δε φαίνεται να

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

παρουσιάζουν σχεδόν καμία διαφορά με πριν, επομένως ούτε και εδώ φάνηκε να είναι χρήσιμο.

Τα αποτελέσματα τα οποία οποία προκύπτουν από την διάταξη διπόλου-διπόλου (Εικόνα 5-22), φαίνεται αυτή την φορά να είναι καλύτερα από εκείνα της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας. Στις τομές Β και Δ, αν και παρατηρείται μια αδυναμία εντοπισμού του σχηματισμού 4, ο οποίος βέβαια είναι αρκετά μικρός, ωστόσο φαίνεται να εντοπίζονται πολύ καλά οι σχηματισμοί 1, 2, 3 και στις δύο τομές. Αντίθετα στις τομές της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας, ο τύπος αντιστροφής L2L2, φάνηκε να μην απεικονίζει καλά τον σχηματισμό 3 και 4, αλλά ούτε την θέση των δύο ρηξιγενών ζωνών.

Οι τομές Α και Γ, απέχουν αρκετά από τα πραγματικά δεδομένα, καθώς εντοπίζουν καλά μόνο τον σχηματισμό 1, ενώ βαθύτερα απεικονίζουν έναν ενιαίο σχηματισμό ο οποίος έχει αντιστατική τιμή περίπου 1000 Ohm-m υψηλότερη από τον ημιχώρο. Οι τομές αυτές επίσης όσον αφορά την αριστερή στήλη παρουσιάζουν και τις υψηλότερες τιμές RMS.

Όσον αφορά τις τομές της δεξιάς στήλης, η τομή Ε φαίνεται να δίνει πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα σε σχέση με την αντίστοιχη τομή Α, καθώς φαίνεται να εντοπίζεται πιο καθαρά ο σχηματισμός 2 και 3, καθώς και μια πολύ ασθενής ρηξιγενή ζώνη ανάμεσά τους. Αντίθετα, ο τύπος αντιστροφής L1L2 με την εξομάλυνση να έχει εκτελεστεί στην τελευταία επανάληψη της αντιστροφής (τομή ΣΤ), φαίνεται να παρουσιάζει αρκετά χαμηλότερης ποιότητας αποτελέσματα σε σχέση με την αντίστοιχή της τομή Β.

Παρατηρώντας την τομή Η και Δ, επιβεβαιώνεται και εδώ για ακόμα μία φορά το συμπέρασμα το οποίο εξήχθη από την μελέτη των συνθετικών μοντέλων στην περιοχή μελέτης Α. Αυτό είναι ότι ο τύπος αντιστροφής L2L2, δεν επηρεάζεται από τον τρόπο που γίνεται η εξομάλυνση της αντιστροφής όσον αφορά την μορφολογική απεικόνιση των σχηματσμών, ωστόσο αποδίδει σε αυτούς διαφορετικές αντιστατικές τιμές οι οποίες όμως έχουν μικρή απόκλιση μεταξύ τους.

Τέλος, επισημαίνεται και πάλι ότι ο τύπος αντιστροφής L2L1, στην αριστερή στήλη τομών φαίνεται να μην παρουσιάζει καλά αποτελέσματα, ωστόσο παρατηρώντας την τομή Ζ, γίνεται φανερό ότι η εφαρμογή διαφορετικής εξομάλυνσης του μοντέλου στον συγκεκριμένο τύπο, οδηγεί σε πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα, τα οποία είναι πολύ κοντά στα πραγματικά.

Όσον αφορά τα μοντέλα αντιστροφής τα οποία προκύπτουν από την συνδυαστική διάταξη (Εικόνα 5-23), παρατηρείται ότι και εδώ οι εικόνες βρίσκονται πολύ πιο κοντά στα αποτελέσματα της διάταξης διπόλου-διπόλου, η οποία φαίνεται να υπερκαλύπτει τα δεδομένα της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων καθώς και τα

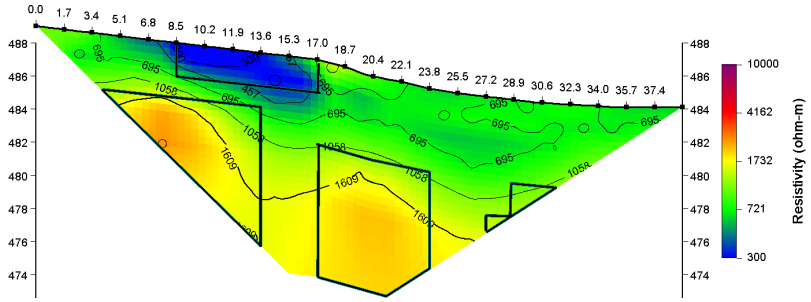
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

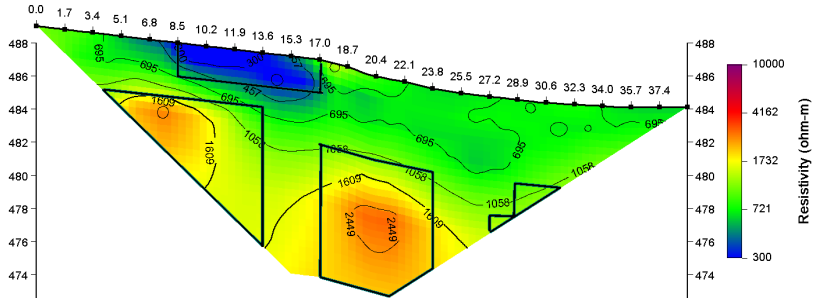
σημεία επισήμανσης φαίνεται να είναι επίσης παρόμοια με αυτά που ειπώθηκαν παραπάνω για την διάταξη διπόλου-διπόλου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

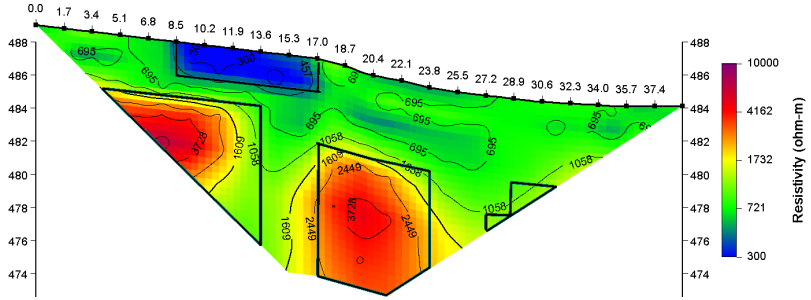
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



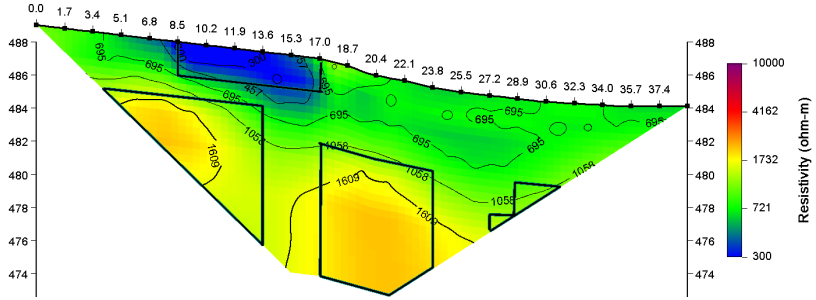
A) dd L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 2.5 %



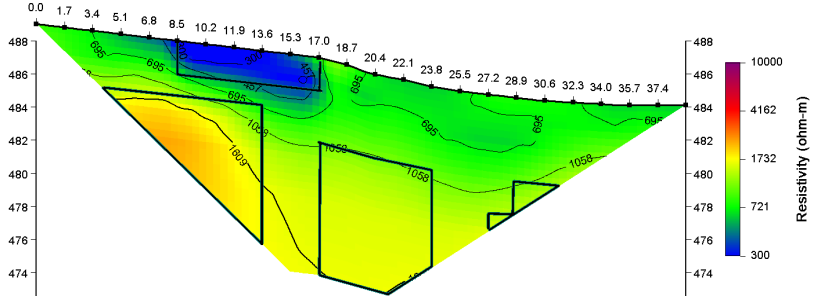
E) dd L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.6 %



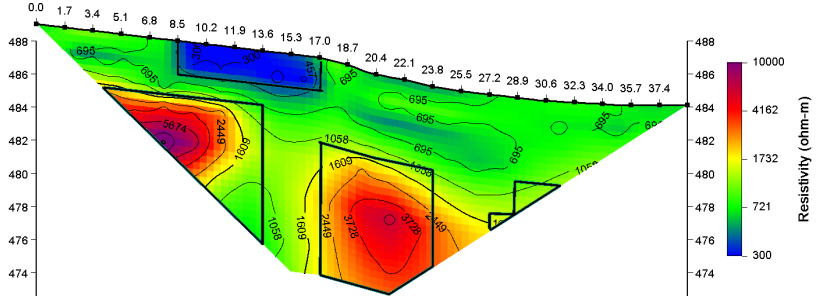
B) dd L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.95 %



ΣΤ) dd L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.6 %



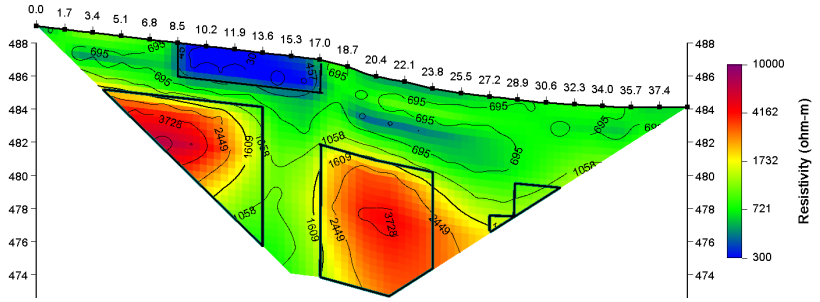
Γ) dd L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 2.5 %



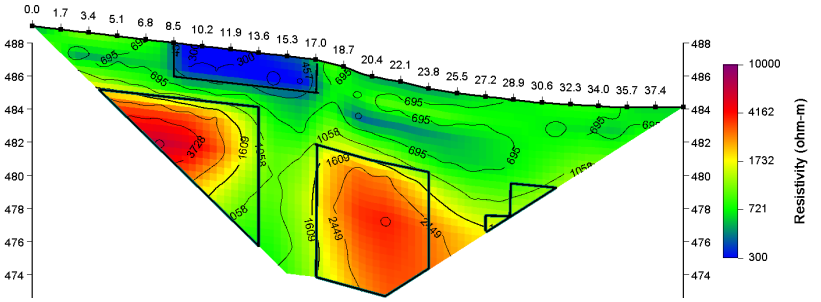
Z) dd L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.8 %

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

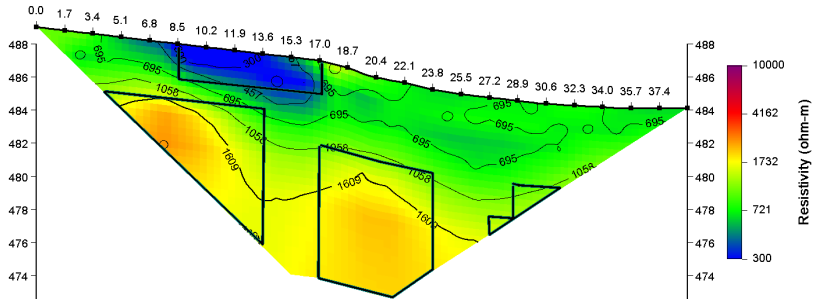


Δ) dd L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.7 %

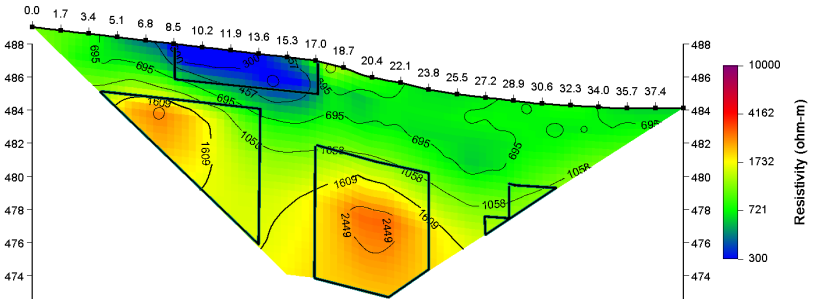


H) dd L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.76 %

Εικόνα 5-22: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη).



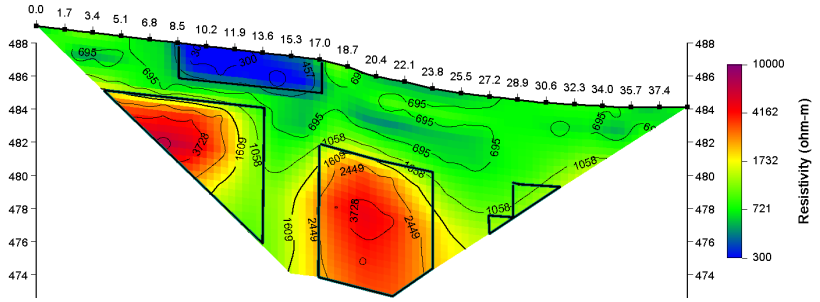
A) ddmg L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 2.5 %



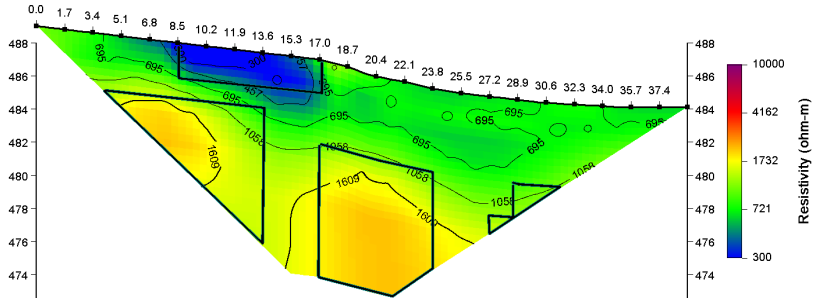
E) ddmg L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.5 %

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

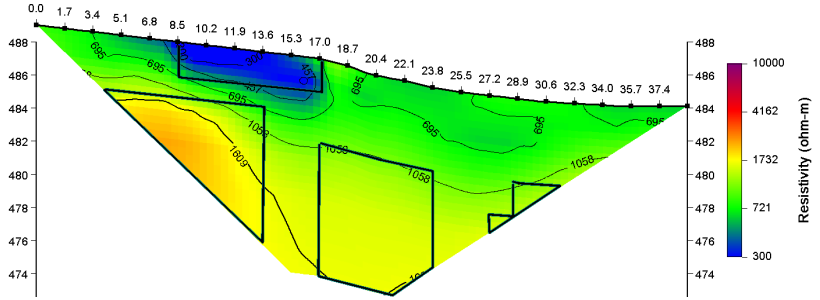
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



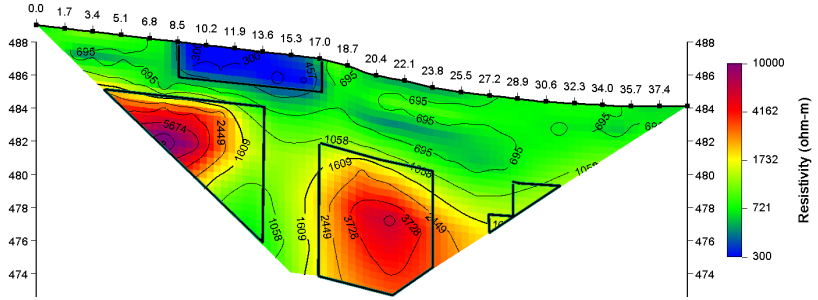
B) ddmg L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.94 %



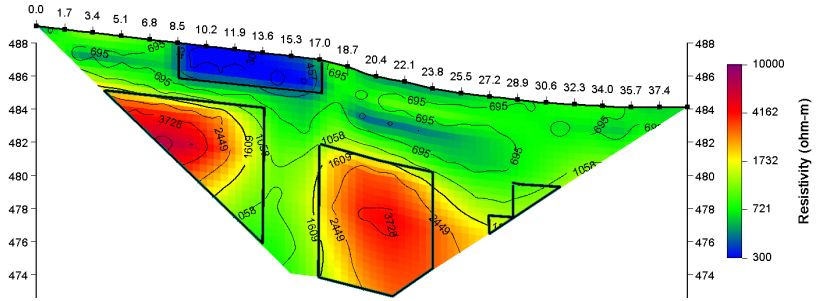
ΣΤ) ddmg L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.6 %



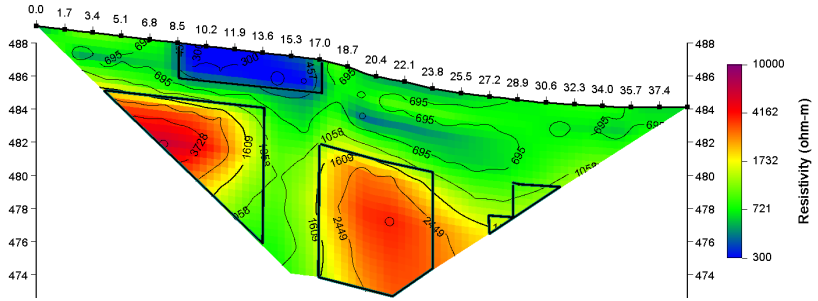
Γ) ddmg L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 2.5 %



Z) ddmg L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.8 %



Δ) ddmg L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.7 %



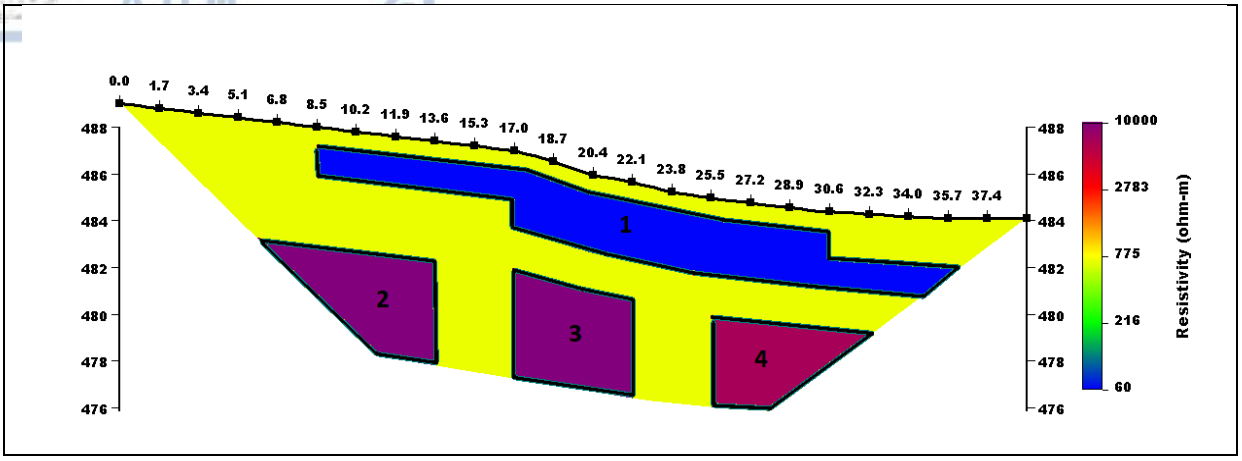
H) ddmg L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 0.76 %

Εικόνα 5-23: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole-multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

5.4.2 Συνθετικό μοντέλο 2, περιοχή μελέτης Β



5-24: Συνθετικό μοντέλο 2, περιοχή μελέτης Β.

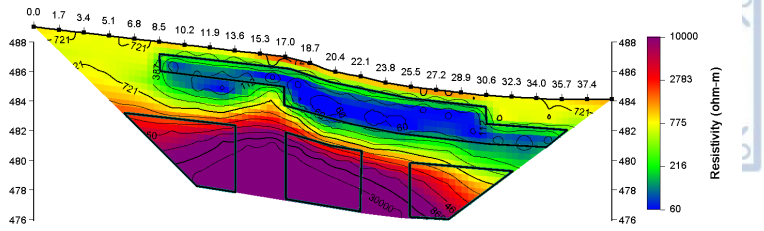
Το συνθετικό μοντέλο 2 για την περιοχή μελέτης Β, έχει το ίδιο μήκος τομής με το μοντέλο 1. Ο αριθμός των ξεχωριστών σχηματισμών είναι επίσης ίδιος, καθώς παρατηρούνται και εδώ τέσσερις.

Όσον αφορά την γεωλογική σύνθεση , σημειώνεται ότι οι σχηματισμοί 2, 3, 4 έχουν ακριβώς ίδιες τιμές, μορφολογία και θέση ακριβώς όπως και στο συνθετικό μοντέλο 1 που αναλύθηκε παραπάνω. Η κύρια διαφορά εντοπίζεται στον αγώγιμο σχηματισμό 1.

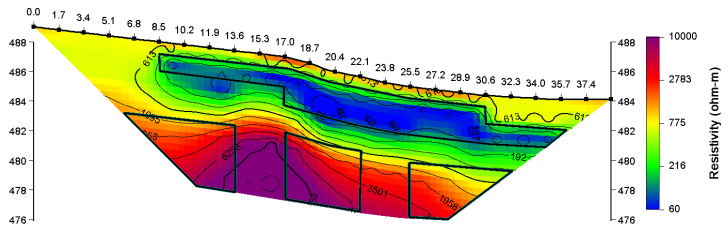
Στον συγκεκριμένο σχηματισμό αυτή την φορά αποδόθηκε μικρότερη αντιστατική τιμή (60 Ohm-m), αλλά και διαφορετικές διαστάσεις, καθώς φαίνεται να καταλαμβάνει σχεδόν όλη την τομή στο οριζόντιο επίπεδο από την απόσταση 8-38 μ. Το πάχος του είναι περίπου 3 μ ενώ πλευρικά φαίνεται να έχει μικρότερο πάχος.

Σκοπός του συγκεκριμένου συνθετικού μοντέλου, ήταν να ερευνηθεί το κατά πόσο η ύπαρξη ενός επιμήκους αγώγιμου στρώματος (**σχηματισμός 1**), το οποίο βρίσκεται ακριβώς πάνω από τρεις αντιστατικούς σχηματισμούς (**σχηματισμοί 2**, **3**, **4**) αλλά και από τις δύο ρηξιγενείς ζώνες που σχηματίζονται από αυτούς, θα επηρεάσει τον εντοπισμό των τελευταίων. Ο βαθμός επιρροής θα γίνει αντιληπτός, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με εκείνα του προηγούμενου συνθετικού μοντέλου, στο οποίο όπως φάνηκε και οι δύο διατάξεις σε ορισμένες τομές εντοπίζουν τόσο τους σχηματισμούς, όσο και τις ρηξιγενείς ζώνες.

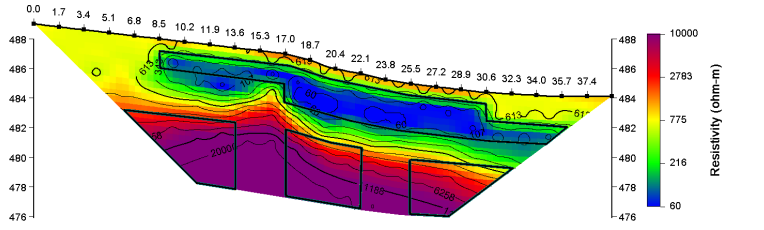
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



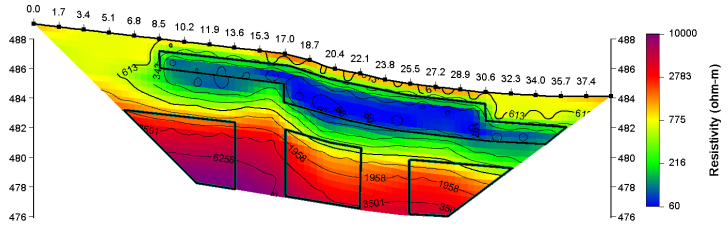
A) mg L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.97 %



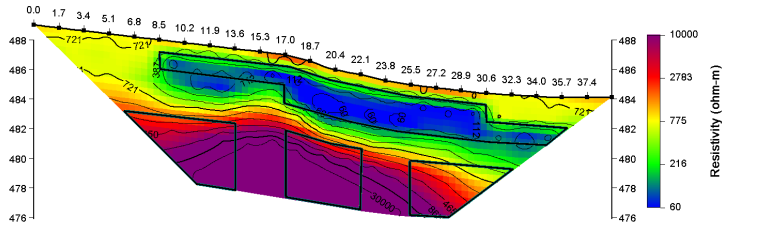
E) mg L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 1.2 %



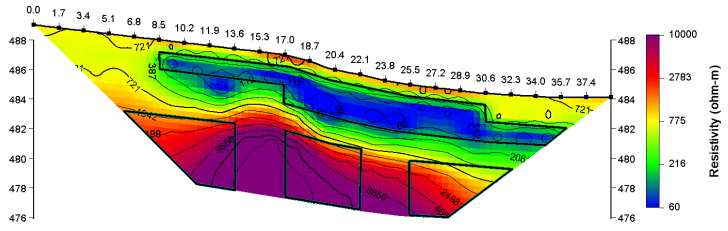
B) mg L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.84 %



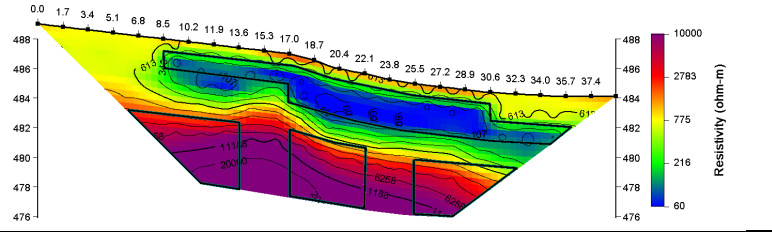
ΣΤ) mg L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 1.3 %



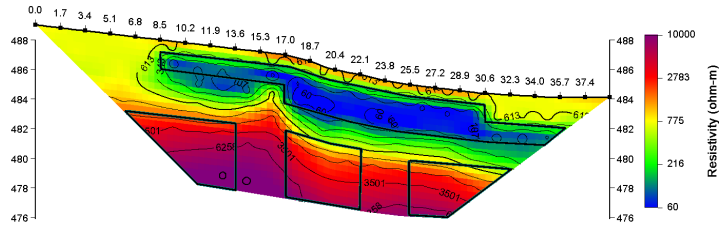
Γ) mg L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.88 %



Z) mg L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 1.6 %



Δ) mg L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 0.9 %



H) mg L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.1 %

Εικόνα 5-25: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης multigradient με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Στην Εικόνα 5-25, απεικονίζονται τα αποτελέσματα της αντιστροφής για το συνθετικό μοντέλο 2 της περιοχής μελέτης Β, χρησιμοποιώντας την διάταξη πολλαπλής βαθμίδας.

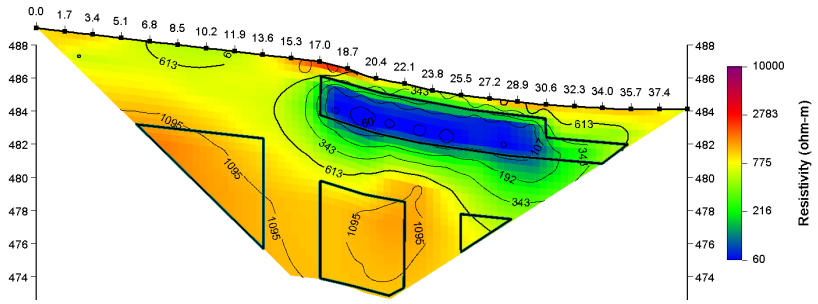
Γίνεται αντιληπτό, ότι η ύπαρξη του αγώγιμου σχηματισμού 1, επηρέασε κατά πολύ την διακριτική ικανότητα της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας. Παρατηρώντας την αριστερή στήλη (τομές Α-Δ), φαίνεται ότι και οι τέσσερις τύποι αντιστροφής εντοπίζουν πολύ καλά τον σχηματισμό 1. Ωστόσο, σε καμία από τις τέσσερις τομές δεν φαίνεται να εντοπίζονται οι σχηματισμοί 2, 3, 4, αλλά αντιθέτως απεικονίζεται εικόνα ενός υγιούς υποβάθρου με υψηλές αντιστατικές τιμές. Παρατηρώντας τώρα την (τομή Β, Εικόνα 5-20) και συγκρίνοντάς την με την αντίστοιχη τομή του παρόντος μοντέλου, γίνεται ανιληπτό το πόσο οι νέες διαστάσεις του σχηματισμού 1 έχουν μειώσει την διακριτική ικανότητα της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας

Στην δεξιά στήλη, τα αποτελέσματα που προκύπτουν με εξαίρεση τον εντοπισμό του σχηματισμού 1 που φαίνεται να γίνεται αρκετά καλά, απέχουν επίσης κατά πολύ από τα πραγματικά δεδομένα. Παρόλα αυτά, οι τομές εδώ δεν απεικονίζουν τον σχηματισμό του υποβάθρου σαν συμπαγή, αλλά δίνουν την εικόνα ενός τεκτονισμένου υποβάθρου του οποίοι οι αντιστατικές τιμές δεν παρουσιάζουν ομοιογένεια στην έκτασή του. Παρά το γεγονός αυτό όμως, ούτε οι συγκεκριμένες τομές δεν κρίνονται ως αξιόπιστες.

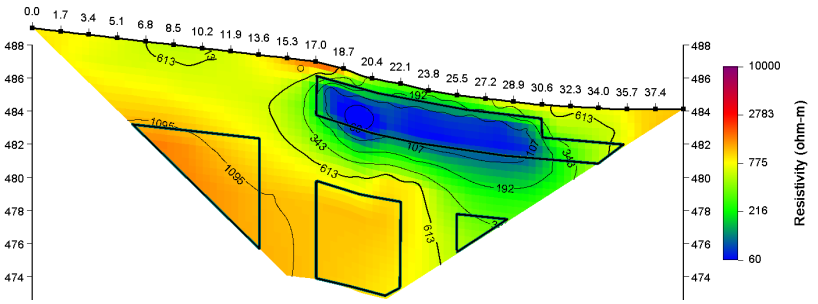
Τα αποτελέσματα της διάταξης διπόλου-διπόλου (Εικόνα 5-26), απεικονίζονται παρακάτω. Σημειώνεται ότι για την διάταξη διπόλου-διπόλου χρησιμμοποιήθηκε παρόμοιο συνθετικό μοντέλο με εξαίρεση τις διαστάσεις του αγώγιμου σχηματισμού 1, ο οποίος φαίνεται να κόβεται στα 17 μ της τομής. Όπως φάνηκε και στο προηγούμενο μοντέλο, η διάταξη διπόλου-διπόλου και στην περίπτωση που η ρηξιγενής καλύπτεται από αγώγιμο σχηματισμό αλλά και στην περίπτωση που δεν καλύπτεται, εντοπίζει την θέση της ρηξιγενούς ζώνης καλύτερα από την πολλαπλής βαθμίδας διάταξη. Ωστόσο, όταν πρόκειται για εντοπισμό ενός αρκετά μικρού αντιστατικού σχηματισμού σε βάθος ή εντοπισμό ρηξιγενούς ζώνης μικρού πλάτους, τότε καμία από τις δύο διατάξεις δεν παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Όσον αφορά την διάταξη διπόλου-διπόλου, όπως φαίνεται από την Εικόνα 5-26, ο τύπος αντιστροφής L2L2 με το smoothing της αντιστροφής να γίνεται αυξητικά σε κάθε επανάληψη της αντιστροφής φαίνεται να είναι ο πιο αξιόπιστος.

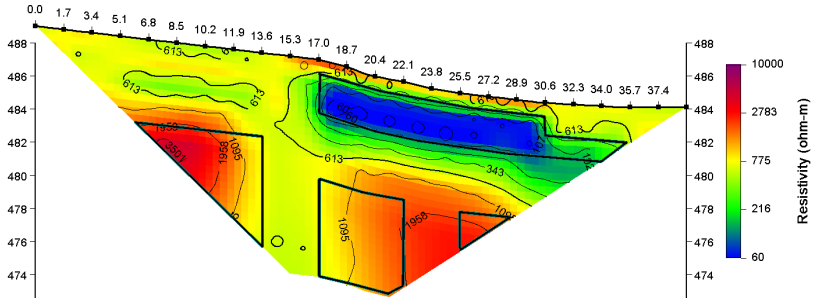
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



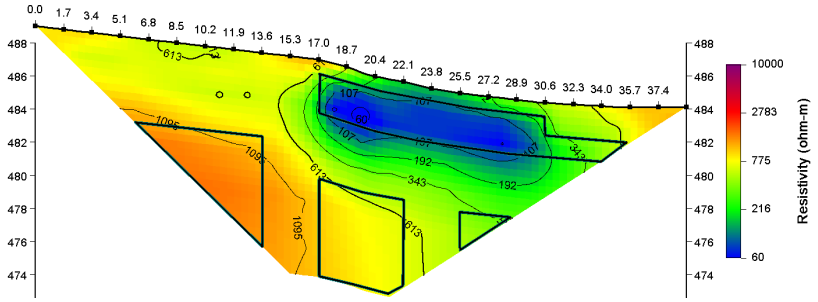
A) dd L1L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 4.2 %



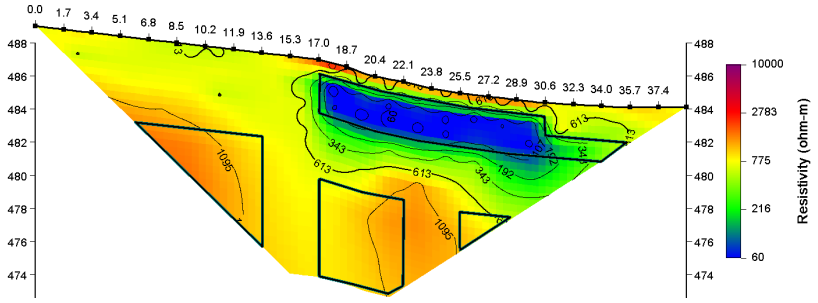
E) dd L1L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 7.4 %



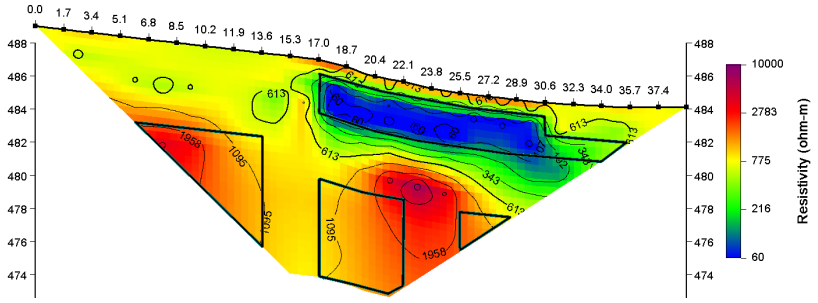
B) dd L1L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 2.1 %



ΣΤ) dd L1L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 10.1 %



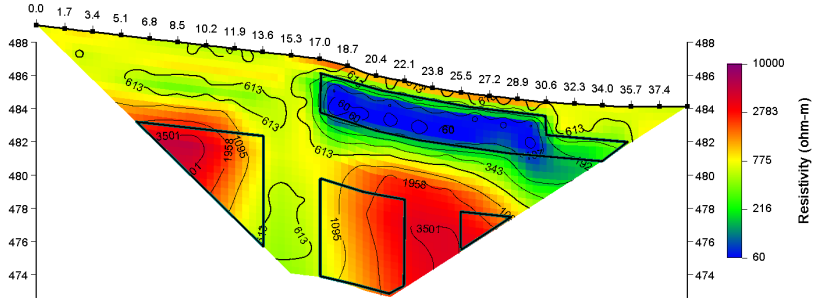
Γ) dd L2L1 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 2.4 %



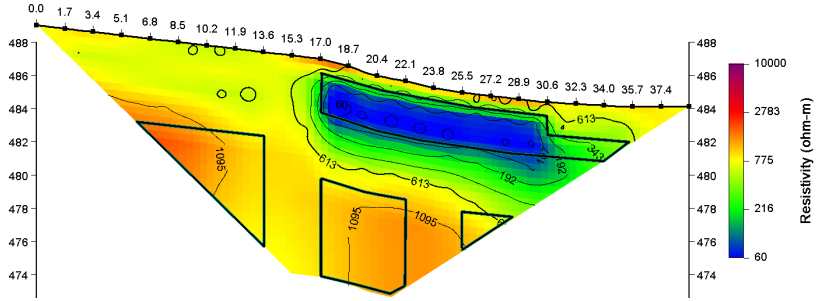
Z) dd L2L1 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.7 %

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή



Δ) dd L2L2 incerment smoothing Iterations : 7 RMS : 1.3 %



H) dd L2L2 model smoothing Iterations : 7 RMS : 2.9 %

Εικόνα 5-26: Μοντέλα αντιστροφής διάταξης dipole-dipole με εξομάλυνση σε κάθε επανάληψη (αριστερή στήλη) και με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής (δεξιά στήλη).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

5.4.3 Συμπεράσματα για την περιοχή μελέτης Β

Παραπάνω, αναλύθηκαν δύο συνθετικά μοντέλα για την περιοχή μελέτης Β. Και στις δύο περιπτώσεις όπως προειπώθηκε χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος ημιχώρος με αντιστατική τιμή 700 Ohm. Όσον αφορά τους υπόλοιπους σχηματισμούς, οι τρεις από αυτούς είχαν υψηλές αντιστάσεις (**σχηματισμοί 2**, **3**, **4** και στα δύο μοντέλα), ενώ ο ένας από αυτούς είχε σχετικά χαμηλότερες αντιστάσεις, 300 Ohm-m στο πρώτο μοντέλο και 60 Ohm-m στο δεύτερο (**σχηματισμός 1** και στα δύο μοντέλα). Μεταβάλλοντας τόσο την τιμή του σχηματισμού 1 αλλά και τις διαστάσεις αυτού, προέκυψαν αποτελέσματα από τα οποία εξήχθησαν σημαντικά συμπεράσματα.

Πιο συγκεκριμένα, στο συνθετικό μοντέλο 1, φάνηκε πως και οι δύο διατάξεις παρά το γεγονός ότι ο αγώγιμος σχηματισμός 1 βρισκόταν πάνω από την θέση της ρηξιγενούς ζώνης, την εντοπίζαν. Η πολλαπλής βαθμίδας διάταξη με τον τύπο αντιστροφής L1L2 (**τομή Β**, Εικόνα 5-20), ενώ η διπόλου-διπόλου τόσο με τον τύπο αντιστροφής L1L2 αλλά και με τον L2L2 (**τομή Β**, Εικόνα 5-22 και **τομή Δ,** Εικόνα 5-22), αντίστοιχα. Επίσης, όπως ακριβώς και στην περιοχή μελέτης Α, ο τύπος αντιστροφής L2L1, με εξομάλυνση στην τελευταία επανάληψη αντιστροφής παρουσίασε και εδώ εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα (**τομή Ζ**, Εικόνα 5-22).

Τα αποτελέσματα του συνθετικού μοντέλου 2, έδειξαν ότι η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας αδυνατεί να εντοπίσει την ύπαρξη κάποιας ρηξιγενούς ζώνης, όταν αυτή βρίσκεται σε ημιχώρο με αντίσταση περίπου 700 Ohm-m και καλύπτεται από ένα αρκετά πιο αγώγιμο στρώμα το οποίο έχει αντιστατική τιμή 40-60 Ohm-m και βρίσκεται σε μικρή απόσταση ακριβώς πάνω από αυτήν. Στην περίπτωση αυτή η εφαρμογή διαφορετικής εξομάλυνσης στο μοντέλο αντιστροφής, έδειξε να βελτιώνει κατά κάποιον τρόπο τα τελικά αποτελέσματα, τα οποία όμως και πάλι απείχαν αρκετά από το πραγματικό μοντέλο. Σε ένα παρόμοιο συνθετικό μοντέλο, η διάταξη διπόλου-διπόλου έδωσε και πάλι πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

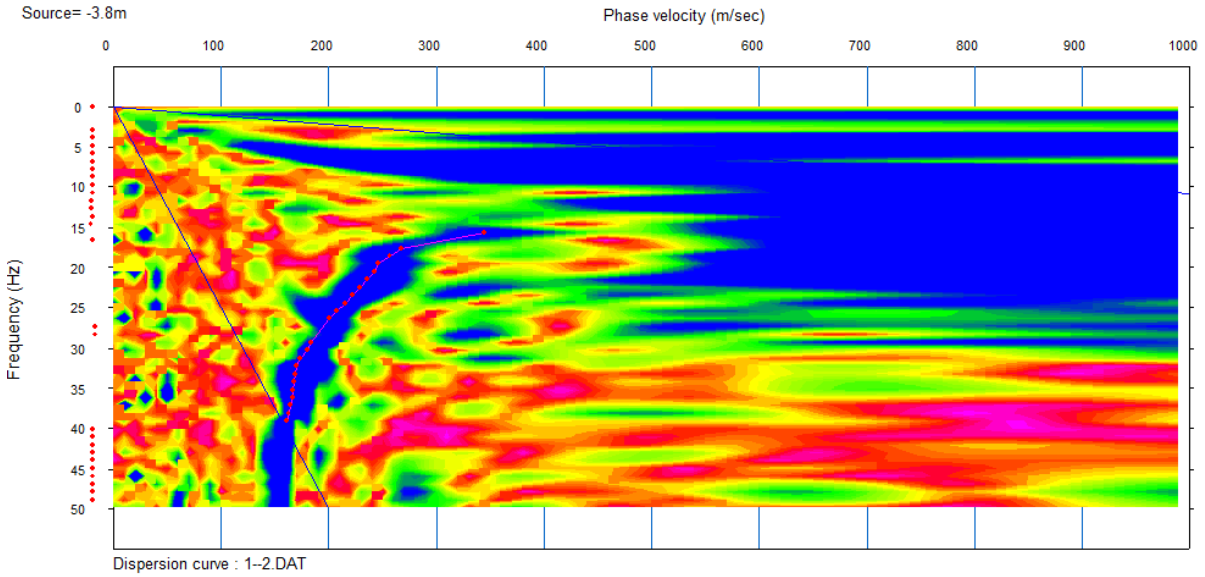
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

6 Αποτελέσματα και ερμηνεία σεισμικών δεδομένων

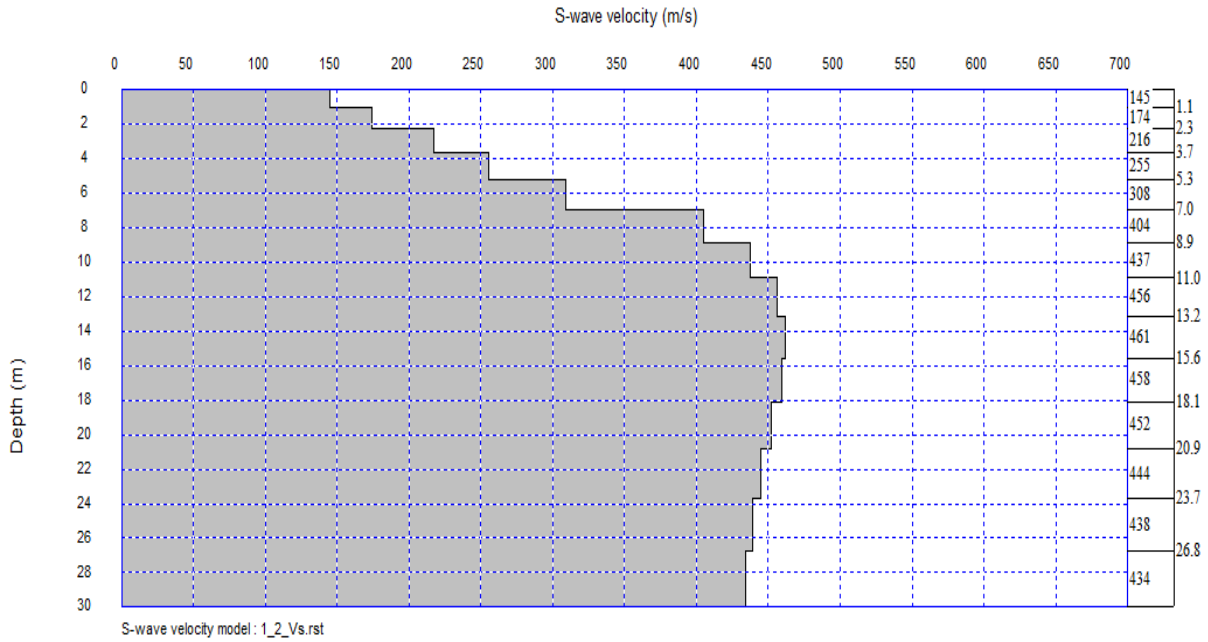
Για την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SeisImager της εταιρείας Geometrics. Παρακάτω λοιπόν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα :

6.1 Περιοχή μελέτης Α

6.1.1 Masw L1



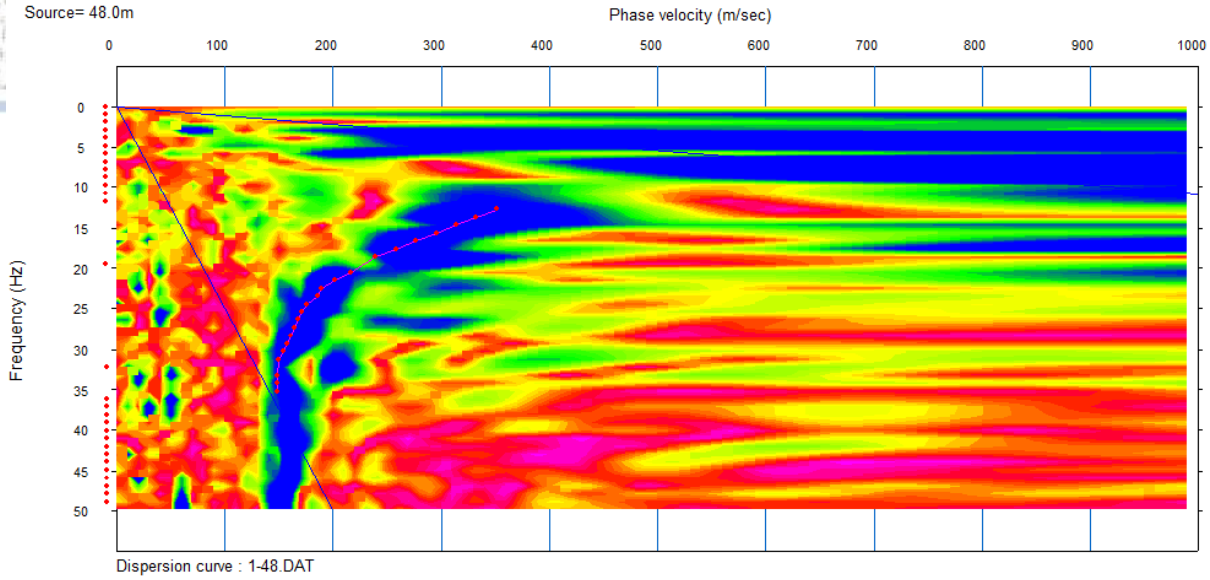
Εικόνα 6-1: Καμπύλη διασποράς MASW L1, σεισμική πηγή - 3.85 μ.



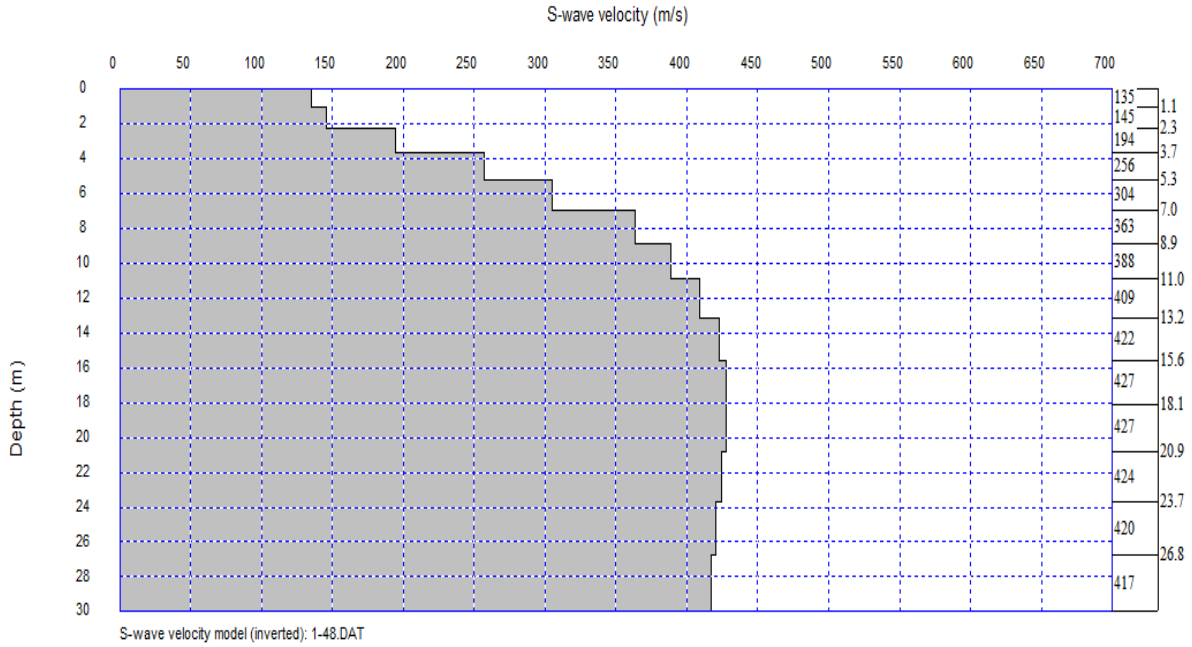
Εικόνα 6-2: Μονοδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων εγκαρσίων κυμάτων τομής MASW L1, σεισμική πηγή - 3.85 μ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 6-3: Καμπύλη διασποράς MASW L1, σεισμική πηγή 48 μ.



Εικόνα 6-4: Μονοδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων εγκαρσίων κυμάτων τομής MASW L1, σεισμική πηγή 48 μ.

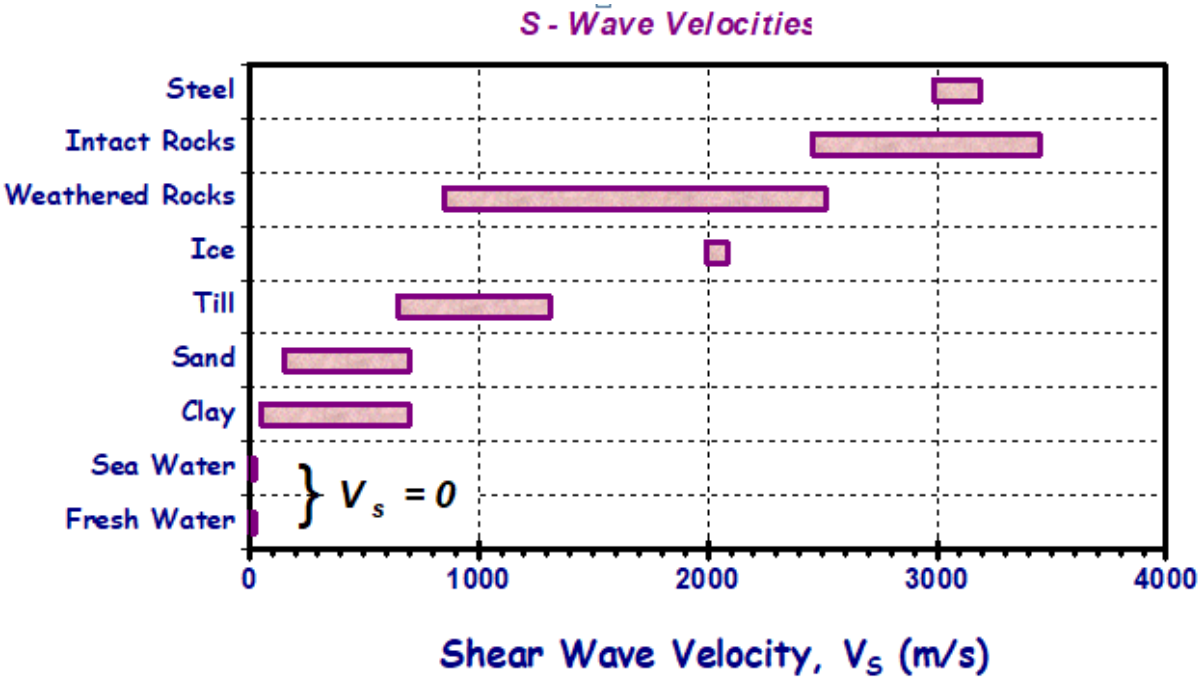
Παρατηρώντας τα μοντέλα ταχυτήτων των εγκαρσίων κυμάτων τα οποία προέκυψαν από τις δύο σεισμικές πηγές της τομής (Εικόνα 6-2, Εικόνα 6-4), αυτά φαίνεται να συμφωνούν μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα και στις δύο τομές παρατηρείται ότι για τα πρώτα 2- 4 μ βάθους οι ταχύτητες είναι σχετικά χαμηλές και φτάνουν έως και τα 200 m/sec ενώ σταδιακά αυξάνονται μέχρι το βάθος των 15 μ όπου εντοπίζονται οι μεγαλύτερες ταχύτητες (450 m/sec) και συνεχίζουν μέχρι και το βάθος των 30 μ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Μια μικρή απόκλιση τιμών ανάμεσα στα δύο μοντέλα ωστόσο εντοπίζεται από το βάθος 10-18 μ, με το μοντέλο της πηγής στα -3.85 μ να αποδίδει υψηλότερες τιμές ταχυτήτων. Παρόλα αυτά η απόκλιση είναι μικρή (~ 20 m/sec) και θεωρείται αμελητέα.

Για τον τεχνικογεωλογικό χαρακτηρισμό της περιοχής με βάση τα αποτελέσματα, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένοι εμπερικοί κανόνες και πίνακες τιμών, οι οποίοι συνδέουν τις παραπάνω ταχύτητες με διαφορετικές ελαστικές παραμέτρους και τύπους εδαφών.



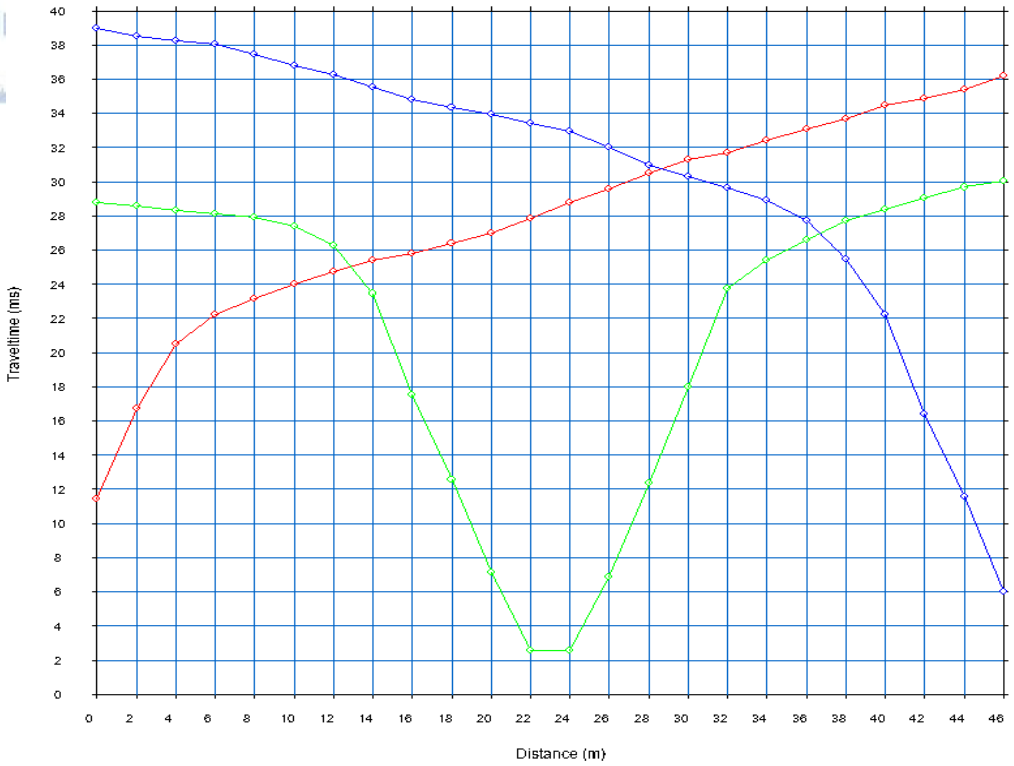
Εικόνα 6-5: Ταχύτητες εγκαρσίων κυμάτων κατά την διάδοσή τους σε διαφορετικούς σχηματισμούς.

Παρατηρώντας λοιπόν τις τιμές οι οποίες απεικονίζονται στην Εικόνα 6-5, η τομή MASW L1 φαίνεται να αφορά σχηματισμούς υπεδάφους οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από άμμο και αργιλικό υλικό. Περαιτέρω ανάλυση και περιγραφή αποτελεσμάτων κρίθηκε ωστόσο απαραίτητη.

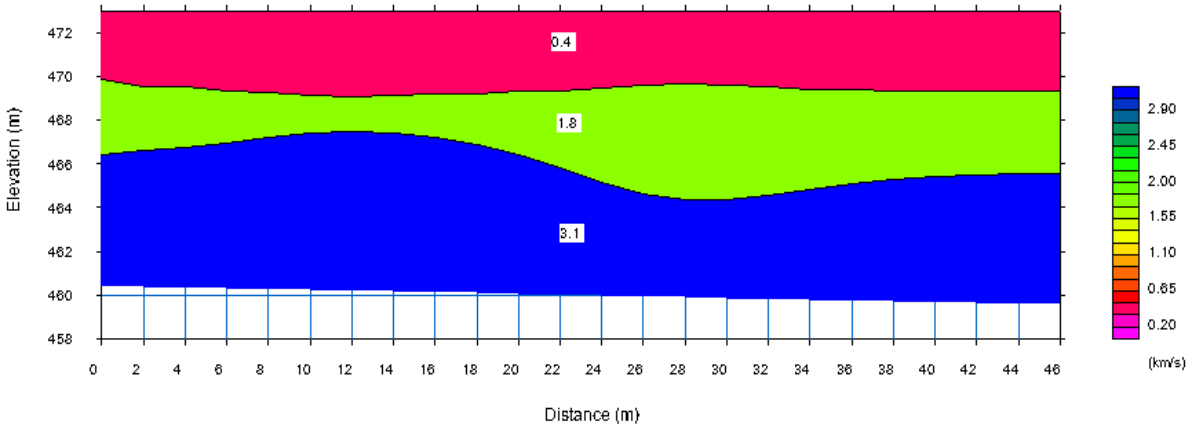
Ένα πλεονέκτημα της μεθόδου MASW, είναι ότι κατά το στάδιο των υπαίθριων μετρήσεων αποθηκεύονται παράλληλα και οι χρόνοι άφιξης των επιμήκων κυμάτων (P), με αποτέλεσμα να δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας της τομής διάθλασης. Έτσι λοιπόν, λεπτομερέστερη ανάλυση των συνθηκών του εδάφους παρουσιάζεται παρακάτω, με βάση τις ταχύτητες των επιμήκων κυμάτων P.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" Τμήμα



Εικόνα 6-6: Καμπύλες χρόνων διαδρομής επιμήκων κυμάτων τομής MASW L1.



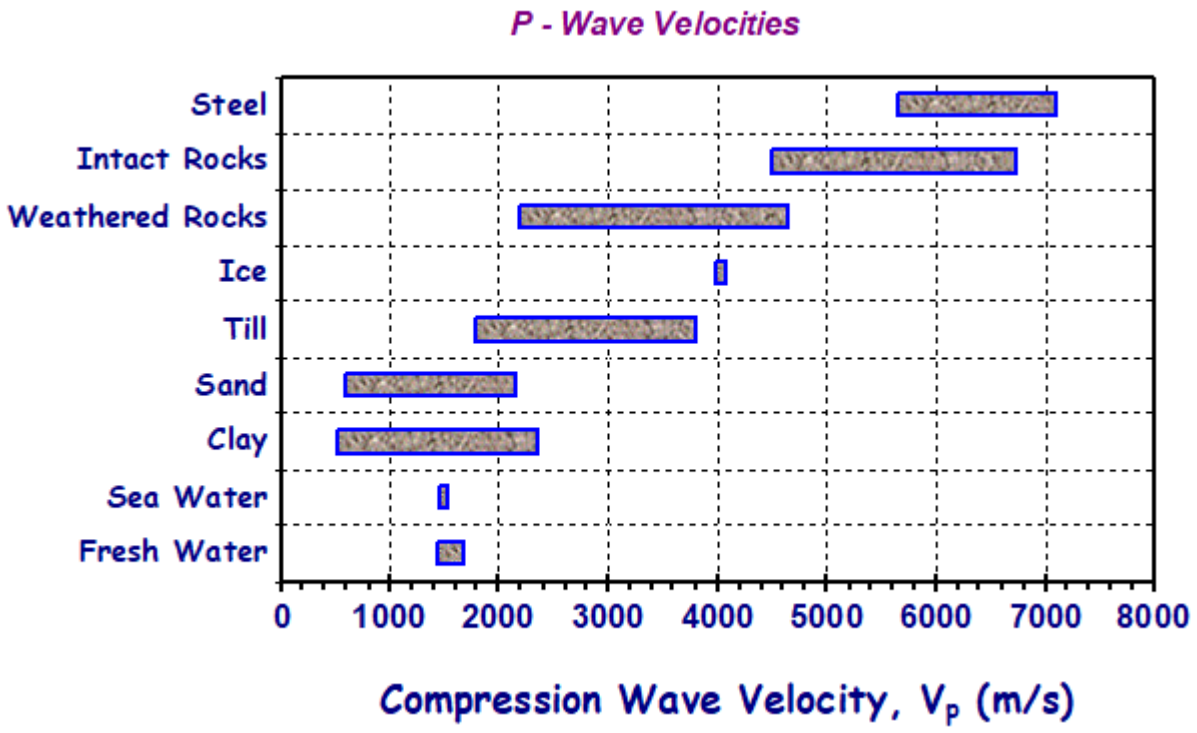
Εικόνα 6-7: Δισδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων επιμήκων κυμάτων τομής MASW L1.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Η τομή διάθλασης απεικονίζει τρία στρώματα στα οποία η ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων αυξάνεται επίσης σταδιακά με το βάθος. Πιο αναλυτικά παρατηρείται :

- Ένα στρώμα πάχους περίπου 3 μ ταχύτητας 400 m/sec.
- Ένα δεύτερο στρώμα με παρόμοιο πάχος και ταχύτητα 1800 m/sec.
- Το τρίτο στρώμα, στο οποίο εντοπίστηκαν ταχύτητες 3100 m/sec.



Εικόνα 6-8: Ταχύτητες επιμήκων κυμάτων κατά την διάδοσή τους σε διαφορετικούς σχηματισμούς.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Σε αντίθεση με την τομή MASW, τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από την τομή διάθλασης και με βάση την απεικόνιση των ταχυτήτων των κυμάτων P στους διαφορετικούς σχηματισμούς (Εικόνα 6-8), προτείνουν ελαφρώς διαφορετική ερμηνεία. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός, πως οι τιμές που προκύπτουν από την τομή διάθλασης παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος σχηματισμών στο οποίο αντιστοιχούν οι ταχύτητες που εντοπίζονται.

Πιο συγκεκριμένα, οι δύο τομές φαίνεται να συμφωνούν έως το βάθος των 8-10 μ, στο οποίο εντοπίζεται κυρίως άμμος με ποσότητα αργιλικού υλικού. Ωστόσο, κάτω από συγκεκριμένο βάθος, η τομή της διάθλασης απεικονίζει παρουσία σχηματισμού υποβάθρου, ο οποίος παρόλα αυτά δεν παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές για να θεωρηθεί ως συμπαγής. Κάτι τέτοιο όπως διαπιστώθηκε παραπάνω δεν εντοπίστηκε στα αποτελέσματα MASW, καθώς οι ταχύτητες των εγκαρσίων κυμάτων ήταν αρκετά χαμηλές.

Επειδή οι ταχύτητες τόσο των επιμήκων (εξίσωση 1) όσο και των εγκαρσίων κυμάτων (εξίσωση 2) συνδέονται άμεσα με τις ελαστικές σταθερές (μέτρο διάτμησης M, λόγος Poisson σ, μέτρο του Young Y) οι οποίες είναι πολύ σημαντικές στις γεωτεχνικές μελέτες, θεωρήθηκε επίσης απαραίτητο αυτές να υπολογιστούν και να σχολιαστούν.

1. $Vp = \sqrt{\dfrac{K + \dfrac{4\mu}{3}}{\rho}}$ **,** όπου K= Bulk modulus, λ= σταθερά μ,G= μέτρο διάτμησης p= πυκνότητα

2. $Vs = \sqrt{\dfrac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\dfrac{G}{\rho}}$

Οι σχέσεις οι οποίες ισχύουν και χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των τρίων ελαστικών παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι:

3. $G\ (\acute{\eta}\ \mu) = pV_s^2$ **Μέτρο διάτμησης**

4. $\nu(\acute{\eta}\ \sigma) = \dfrac{V_P^2 / V_S^2 - 2}{2\left(V_P^2 / V_S^2 - 1\right)}$ **Λόγος Poisson**

5. $E = 2G(1 + \nu)$ **Μέτρο Young**

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Παρουσιάζονται επίσης και τα αποτελέσματα για την Vs_{30}, η οποία αντιστοιχεί στον μέσο όρο της ταχύτητας των εγκαρσίων κυμάτων για τα πρώτα 30 μέτρα βάθους και δίνεται από την σχέση 6. Η Vs_{30} είναι η παράμετρος εκείνη, η οποία χρησιμοποιείται στο τέλος για την κατηγοριοποίηση του εδάφους. :

6. $$\overline{Vs}_{30} = \frac{\Sigma d_i}{\Sigma t_i} = \frac{\Sigma d_i}{\Sigma\left(\frac{d_i}{Vs_i}\right)}$$

,όπου di το πάχος του κάθε στρώματος και V_si η ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων στο κάθε στρώμα αντίστοιχα.

Πίνακας 6-1: Αποτελέσματα αντιστροφής τομής MASW L1, για τις πηγές 1 και 2.

Στρώμα	Πάχος (m)	Ταχύτητα κυμάτων S (m/s)	Ταχύτητα κυμάτων S (m/s)
		Πηγή -3.85 μ	Πηγή 48 μ
1	1.1	145.09	135.28
2	1.2	174.26	145.22
3	1.4	216.94	194.47
4	1.6	255.11	256.68
5	1.7	308.92	304.77
6	1.9	404.97	363.42
7	2.1	437.09	388.81
8	2.2	456.04	409.03
9	2.4	461.76	422.55
10	2.5	458.79	427.44
11	2.8	452.06	427.32
12	2.8	444.80	424.05
13	3.1	438.73	420.37
14	3.2	434.50	417.55

Πίνακας 6-2: Μέσος όρος ελαστικών παραμέτρων και Vs30 πηγών 1, 2 τομής MASW L1.

Shear modulus G (MPa)	Young modulus E (Mpa)	Poisson's ratio σ	Vs30 (m/sec)
235.82	676.665	0.435	341.93

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟ Τμή

Πίνακας 6-3: Πίνακας κατηγοριοποίησης εδαφών σύμφωνα με τον κώδικα NEHRP, από (Mohamed et al., 2013).

	velocity V_S^{30}	
A	$V_S^{30} > 1500$ (m/s)	Hard rock
B	$760 \leqslant V_S^{30} \leqslant 1500$ (m/s)	Rock
C	$360 \leqslant V_S^{30} \leqslant 760$ (m/s)	Very dense soil or soft rock
D	$180 \leqslant V_S^{30} \leqslant 360$ (m/s)	Stiff soil
E	$V_S^{30} < 180$ (m/s)	Soil
F	$V_S^{30} < 180$ (m/s)	Soil requiring site-specific evaluation

Πίνακας 6-4: Ενδεικτικές τιμές του λόγου Poisson, από https://structx.com/Soil_Properties_004.html.

Description	Poisson's Ratio
Sand	0.15 - 0.4
Dense	0.2 - 0.4
Course	0.15
Fine	0.25
Silt	0.3 - 0.35
Clay	0.1 - 0.5
Saturated	0.4 - 0.5
Unsaturated	0.1 - 0.3
Sandy Clay	0.2 - 0.3

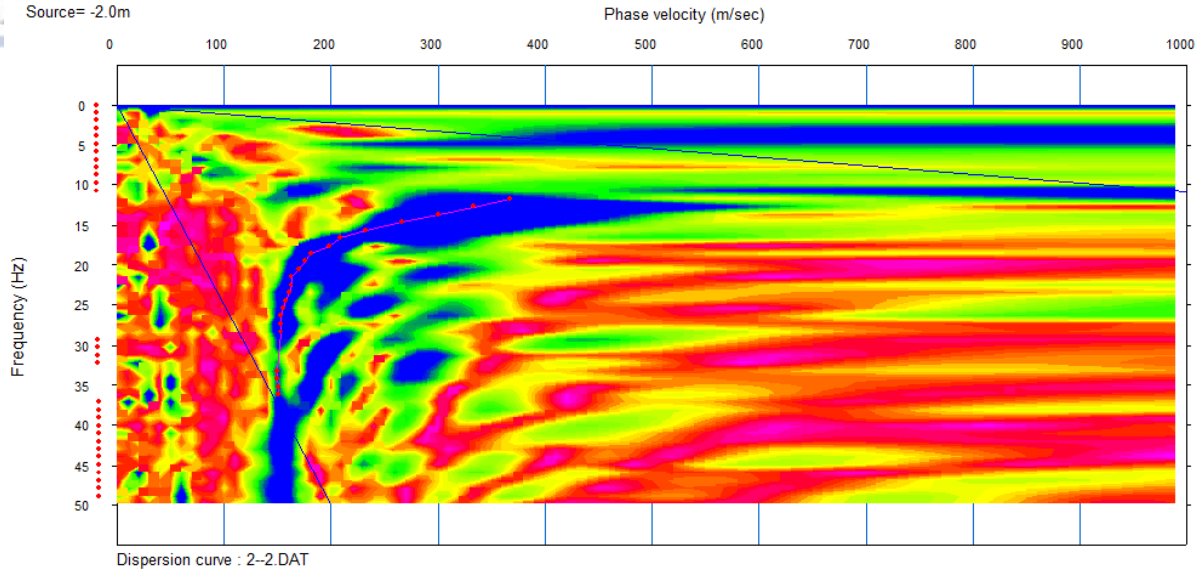
Σύμφωνα με τα στοιχεία του (Πίνακας 6-3), τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν από την τομή MASW L1 και την τομή διάθλασης ανήκουν στην κατηγορία C. Ωστόσο, η αυξημένη τιμή του λόγου Poisson (0.43) φανερώνει παρουσία αργιλικού υλικού εμπλουτισμένο με νερό (Πίνακας 6-4).

Βασιζόμενοι λοιπόν στα αποτελέσματα της τομής MASW L1, της τομής διάθλασης αλλά και στις τιμές των ελαστικών παραμέτρων και της Vs_{30}, στην συγκεκριμένη περιοχή εντοπίζονται μέχρι το βάθος των 8 μ κυρίως αμμώδη υλικά. Αυτά, πιθανότατα περιέχουν ποσότητα αργιλικού υλικού και νερού, ενώ σύμφωνα με την τομή διάθλασης όπως προαναφέρθηκε κάτω από το συγκεκριμένο βάθος εντοπίζεται ο ασβεστόλιθος ο οποίος φαίνεται να είναι επηρεασμένος από την τεκτονική της περιοχής.

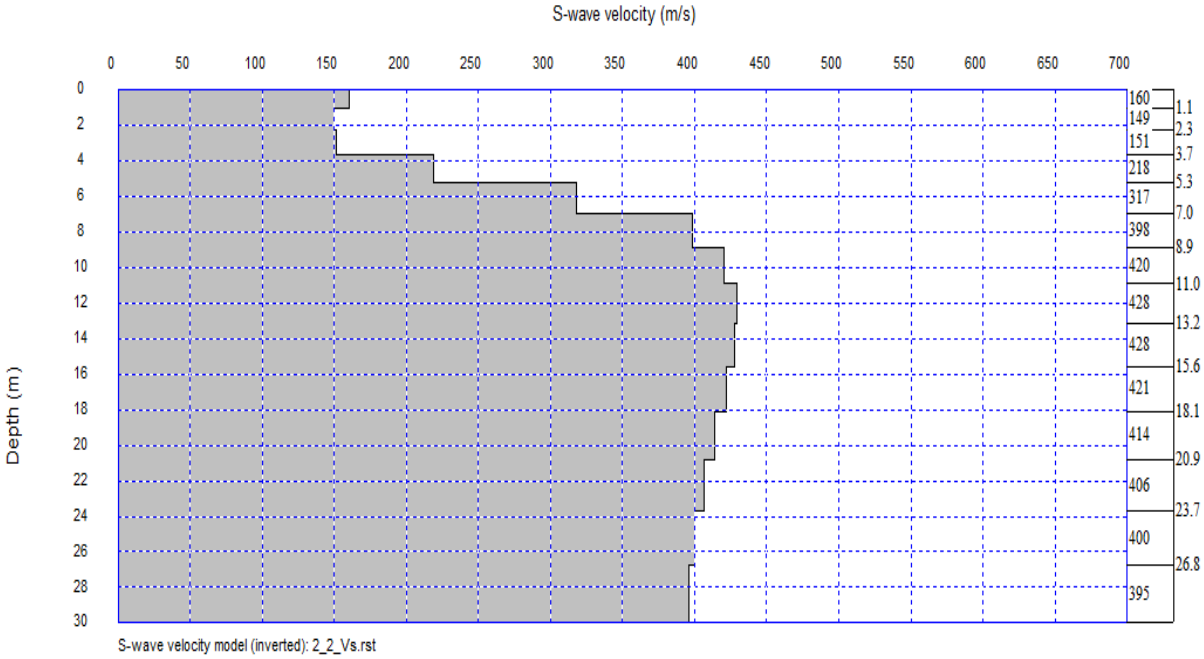
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

6.1.2 Masw L2



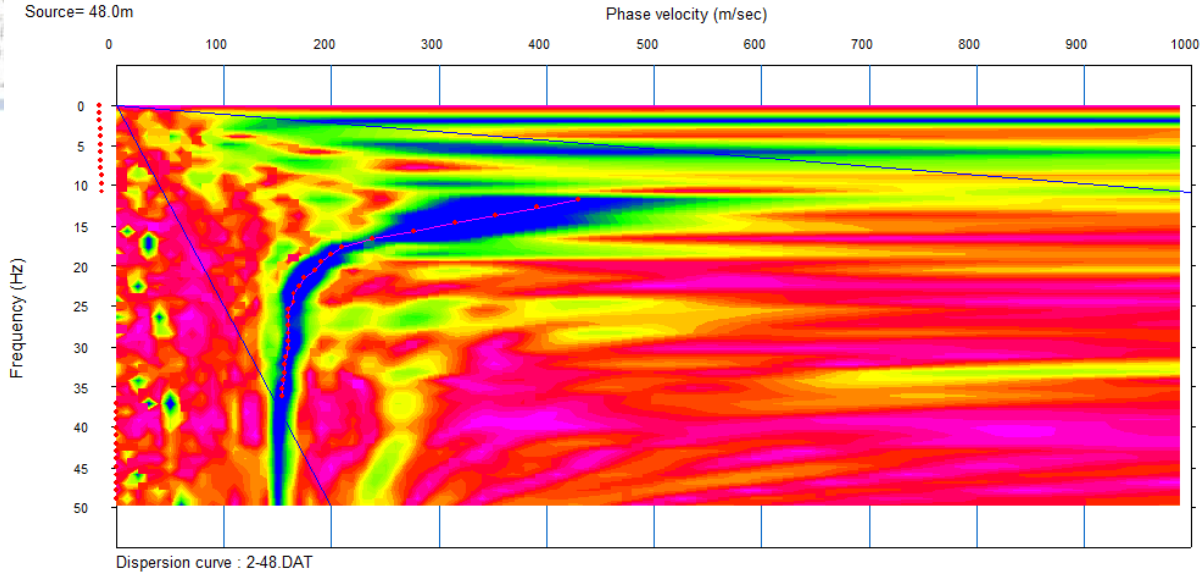
Εικόνα 6-9: Καμπύλη διασποράς MASW L2, σεισμική πηγή - 2 μ.



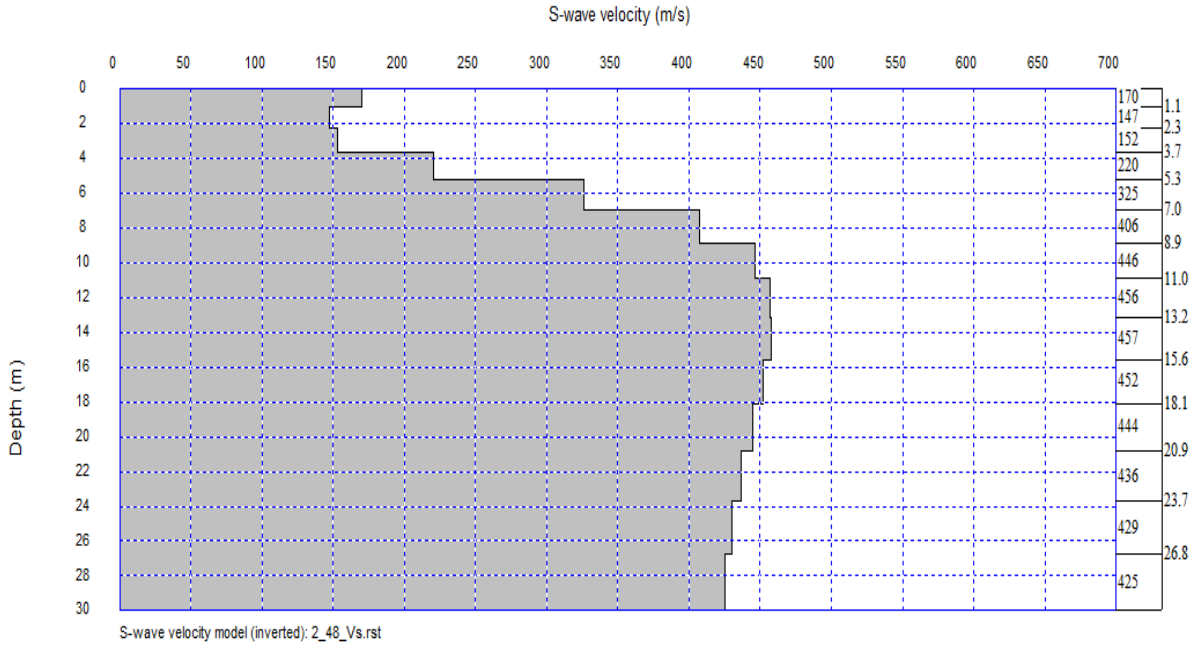
Εικόνα 6-10: Μονοδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων εγκαρσίων κυμάτων τομής MASW L2, πηγή - 2 μ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 6-11: Καμπύλη διασποράς MASW L2, πηγή 48 μ.



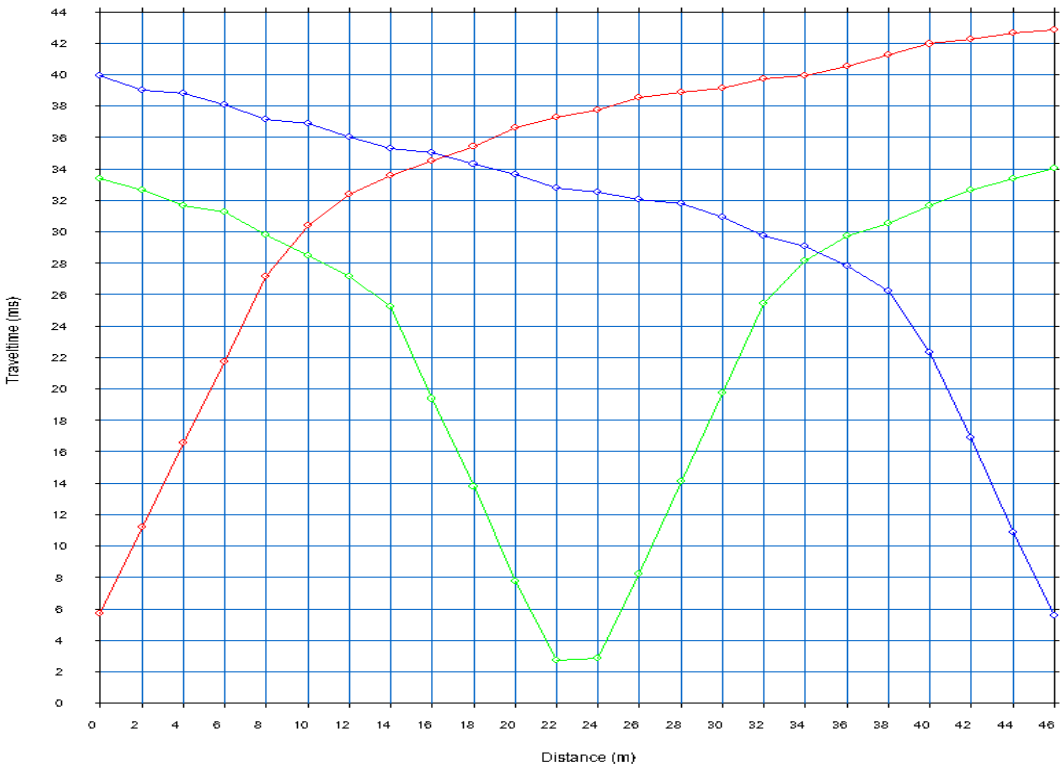
Εικόνα 6-12: Μονοδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων τομής MASW L2, πηγή 48 μ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Τα αποτελέσματα της σεισμικής τομής MASW L2, φαίνεται ότι παρουσιάζουν αποτελέσματα τα οποία μοιάζουν αρκετά με εκείνα της MASW L1. Αυτό είναι λογικό, αφού οι δύο τομές βρίσκονται σε παρόμοιο περιβάλλον και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους.

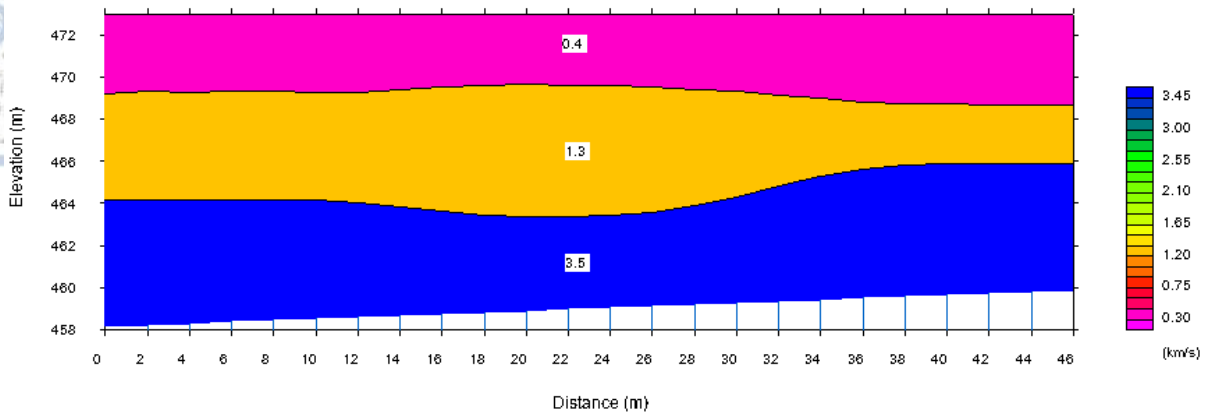
Έτσι, παρατηρείται ότι και στην συγκεκριμένη τομή η μέγιστη τιμή ταχύτητας των κυμάτων που εντοπίζεται είναι τα 460 m/sec. Ωστόσο μία μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων της πηγής 1 και 2 γίνεται και εδώ αντιληπτή στο βάθος από 8-10 μ κατά βάθος, σε βαθμό όμως που δεν αλλάζει την τελική ερμηνεία. Επίσης, στο βάθος των 2 μ και στις δύο τομές παρατηρείται μια μικρή μείωση των ταχυτήτων και στις δύο τομές. Στο συγκεκριμένο βάθος, ενώ η ταχύτητα των S κυμάτων ήταν 160 m/sec, φαίνεται να μειώνεται στα 140 m/sec στο βάθος 2-5 μ, για να αυξηθεί βαθύτερα και να φτάσει στην μεγαλύτερη τιμή που παρατηρείται στην τομή (460 m/sec) στο βάθος από 12-16 μ.



Εικόνα 6-13: Καμπύλες χρόνων διαδρομής επιμήκων κυμάτων τομής MASW L2.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 6-14: Δισδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων επιμήκων κυμάτων τομής MASW L2.

Η τομή διάθλασης (Εικόνα 6-14) η οποία προέκυψε από την αντιστροφή των χρόνων διαδρομής των επιμήκων κυμάτων φαίνεται να παρουσιάζει ένα σχεδόν οριζόντια στρωματωμένο μοντέλο. Οι ταχύτητες παρατηρείται επίσης ότι αυξάνονται όσο αυξάνεται και το βάθος.

Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο ταχυτήτων των επιμήκων κυμάτων παρουσιάζει τα εξής στοιχεία:

- Από την επιφάνεια του εδάφους και μέχρι το βάθος των τριών μέτρων εντοπίζεται ένα στρώμα με ταχύτητες κυμάτων P οι οποίες φτάνουν μέχρι και τα 400 m/sec.
- Το δεύτερο στρώμα παρατηρείται ότι έχει μεγαλύτερο βάθος από το προηγούμενο, ενώ οι ταχύτητες εδώ φτάνουν τα 1300 m/sec.
- Το υποκείμενο στρώμα, το οποίο είναι και το τελευταίο της τομής παρουσιάζει σχετικά απότομη αύξηση των ταχυτήτων με τιμές οι οποίες φτάνουν τα 3500 m/sec.

Όσον αφορά την σύγκριση των αποτελεσμάτων MASW και διάθλασης το συμπέρασμα είναι παρόμοιο με εκείνο για την τομή MASW L1. Παρατηρώντας και εδώ τα στοιχεία της Εικόνα 6-5 φαίνεται ότι στην τομή MASW, δεν γίνεται εντοπισμός του υποβάθρου σε σημαντικό βαθμό καθώς οι ταχύτητες των εγκαρσίων κυμάτων που παρατηρούνται είναι αρκετά χαμηλές. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της διάθλασης και πάλι αποδίδουν στα βαθύτερα στρώματα τιμές ταχύτητας επιμήκων κυμάτων αρκετά υψηλές ώστε να αντιστοιχούν στον ασβεστολιθικό σχηματισμό του υποβάθρου. Παρόλα αυτά οι τιμές και εδώ δεν αντιστοιχούν σε υγιή σχηματισμό υποβάθρου, αλλά πιθανότατα τεκτονικά επηρεασμένο.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" Τμήμα Γεωλογίας

Πίνακας 6-5: Αποτελέσματα αντιστροφής τομής MASW L2, για τις πηγές 1 και 2.

Στρώμα	Πάχος (m)	Ταχύτητα κυμάτων S (m/s)	Ταχύτητα κυμάτων S (m/s)
		Πηγή - 2 μ	Πηγή 48 μ
1	1.1	160.22	170.28
2	1.2	149.47	147.17
3	1.4	151.13	152.93
4	1.6	218.78	220.15
5	1.7	317.60	325.88
6	1.9	398.20	406.79
7	2.1	420.13	446.14
8	2.2	428.85	456.87
9	2.4	428.01	457.45
10	2.5	421.97	452.06
11	2.8	414.03	444.21
12	2.8	406.36	436.27
13	3.1	400.08	429.69
14	3.2	395.74	425.12

Πίνακας 6-6: Μέσος όρος ελαστικών παραμέτρων και V_{s30} πηγών 1, 2 τομής MASW L2.

Shear modulus G (MPa)	Young modulus E (Mpa)	Poisson's ratio σ	Vs30 (m/sec)
231.12	663.235	0.44	330.87

Σύμφωνα με τον κώδικα NEHRP, οι υπεδάφιοι σχηματισμοί οι οποίοι εντοπίζονται από την σεισμική τομή MASW L2 και την τομή διάθλασης, ανήκουν στην κατηγορία C. Ωστόσο, παρατηρείται και εδώ υψηλή τιμή του λόγου Poisson, επομένως συμπεραίνεται ότι και στην συγκεκριμένη τομή παρατηρούνται κυρίως αμμούχοι σχηματισμοί πάνω από τον ασβεστολιθικό σχηματισμό, με αυξημένη περιοεκτικότητα σε άργιλο και νερό.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

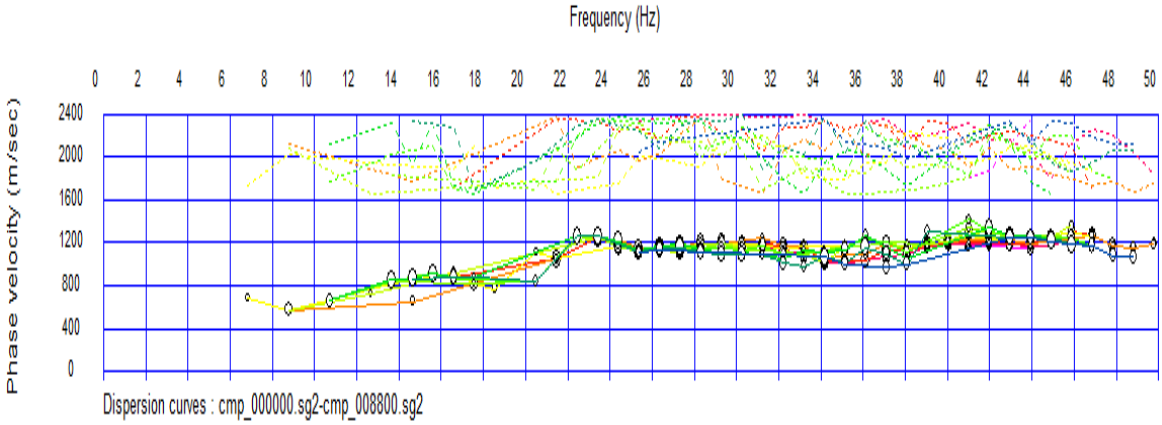
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

6.2 Περιοχή μελέτης Β

6.2.1 Masw L3

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο της οργάνωσης υπαίθριων μετρήσεων, στην περιοχή μελέτης Β εφαρμόστηκε λόγω έλλειψης χώρου η μέθοδος σταθερού δέκτη ή fixed receiver spread (Εικόνα 3-6). Στόχος ήταν η δημιουργία της δισδιάστατης ψευδοτομής ταχυτήτων των εγκαρσίων κυμάτων S.

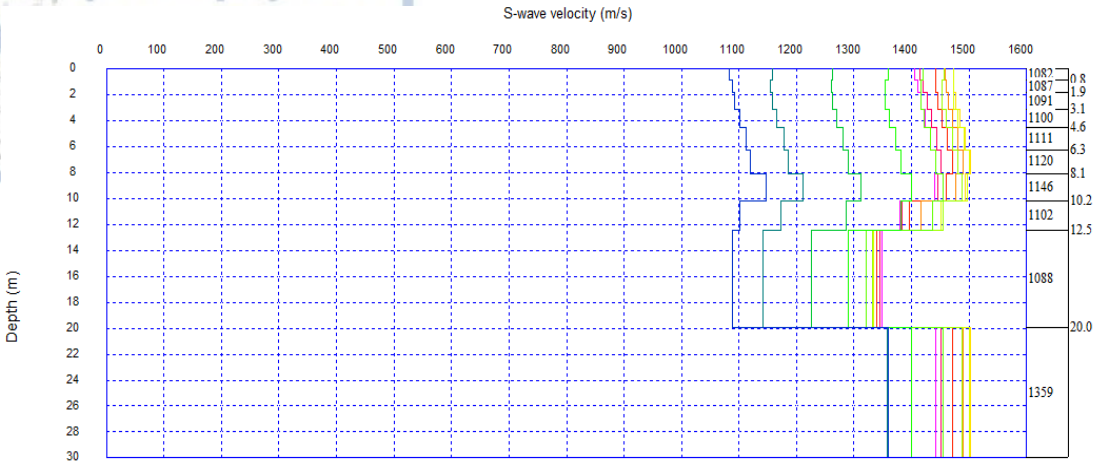
Στην Εικόνα 6-15, παρουσιάζονται οι καμπύλες διασποράς οι οποίες προέκυψαν μετά από την επεξεργασία των δεδομένων με το πρόγραμμα SeisImager. Παρατηρείται ότι οι τιμές ταχυτήτων στον άξονα y είναι αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με εκείνες που παρατηρήθηκαν στις καμπύλες διασποράς της περιοχής μελέτης Α. Αυτό ωστόσο είναι λογικό, εφόσον όπως διαπιστώθηκε από το ύπαιθρο αλλά και από τα αποτελέσματα των ηλεκτρικών αντιστάσεων, η περιοχή μελέτης Β βρίσκεται σε γεωλογικό περιβάλλον με μικρό πάχος επιφανειακών ιζημάτων, ενώ το ασβεστολιθικό υπόβαθρο εντοπίζεται και επιφανειακά.



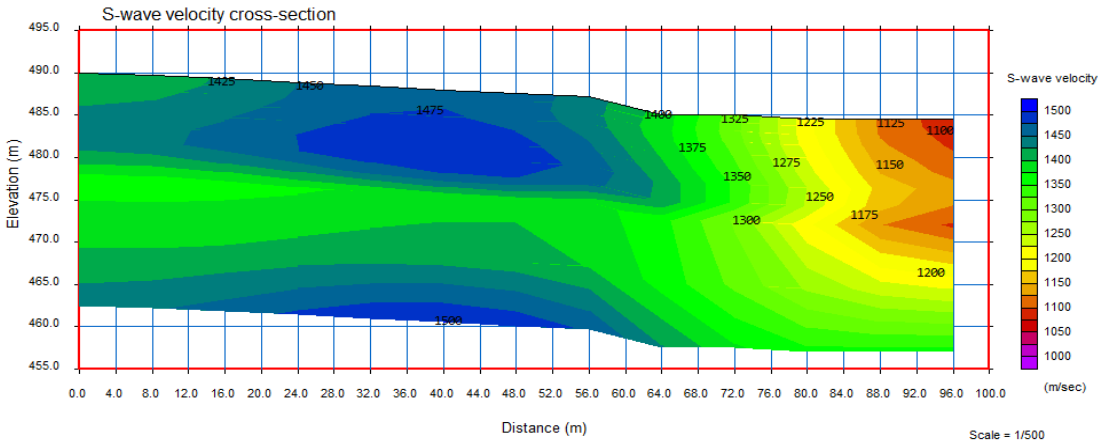
Εικόνα 6-15: Καμπύλες δισποράς για την δισδιάστατη ψευδοτομή ταχύτητας των εγκαρσίων κυμάτων στην περιοχή μελέτης Β.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 6-16: Κατανομή ταχυτήτων S κυμάτων σε βάθος, κατά μήκος της δισδιάστατης τομής MASW.



Εικόνα 6-17: Δισδιάστατη ψευδοτομή ταχυτήτων των εγκαρσίων κυμάτων.

Το εύρος ταχυτήτων των εγκαρσίων κυμάτων φαίνεται να είναι από 1000-1550 m/sec. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες φαίνεται να εντοπίζονται από τα 32-52 μ της τομής . Από τα 64 μ της τομής ωστόσο, οι ταχύτητες φαίνεται να ελαττώνονται σταδιακά. Έτσι, στα τελευταία μέτρα (88-94 μ) και από την επιφάνεια μέχρι το απόλυτο υψόμετρο των 475 μ. κυριαρχούν οι χαμηλότερες ταχύτητες (1000 m/sec).

Και στην περιοχή μελέτης Β, θεωρήθηκε σημαντικό να υπολογιστεί η ψευδοτομή ταχυτήτων των επιμήκων κυμάτων P, έτσι ώστε να συγκριθεί με εκείνη των εγκαρσίων κυμάτων και να συμβάλλουν σε μια πιο σωστή, συνδυαστική ερμηνεία των δεδομένων.

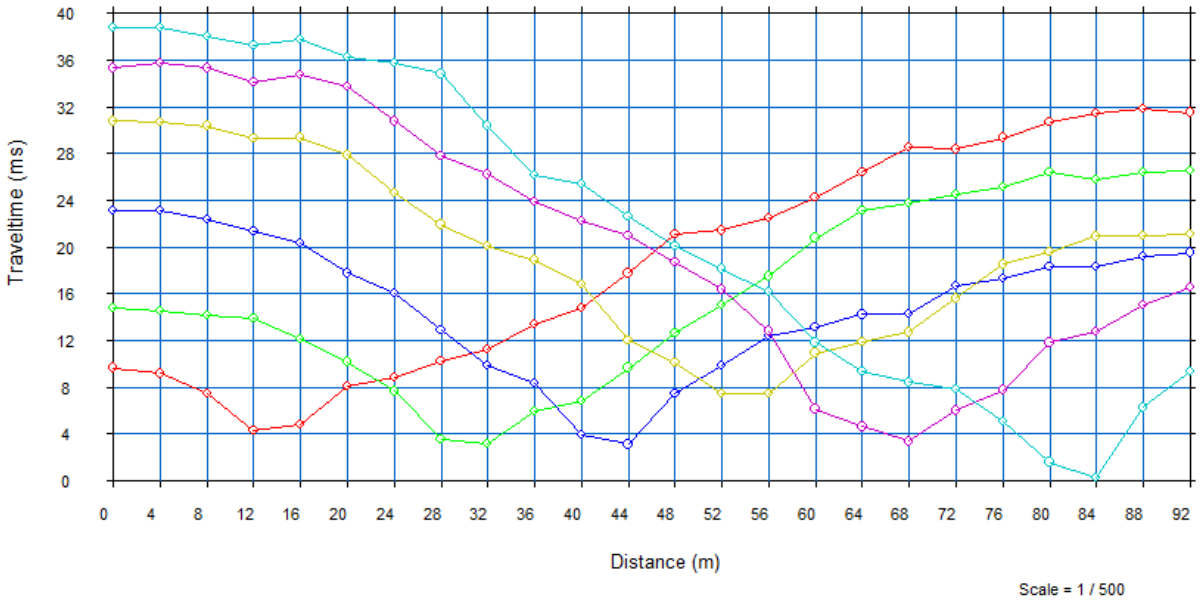
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας

Όσον αφορά τις καταγραφές των επιμήκων κυμάτων, η τελική ψευδοτομή ταχυτήτων αυτών προκύπτει από την αντιστροφή των χρόνων διαδρομής που έχουν καταγραφεί από τα 24 γεώφωνα της διάταξης. (Εικόνα 6-18).

Οι ταχύτητες των επιμήκων κυμάτων (Εικόνα 6-19) φαίνεται να είναι από 800-2400 m/sec. Οι μικρότερες ταχύτητες εντοπίζονται επιφανειακά στα πρώτα 4 μέτρα πάχους της τομής και από τα 0-60 μ της τομής. Οι χαμηλές αυτές ταχύτητες αντιστοιχούν στο επιφανειακό στρώμα ιζημάτων της περιοχής μελέτης, ενώ οι μεγαλύτερες στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο.

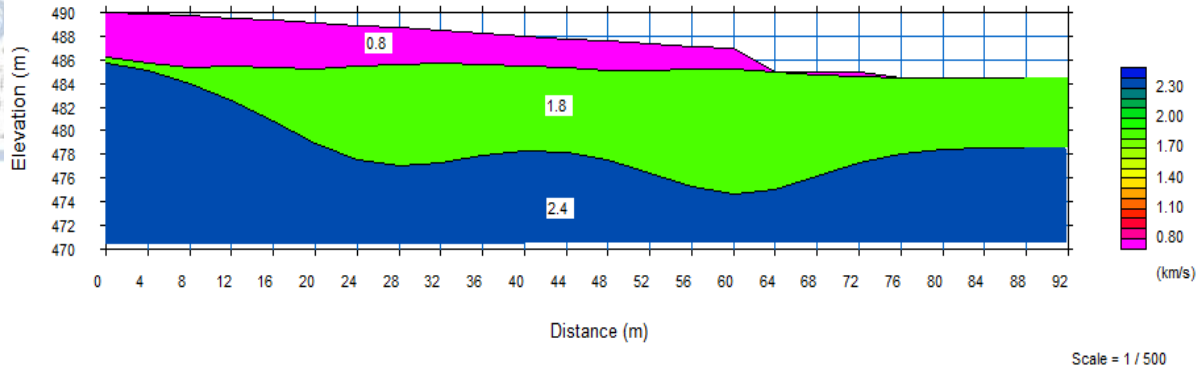
Τα δύο μοντέλα ταχυτήτων (εγκαρσίων και επιμήκων κυμάτων), φαίνεται να προτείνουν μικρές διαφορές στην τελική ερμηνεία. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την Εικόνα 6-5, το εύρος των ταχυτήτων 1000-1550 των εγκαρσίων κυμάτων, αντιστοιχεί κυρίως σε τεκτονικά καταπονισμένα μικρού έως μεγάλου βαθμού πετρώματα. Αντίθετα, το εύρος ταχυτήτων 800-2400 m/sec για τα επιμήκη κύματα, σύμφωνα με την Εικόνα 6-18, αντιστοιχούν σε αμμούχους αργίλους για τις χαμηλότερες τιμές (800-1500 m/sec), ενώ οι μεγαλύτερες ταχύτητες αναφέρονται σε περισσότερο συμπαγή πετρώματα, όπως είναι το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της συγκεκριμένης περιοχής.



Εικόνα 6-18: Καμπύλες χρόνων διαδρομής επιμήκων κυμάτων για 6 διαφορετικές σεισμικές πηγές.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 6-19: Μοντέλο ταχυτήτων επιμήκων κυμάτων P για την περιοχή μελέτης Β.

Πίνακας 6-7: Ταχύτητες εγκαρσίων κυμάτων για τις 12 μονοδιάστατες τομές MASW οι οποίες συνθέτουν την τελική δισδιάστατη ψευδοτομή της Εικόνα 6-19.

Vs (m/sec)											
1405.87	1414.64	1442.45	1457.98	1472.03	1472.83	1456.54	1419.66	1359.31	1262.66	1157.73	1082.90
1410.43	1420.66	1442.26	1460.54	1473.16	1472.36	1453.57	1419.66	1354.54	1261.08	1155.13	1087.42
1416.83	1426.97	1446.15	1464.18	1476.14	1473.99	1453.77	1415.58	1354.69	1263.02	1157.97	1091.72
1424.15	1434.15	1452.88	1471.20	1483.28	1480.89	1460.20	1415.50	1361.26	1270.46	1166.50	1100.69
1432.92	1442.97	1461.90	1480.60	1493.31	1491.15	1470.63	1421.68	1372.21	1281.36	1177.58	1111.97
1441.35	1451.47	1470.59	1489.52	1502.33	1500.14	1479.55	1432.30	1381.09	1290.14	1186.08	1120.64
1439.38	1446.14	1460.55	1477.51	1492.82	1498.01	1486.81	1441.26	1399.80	1312.14	1210.66	1146.80
1379.82	1383.93	1396.40	1415.36	1436.01	1450.91	1453.88	1435.76	1382.21	1285.58	1172.18	1102.42
1348.61	1344.52	1339.27	1333.78	1332.47	1333.38	1331.53	1320.94	1290.02	1225.85	1142.39	1088.64
1441.35	1451.47	1470.59	1489.52	1502.33	1500.14	1486.81	1455.83	1399.80	1357.98	1358.44	1359.07

Λαμβάνοντς υπόψιν τις ταχύτητες των μονοδιάστατων τομών MASW του Πίνακας 6-7 οι οποίες συνθέτουν την τελική δισδιάστατη ψευδοτομή ταχύτητας εγκαρσίων κυμάτων, υπολογίστηκε ο μέσος όρος της Vs_{30} συνολικά για όλη την τομή. Η Vs_{30} έχει τιμή 1228 m/sec και σύμφωνα με τον κώδικα NEHRP, ανήκει στην κατηγορία εδαφών Β.

7 Τελικά συμπεράσματα και προτάσεις

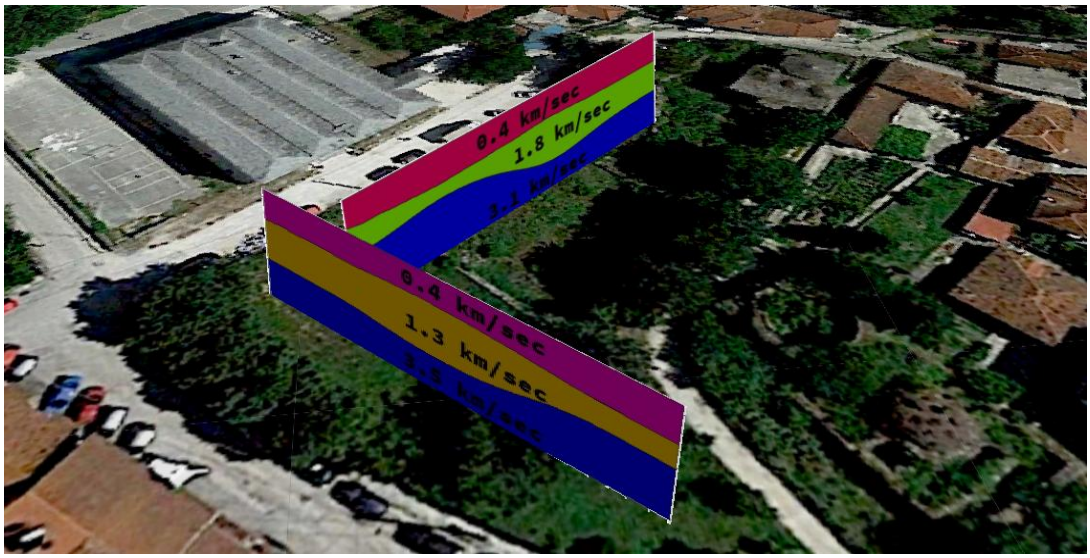
Από την εφαρμογή της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας και της σεισμικής μεθόδου MASW, όπως αναφέρθηκε στα παραπάνω κεφάλαια, προέκυψαν αποτελέσματα τόσο για την υπεδάφια γεωλογική δομή αλλά και για τις ελαστικές παραμέτρους της περιοχής μελέτης. Οι πληροφορίες αυτές είναι απαραίτητες για μία ολοκληρωμένη και σωστή γεωτεχνική μελέτη. Η συνδυαστική ερμηνεία των δύο μεθόδων λοιπόν προτείνει τα εξής:

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Περιοχή μελέτης Α

- Οι σχηματισμοί της περιοχής Α, σύμφωνα με την μέθοδο MASW και την εκτίμηση της Vs_{30} που προκύπτει από τις ταχύτητες των εγκαρσίων κυμάτων S, ανήκουν στην κατηγορία C, η οποία αντιστοιχεί σε πολύ πυκνούς εδαφικούς σχηματισμούς ή χαλαρό βράχο.
- Οι δισδιάστατες ψευδοτομές των επιμήκων κυμάτων P, συμφωνούν μεταξύ τους, αποδίδοντας τις ταχύτητες σε σχηματισμούς, οι οποίοι ομαδοποιούνται σε 3 στρώματα αυξανόμενης κατά βάθος ταχύτητας (Εικόνα 7-1).



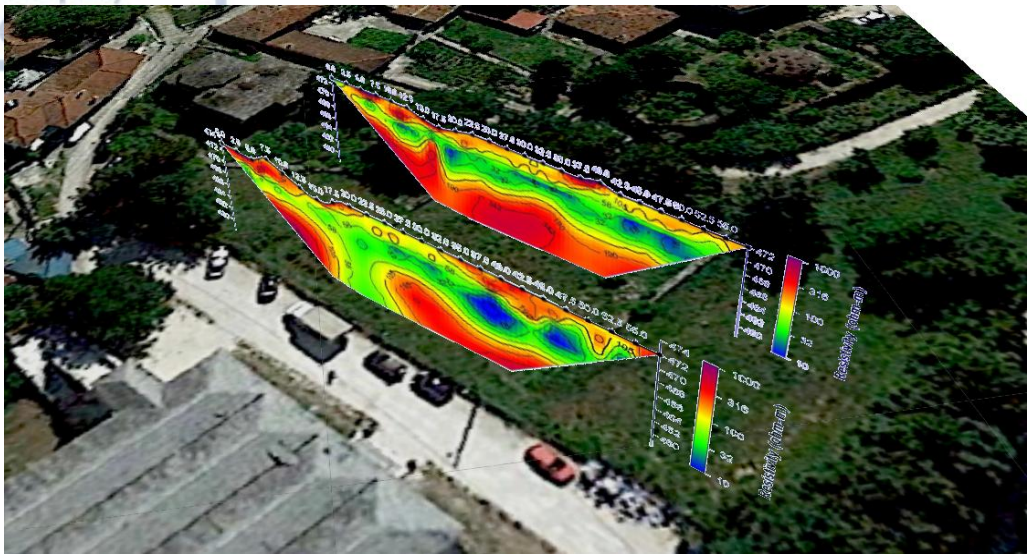
Εικόνα 7-1: Δισδιάστατες ψευδοτομές ταχύτητας επιμήκων κυμάτων στην περιοχή μελέτης Α.

- Οι υψηλές τιμές του λόγου Poisson (>0.4), ευθύνονται στην ύπαρξη κορεσμένης αργίλου, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και από το ενδιάμεσο στρώμα χαμηλών αντιστάσεων που παρατηρήθηκε τόσο στις τομές του καννάβου 1 αλλά και του καννάβου 2.
- Όσον αφορά την τεκτονική και γεωλογία της περιοχής, τα γεωηλεκτρικά αποτελέσματα του καννάβου 2 δείχνουν μια ομοιόμορφη δομή και στις 5 τομές, χωρίς παρουσία ζωνών διάρρηξης, με τα επιφανειακά πιο αδρόκοκκα υλικά (άμμος με κροκάλες) πάχους 1-2 μ , να υπέρκεινται του στρώματος της κορεσμένης αργίλου πάχους περίπου 2-3 μ, ενώ βαθύτερα συναντάται το ασβεστολιθικό υπόβαθρο.
- Παρόμοιο εύρος αντιστάσεων και υπεδάφια γεωλογική δομή παρατηρήθηκε και στις τομές του καννάβου 1. Ωστόσο, η περιοχή αυτή είναι περισσότερο καταπονισμένη, με μία μεγάλη ζώνη διάρρηξης να εμφανίζεται από την τομή

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

2 από τα 17.5 έως τα 20 μ της τομής. Αυτή φαίνεται να εντοπίζεται μέχρι και την τομή 6, ενώ στην τομή 7 εξασθενεί (Εικόνα 7-2).



Εικόνα 7-2: Γεωηλεκτρικές τομές 2 και 7 του καννάβου 1 στην περιοχή μελέτης Α.

Περιοχή μελέτης Β

Για την περιοχή μελέτης Β, η οποία βρίσκεται ακριβώς μπροστά από τον χώρο του τζαμί Ασλάν Πασά, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα από την συνδυαστική ερμηνεία των δύο μεθόδων:

Οι αντιστάσεις των γεωηλεκτρικών τομών είναι πολύ αυξημένες, με τιμές οι οποίες ξεπερνούν τα 10000 Ohm.m. Όπως διαπιστώθηκε και από τις υπαίθριες μετρήσεις, ο ασβεστολιθικός σχηματισμός εντοπιζόταν επιφανειακά, γεγονός που δικαιολογεί τις υψηλές αντιστάσεις στην συγκεκριμένη περιοχή. Αντίθετα, οι χαμηλές αντιστατικές τιμές συμπίπτουν με το επίπεδο στάθμης της λίμνης γεγονός το οποίο πιθανολογεί υδραυλική επικοινωνία με την περιοχή μελέτης.

Η δισδιάστατη ψευδοτομή ταχύτητας των εγκαρσίων κυμάτων S συμφωνεί με τα αποτελέσματα των γεωηλεκτρικών τομών, καθώς προκύπτουν ταχύτητες μεγαλύτερες από 1.2 km/sec οι οποίες αντιστοιχούν στον ασβεστολιθικό σχηματισμό, με τις μικρότερες ταχύτητες να εντοπίζονται στα τελευταία 4 μέτρα της τομής.

Τέλος, η Vs_{30} που προκύπτει (1228 m/sec), κατατάσσει την περιοχή μελέτης Β στην κατηγορία εδαφών Β, στην οποία ανήκουν οι βραχώδεις σχηματισμοί. Παρόλα αυτά, οι γεωηλεκτρικές τομές απεικονίζουν ανομοιογενείς αντιστατικές τιμές, γεγονός που φανερώνει πως η περιοχή είναι επηρεασμένη από την τεκτονική.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Βιβλιογραφία

- Anderson, N., Thitimakorn, T., Ismail, A., Hoffman, D., 2007. A Comparison of Four Geophysical Methods for Determining the Shear Wave Velocity of Soils. Environ. Eng. Geosci. 13, 11–23. https://doi.org/10.2113/gseegeosci.13.1.11
- Athanasiou, E.N., Tsourlos, P.I., Papazachos, C.B., Tsokas, G.N., 2007. Combined weighted inversion of electrical resistivity data arising from different array types. J. Appl. Geophys. 62, 124–140. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2006.09.003
- Batayneh, A.T., Barjous, M.O., 2003. A Case Study of Dipole-Dipole Resistivity for Geotechnical Engineering from the Ras en Naqab Area, South Jordan. J. Environ. Eng. Geophys. 8, 31–38. https://doi.org/10.4133/JEEG8.1.31
- Dahlin, T., Zhou, B., 2006. Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging. Surf. Geophys. 4, 113–123. https://doi.org/10.3997/1873-0604.2005037
- Dahlin, T., Zhou, B., 2004. A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. Geophys. Prospect. 52, 379–398. https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.2004.00423.x
- Dostál, I., Putiška, R., Kušnirák, D., 2014. Determination of shear surface of landslides using electrical resistivity tomography. Contrib. Geophys. Geod. 44, 133–147. https://doi.org/10.2478/congeo-2014-0008
- Fox, R.C., Hohmann, G.W., Killpack, T.J., Rijo, L., 1980. Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys. GEOPHYSICS 45, 75–93. https://doi.org/10.1190/1.1441041
- Ishola, K.S., Nawawi, M.N., Abdullah, K., Sabri, A.I., Adiat, K., 2014. Assessment of the reliability of reproducing two-dimensional resistivity models using an image processing technique. SpringerPlus 3, 214. https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-214
- Klimis, N.S., Papazachos, C.B., Efremidis, C.F., n.d. Determination of the behaviour of a sedimentary rock mass: comparison of measured static and dynamic properties. 5.
- Loke, D.M.H., n.d. Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys 134.
- Loke, M.H., Acworth, I., Dahlin, T., 2003. A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. Explor. Geophys. 34, 182–187. https://doi.org/10.1071/EG03182
- Loke, M.H., Dahlin, T., 2002. A comparison of the Gauss–Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. J. Appl. Geophys. 49, 149–162. https://doi.org/10.1016/s0926-9851(01)00106-9
- Luna, R., Jadi, H., n.d. DETERMINATION OF DYNAMIC SOIL PROPERTIES USING GEOPHYSICAL METHODS 15.
- McGILLIVRAY, P.R., Oldenburg, D.W., 1990. METHODS FOR CALCULATING FRECHET DERIVATIVES AND SENSITIVITIES FOR THE NON-LINEAR INVERSE PROBLEM: A COMPARATIVE STUDY1. Geophys. Prospect. 38, 499–524. https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1990.tb01859.x
- Park, C.B., n.d. Characterization of Geotechnical Sites by 17.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., 1999. Multichannel analysis of surface waves. GEOPHYSICS 64, 800–808. https://doi.org/10.1190/1.1444590

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

- Putiška, R., Dostál, I., Kušnirák, D., 2012a. Determination of dipping contacts using electrical resistivity tomography. Contrib. Geophys. Geod. 42, 161–180. https://doi.org/10.2478/v10126-012-0007-6
- Putiška, R., Nikolaj, M., Dostál, I., Kušnirák, D., 2012b. Determination of cavities using electrical resistivity tomography. Contrib. Geophys. Geod. 42, 201–211. https://doi.org/10.2478/v10126-012-0018-3
- Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., Richard, G., 2005. Electrical resistivity survey in soil science: a review. Soil Tillage Res. 83, 173–193. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004
- Sasaki, Y., 1992. RESOLUTION OF RESISTIVITY TOMOGRAPHY INFERRED FROM NUMERICAL SIMULATION1. Geophys. Prospect. 40, 453–463. https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1992.tb00536.x
- Soupios, P.M., Georgakopoulos, P., Papadopoulos, N., Saltas, V., Andreadakis, A., Vallianatos, F., Sarris, A., Makris, J.P., 2007. Use of engineering geophysics to investigate a site for a building foundation. J. Geophys. Eng. 4, 94–103. https://doi.org/10.1088/1742-2132/4/1/011
- Soupios, P.M., Papazachos, C.B., Vargemezis, G., Fikos, I., 2005. Application of seismic methods for geotechnical site characterization 8.
- Suto, K., Arcenovic, S., Sugawara, J., Aizawa, T., 2016. AN INVESTIGATION OF A LANDSLIDE-PRONE AREA BY MASW AND RESISTIVITY SURVEYS, in: Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2015. Presented at the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2015, Society of Exploration Geophysicists and Environment and Engineering Geophysical Society, Denver, Colorado, USA, pp. 379–383. https://doi.org/10.4133/SAGEEP.29-064
- Tong, L., Yang, C., 1990. Incorporation of topography into two-dimensional resistivity inversion. GEOPHYSICS 55, 354–361. https://doi.org/10.1190/1.1442843
- Tsourlos, P.I., Szymanski, J.E., Tsokas, G.N., 1999. The effect of terrain topography on commonly used resistivity arrays. GEOPHYSICS 64, 1357–1363. https://doi.org/10.1190/1.1444640

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης