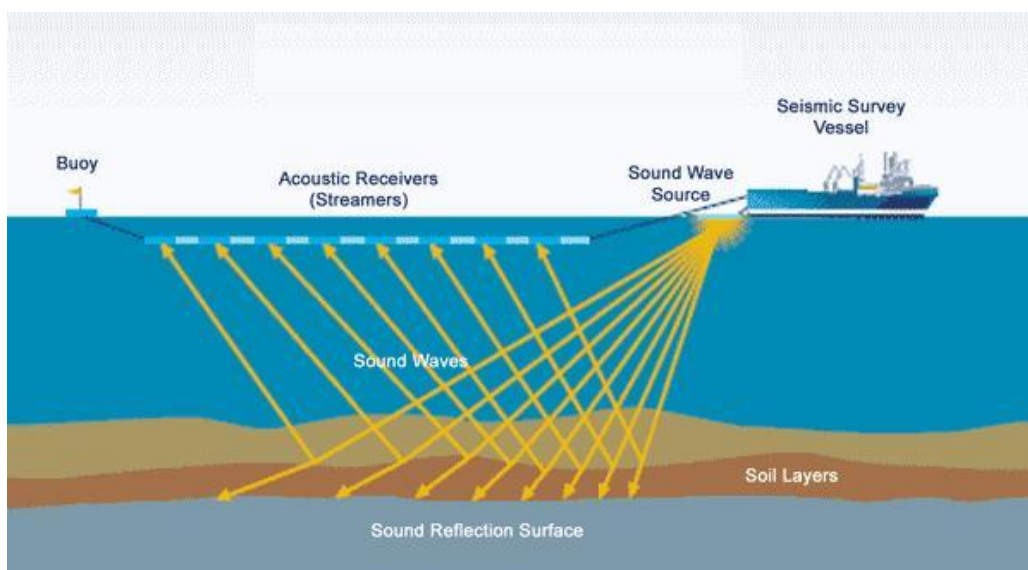




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΚΟΥΛΙΕΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
Α.Μ.:2012020012

ΘΕΜΑ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΑΕΓ-1 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΝΔ
ΑΙΓΑΙΟΥ



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων: **ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΗΣ** Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης
Μέλη: **ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ** ΔΕΠ Πολυτεχνείου Κρήτης
ΑΝΔΡΟΝΙΚΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΕΤΕΠ Πολυτεχνείου Κρήτης

Χανιά 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Βαφείδη Αντώνη για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας που αφορά την επεξεργασία πραγματικών δεδομένων και για τον χρόνο που αφιέρωσε για την διπλωματική μου εργασία.

Επίσης ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον καθηγητή κ.Μανούτσογλου Εμμανουήλ και τον διδάκτορα κ.Ανδρονικίδη Νικόλαο.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον διδάκτορα κ. Ανδρονικίδη Νικόλαο για τον πολύτιμο χρόνο του που αφιέρωσε σε όλο το στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων της διπλωματικής μου εργασίας καθώς επίσης για την άψογη συνεργασία και πολύτιμη βοήθεια του.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου για την καθημερινή υποστήριξη σε κάθε βήμα μου όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την επεξεργασία δεδομένων σεισμικής ανάκλασης από την θαλάσσια περιοχή νοτιοανατολικά της Πελοποννήσου. Τα δεδομένα αντιστοιχούν σε τμήμα της σεισμικής γραμμής AEG-1 που διασκοπήθηκε τον Απρίλιο του 1993 στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος JOULE II.

Η γραμμή μελέτης που εξετάζεται έχει μήκος περίπου 42.5 km. Οι σεισμικές τομές απεικονίζουν δεδομένα για διπλό χρόνο διαδρομής που φθάνει τα 2.5 δευτερόλεπτα. Η επεξεργασία των δεδομένων σε περιβάλλον Matlab.

Τα βασικά στάδια της επεξεργασίας είναι :

- α) Διάβασμα των δεδομένων ,
- β) Γεωμετρία του πειράματος ,
- γ) Ανάλυση ταχυτήτων με την χρήση χάρτη συνάφειας ,
- δ) Εφαρμογή της δυναμικής διόρθωσης σε δεδομένα διάταξης κοινού ενδιάμεσου σημείου,
- ε) Δημιουργία τομής υπέρθεσης ,
- στ) Εφαρμογή μεθόδων χωροθέτησης.

Για την σεισμική χωροθέτηση εφαρμόστηκαν τρεις τεχνικές: i) μέθοδος Kirchhoff ,ii) μέθοδος πεπερασμένων διαφορών και iii) σεισμική χωροθέτηση στο χώρο κυματάριθμου - συχνότητας (Phase Shift).

Τέλος για την ερμηνεία της τομής χωροθέτησης έγινε υπέρθεση της τμηματικής ταχύτητας. Στην ερμηνευμένη σεισμική τομή απεικονίζονται τεκτονικές δομές και σεισμικά στρώματα τα οποία αποδόθηκαν σε γεωλογικά στρώματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Γεωλογία της περιοχής μελέτης

1.1 Γεωδυναμική - Τεκτονική	6
1.2 Εξωτερικές και εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες	8
1.2.1 Εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες	8
1.2.2 Εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες	9

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Βασικές αρχές της σεισμικής ανάκλασης

2.1 Σεισμικές έρευνες για θαλάσσιες διασκοπήσεις	11
2.2 Αρχή Huygens	14
2.2.1 Αρχή Fermat	15
2.3 Κοινό ενδιάμεσο σημείο	16
2.4 Μέση ταχύτητα	17
2.5 Μέση Τετραγωνική Ταχύτητα (RMS Velocity)	18
2.6 Υπεδαφική κάλυψη	19

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Ανάλυση Ταχύτητας

3.1 Μέθοδος της συνάφειας	22
3.2 Δυναμική διόρθωση NMO(normal moveout)	23
3.3 Σεισμική Υπέρθεση (Stacking)	24
3.4 Χωροθέτηση (Migration)	25
3.5 Μέθοδοι σεισμικής χωροθέτησης	25
3.5.1 Μέθοδος Kirchhoff	25
3.5.2 Μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών	26
3.5.3 Μέθοδος της σεισμικής χωροθέτησης στο χώρο των συχνοτήτων	27

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4.1 Γεωμετρία του πειράματος	28
4.2 Ανάλυση ταχυτήτων.....	28
4.3 Υπολογισμός V_{rms} και $V_{interval}$ στα δεδομένα	30
4.4 Δυναμική διόρθωση NMO(normal moveout) στα δεδομένα	32
4.5 Σεισμική υπέρθεση (stacking) στα δεδομένα	33

4.6 Δοκιμές παραμέτρων χωροθέτησης	34
4.7 Υπέρθεση των αποτελεσμάτων της χωροθέτησης με το μοντέλο των τμηματικών ταχυτήτων	40
5 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Συμπεράσματα	
5.1 Συμπεράσματα	42
5.2 Προτάσεις	43
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	44
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	
Χρήση αλγορίθμου στο λογισμικό της Matlab για την εφαρμογή της σεισμικής χωροθέτησης	46

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Γεωλογία της περιοχής μελέτης

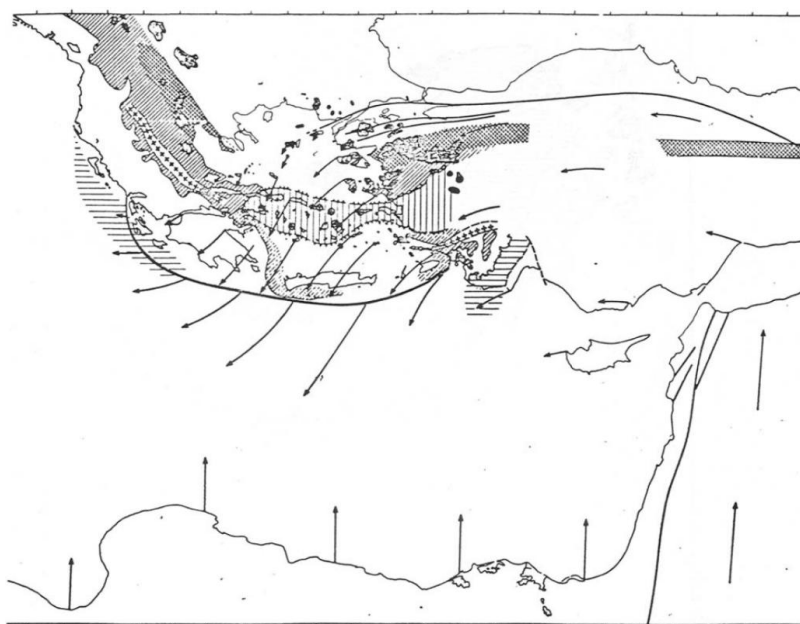
1.1 Γεωδυναμική - Τεκτονική

Το γεωτεκτονικό καθεστώς του Αιγαίου και του Ελληνικού τόξου που επικρατεί σήμερα ξεκίνησε να διαμορφώνεται με τη βύθιση της Αφρικάνικης πλάκας κάτω από την Ευρασιατική λιθόσφαιρα στο Μέσο Μειόκαινο δηλαδή περίπου 10 εκατομμύρια χρόνια πριν (www.geo.auth.gr) .

Στα πλαίσια των νεοτεκτονικών ερευνών που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία 20 χρόνια αναπτύχθηκαν δύο απόψεις. Η συνεχόμενη μείωση του πάχους της πλάκας από 50 km σε 24 km αναφέρετε από την μια άποψη όπου ισχυρίζεται ότι τα τελευταία 10 εκατομμύρια χρόνια ο Ελληνικός χώρος εσωτερικά του τόξου ήταν συνεχώς σε εφελκυσμό.

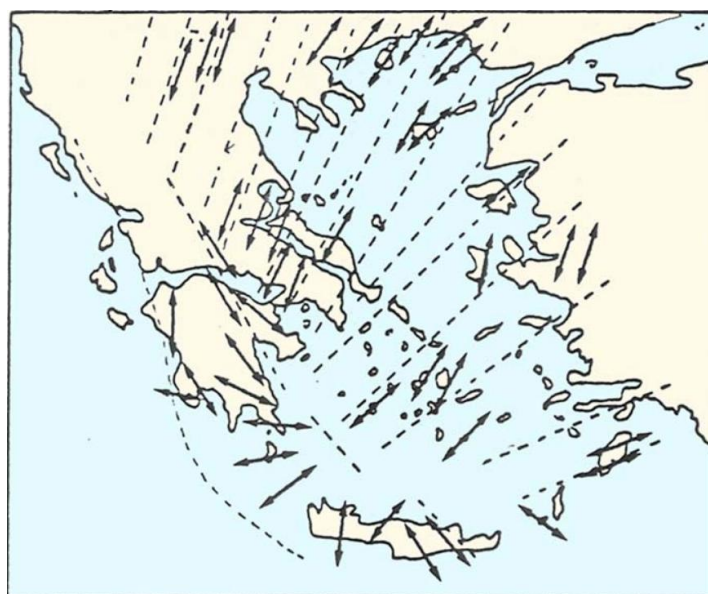
Η άποψη ότι οι συμπιεστικές τάσεις που πραγματοποιήθηκαν στα εξωτερικά του Ελληνικού τόξου ήταν συνεχής υποστηρίχθηκε από την δεύτερη ομάδα επιστημόνων όπου ανέφεραν ότι στα εσωτερικά η εφελκυστική διαδικασία δεν ήταν συνεχής , αλλά διακόπηκε και από μία περίοδο συμπιεστικών τάσεων στα όρια Πλειστοκαίνου. Σε όλες τις περιοχές του Αιγαίου και του ηπειρωτικού χώρου παρατηρείται η φάση αυτή της συμπίεσης με ορισμένα ανάστροφα ρήγματα και κάμψεις των πετρωμάτων.

Από την πρώτη άποψη της ομάδα επιστημόνων υποστηρίχτηκε ότι τα φαινόμενα που συνδέονται με εφελκυστικά επεισόδια μεγάλης έκτασης ή αντίστοιχα περιστροφής δεν τεκμηριώνουν συμπιεστικές τεκτοφάσεις γιατί είναι σποραδικά και δεν αποτελούν ενιαία σύνολα (www.geo.auth.gr) (σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Τεκτονική στον χώρο του Αιγαίου (www.geo.auth.gr).

Σήμερα οι ισχυρές τάσεις που εμφανίζονται έχουν διεύθυνση Βορρά Νότο, στο πλειόκαινο δηλαδή στο άμεσο παρελθόν οι τάσεις όπου λάμβαναν χώρα στην εσωτερική περιοχή του Αιγαίου είχαν διαφορετική διεύθυνση και συγκεκριμένα βορειοανατολική-νοτιοδυτική (σχήμα 1.2). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα παράλληλα στην Αλπική διάταξη να πραγματοποιηθεί δημιουργία κανονικών ρηγμάτων και ανάπτυξη τάφρων-λεκάνων κατά την διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά.



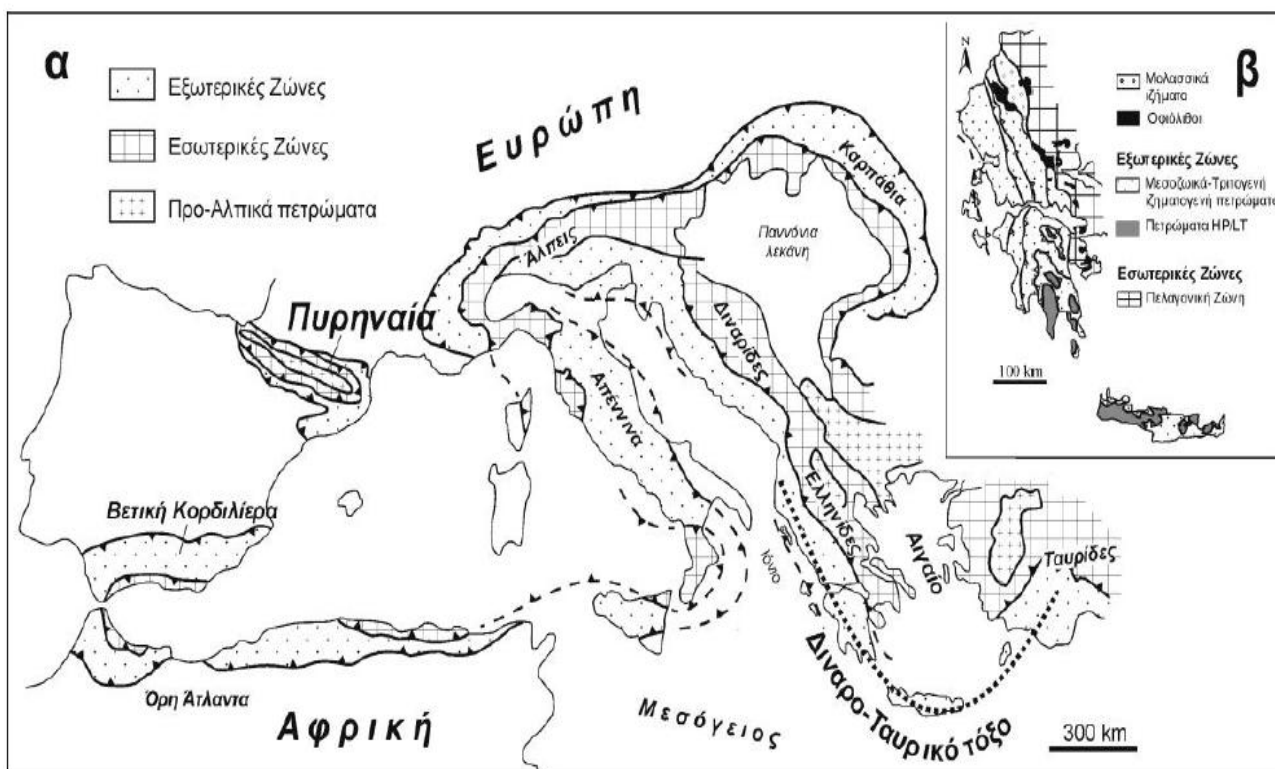
Σχήμα 1.2: Οι τάσεις και οι διευθύνσεις τους στο Πλειόκαινο στον Ελλαδικό χώρο (www.geo.auth.gr).

1.2 Εξωτερικές και εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες

1.2.1 Εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες

Οι Εξωτερικές Ελληνίδες αποτελούν τμήμα της Αλπικής οροσειράς και η δημιουργία τους πραγματοποιήθηκε κατά την πρόσκρουση των ηπείρων της Αφρικής και της Ευρασίας. Η πρόσκρουση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την βύθιση του ωκεανού της Τηθύος. Στην περιοχή του σημερινού Μεσογειακού χώρου βρισκόταν ο ωκεανός της Τηθύος και στις αρχές του Ιουρασικού πραγματοποιήθηκε η βύθιση του (Smith 1971, Robertson et al. 1991 Stampfli, et al. 1991 Ricou 1994).

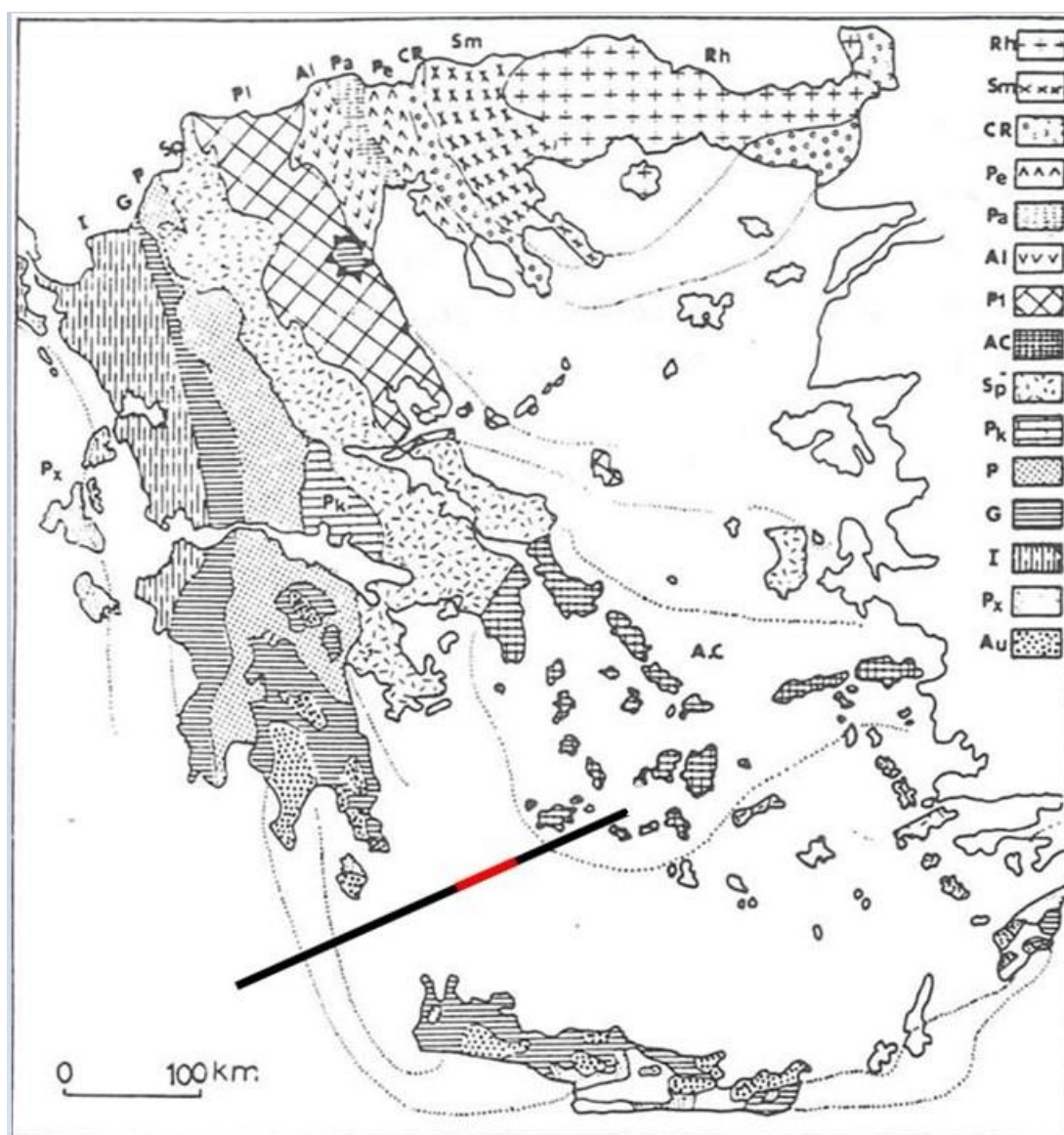
Η "γραμμή Σκούταρι-Ρεσ" είναι αυτή που διαχωρίζει τις εξωτερικές Ελληνίδες από τις Δυναρίδες με μία ισχυρή τεκτονική. Νότια αυτής της γραμμής οι Εξωτερικές Ελληνίδες καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της Ελληνικής χερσονήσου καμπυλώνουν στην περιοχή Κρήτης Ρόδου και αντιστοιχούν στις Ταυρίδες Οροσειρές στην ΝΔ Τουρκία. Ένας εκ των δύο κλάδων του Αλπικού Ορογενούς σχηματίζει το Δυναροταυρικό τόξο (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3 : α) Γενικευμένος τεκτονικός χάρτης του Αλπικού ορογενούς στην περιοχή της νότιας Ευρώπης στον οποίο φαίνονται οι Εξωτερικές και εσωτερικές ζώνες αυτού. (συνθετικό σχήμα από Dewey et al. 1973, Smith & Woodcock 1982, Coward & Dietrich 1989). β) Γενικευμένος τεκτονικό χάρτης των Εξωτερικών Ελληνίδων (www.geo.auth.gr).

1.2.2 Εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες

Στις εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες ανήκουν οι ακόλουθες ζώνες: Βοιωτίας, Υποπελαγονική, Πελαγονική, Αττικοκυκλαδική Μάζα, Ζώνη Αξιού (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4 : Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζας της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσου-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γραβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα "Ταλα όρη-πλακώδεις ασβεστόλιθοι" πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Κατά Mountrakis et al. 1983). Με κόκκινο απεικονίζεται το τμήμα της γραμμής μελέτης που πραγματοποιείτε η επεξεργασία των πραγματικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Από το σχήμα 1.4 παρατηρούμε ότι χωρικά, βορειότερα από την θέση της γραμμής, στην ηπειρωτική Ελλάδα εμφανίζονται οι ακολουθίες της Υποπελαγονικής Ζώνης. Οι πληροφορίες που έχουμε για αυτή την ζώνη είναι ότι:

Sp: Υποπελαγονική ζώνη:

Έντονο χαρακτηριστικό της Υποπελαγονικής ζώνης είναι οι μεγάλες οφιολιθικές μάζες και ότι συνοδεύονται από σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Οι οφιολίθοι της Υποπελαγονικής αποτελούν την "εξωτερική οφιολιθική λωρίδα και η ζώνη αντιπροσωπεύει την οφιολιθική ένωση της παλιάς ωκεάνιας περιοχής δυτικά της Πελαγονικής ηπειρωτικής περιοχής . Όσο αφορά την παλαιογραφία η Υποπελαγονική ανταποκρίνεται στην πορεία προς τα κάτω της Πελαγονικής προς τον ενιαίο ωκεάνιο χώρο Υποπελαγονικής-Πίνδου.

Το προαλπικό υπόβαθρο της Υποπελαγονικής συντάσσεται από τα Παλαιοζωικά πετρώματα της Πελαγονικής καθώς και ιζηματογενή ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Παλαιοζωικής ηλικίας.

Οι αλπικοί σχηματισμοί που συμμετέχουν στην συγκρότηση της ζώνης είναι:

1. Τριαδικά ιζήματα: κροκαλοπαγή, ψαμμίτες , πυριτικοί ή νηριτικοί ασβεστόλιθοι με χαρακτηριστικούς τους κόκκινους αμμωνιτοφόρους ασβεστόλιθους της φάσης Hallstatt, τεφρούς ωολιθικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες.
2. Πελαγικοί - Νηριτικοί Ασβεστόλιθοι Ιουρασικού.
3. Σχιστοκερατολιθική διάπλαση Τριαδικού-Ιουρασικού : κόκκινοι, πράσινοι και μαύροι αργιλικόι σχιστόλιθοι, ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι , μάργες ψαμμίτες, πηλίτες. Παρεμβολές οφιολιθικών σωμάτων.
4. Λατεριτικά σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα.
5. Ιζήματα Μέσο-Άνω Κρητιδικής επίκλυσης : ασβεστόλιθοι-φλύσχης.
6. Μεταλπικά ιζήματα μολασσικού τύπου (Μεσοελληνικής Αύλακας)

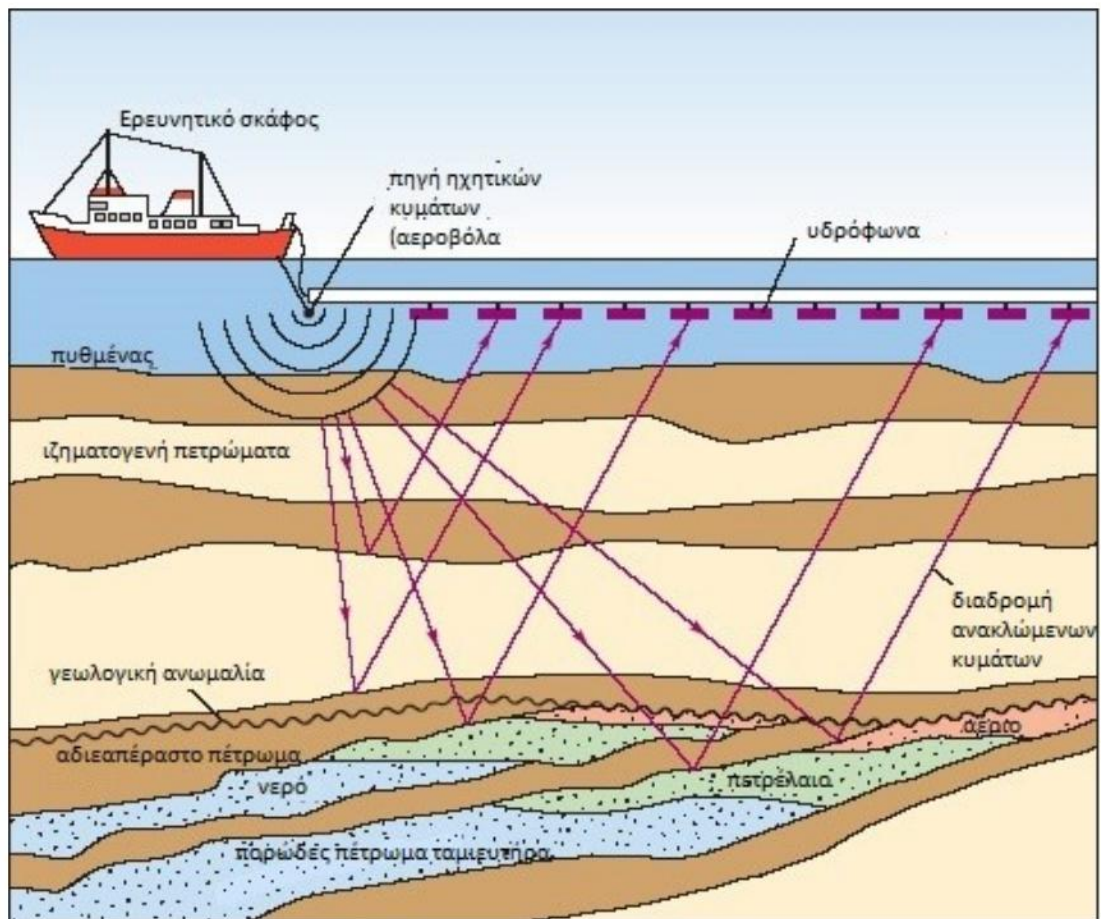
2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Βασικές αρχές της σεισμικής ανάκλασης

2.1 Σεισμικές έρευνες για θαλάσσιες διασκοπήσεις

Η έρευνα για τους υδρογονάνθρακες είναι μία διαδικασία η οποία χρησιμοποιεί την επιστήμη και την τεχνολογία ώστε να καθοριστεί το που θα πραγματοποιηθεί η πρώτη γεώτρηση που θα μας οδηγήσει στην ανακάλυψη ενός νέου κοιτάσματος. Οι σεισμικές διασκοπήσεις μπορούν να μας βοηθήσουν να αποκτήσουμε λεπτομερή δεδομένα για το υπέδαφος μίας περιοχής. Σκοπός της σεισμικής διασκόπησης είναι να αποκτήσουμε δεδομένα στα οποία με την κατάλληλη επεξεργασία θα μπορέσουν να μας δώσουν μία γραφική αναπαράσταση των γεωλογικών δομών που απαρτίζεται το υπέδαφος της περιοχής μελέτης (www.geodifhs.com).

Η πιο αξιόπιστη γεωφυσική μέθοδος για την αναζήτηση υδρογονανθράκων είναι η σεισμική ανάκλαση. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και μετά το αρχικό στάδιο της έρευνας, μέσα στην γεώτρηση σε συνδυασμό με συμπληρωματικές μετρήσεις. Οι χρόνοι καταγραφής που ανακλώνται μας δίνουν πληροφορίες για την φύση των πετρωμάτων και την γεωλογική δομή του υπεδάφους. Η διαφορά των χερσαίων και των θαλάσσιων σεισμικών ερευνών είναι ότι στις θαλάσσιες έρευνες ο εξοπλισμός είναι συνέχεια σε κίνηση.

Στης θαλάσσιες διασκοπήσεις η πηγή των σεισμικών κυμάτων ρυμουλκούνται από το πίσω μέρος ερευνητικού πλοίου και συνήθως είναι συστοιχίες αεροβόλων τα οποία βυθίζονται σε σχετικό βάθος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ανάλογα τον κυματισμό και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Καθώς το ερευνητικό πλοίο πραγματοποιεί την προκαθορισμένη διαδρομή τα αεροβόλα ανά προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα πυροδοτούνται συνεχώς. Συστοιχίες υδροφώνων όπου συνήθως φτάνουν και τα 5 μίλια σε μήκος ρυμουλκούνται μετά τα αεροβόλα και η χρήση τους είναι να "συλλάβουν" την ενέργεια των ηχητικών κυμάτων που ανακλώνται από τις γεωλογικές δομές του πυθμένα της θάλασσας (Σχήμα 2.2).

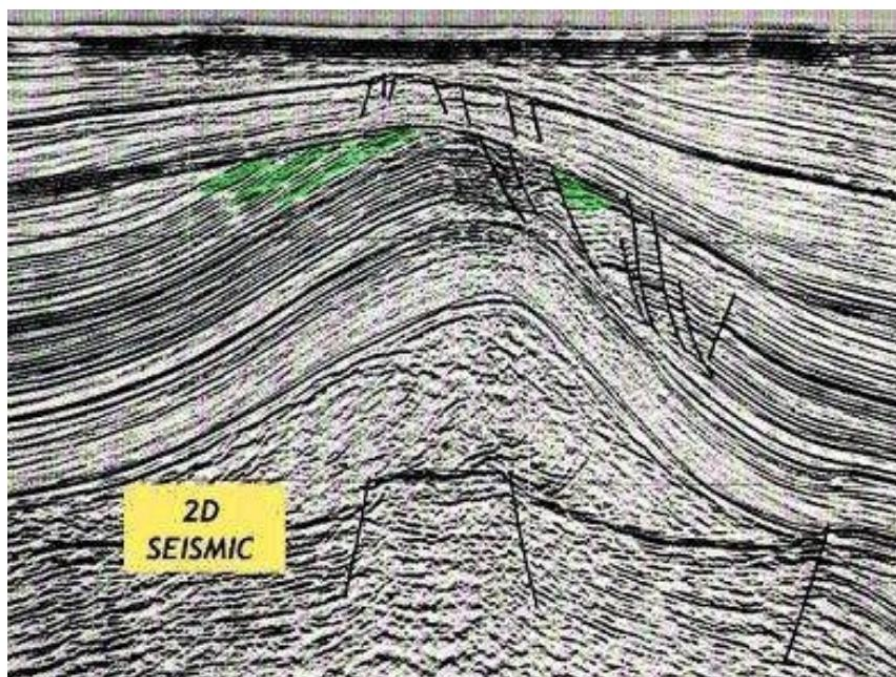


Σχήμα 2.2: Απεικόνιση της σεισμικής έρευνας σε θαλάσσια διασκόπηση (Βιτζιλαίος Α., 2005).

Οι σεισμικές έρευνες μπορεί να είναι :

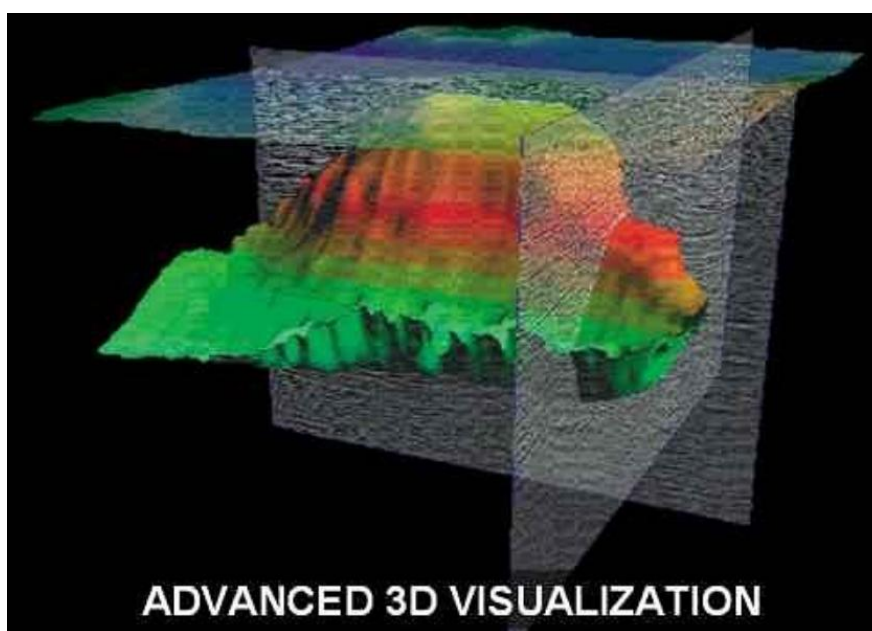
- δύο διαστάσεων (2D) ή
- τριών διαστάσεων (3D).

Τα δισδιάστατα σεισμικά δεδομένα απεικονίζονται ως ένα κατακόρυφο επίπεδο ή μια εγκάρσια τομή στην γη που βρίσκεται κάτω από την τοποθεσία της σεισμικής γραμμής (seismic line). Τα σεισμικά δύο διαστάσεων (Σχήμα 2.3) προτιμούνται συνήθως για την αρχική εξερεύνηση νέων περιοχών ή για πιο λεπτομερή έρευνα όταν τα οικονομικά της εταιρείας δεν μπορούν να υποστηρίξουν το μεγαλύτερο κόστος των 3D σεισμικών.



Σχήμα 2.3: Σεισμική τομή. (www.geomore.com)

Τα τρισδιάστατα σεισμικά αναπαριστώνται ως ένας κύβος τριών διαστάσεων (Σχήμα 2.4) ο οποίος μπορεί να κοπεί σε πολλαπλά κομμάτια διαφορετικών επιπέδων ή διατομών. Τα πιο δαπανηρά 3D δεδομένα δίνουν χωρικά συνεχή δεδομένα τα οποία μειώνουν την αβεβαιότητα όσον αφορά περιοχές με δύσκολο και δομικά σύνθετο γεωλογικό προφίλ ή μικρούς στρωματογραφικούς στόχους.



Σχήμα 2.4: Σεισμικά τριών διαστάσεων , κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε ένα σεισμικό στρώμα (www.geomore.com).

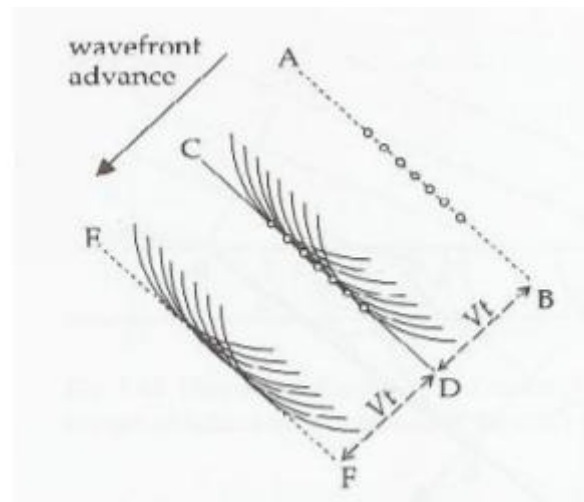
Όταν υπάρχουν δύο ή περισσότερα τρισδιάστατα σεισμικά δεδομένα, τα οποία έχουν καταγραφεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, μπορεί να πραγματοποιηθεί σύγκριση αυτών ώστε να εντοπιστούν μετακινήσεις στα ρευστά που υπάρχουν μέσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Αυτού του είδους η έρευνα είναι γνωστή ως 4D σεισμικά, όπου ο χρόνος που έχει μεσολαβήσει ανάμεσα στις καταγραφές παίζει τον ρόλο της τέταρτης διάστασης των δεδομένων (www.geomore.com).

2.2 Αρχή Huygens

Η θεωρία βασίζεται σε απλές γεωμετρικές κατασκευές και επιτρέπει τον υπολογισμό της μελλοντικής θέσης του μετώπου του κύματος όταν είναι γνωστή η παρούσα θέση (www.phys.uoa.gr). Η αρχή του Huygens μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: « Όλα τα σημεία ενός μετώπου κύματος μπορούν να θεωρηθούν ως σημειακές πηγές για την παραγωγή νέων σφαιρικών κυμάτων. Το νέο μέτωπο κύματος είναι η εφαπτομένη (ή η περιβάλλουσα) των δευτερογενών κυματισμών»

Η αρχή αυτή μπορεί να παρασταθεί απλά με ένα επίπεδο μέτωπο κύματος (Σχ. 2.4), αν και η μέθοδος εφαρμόζεται επίσης σε καμπύλο μέτωπο κύματος. Αν θεωρηθεί ότι το μέτωπο κύματος αρχικά βρίσκεται κατά μήκος της γραμμής AB και ότι οι ανοικτοί κύκλοι παριστάνουν υλικά σημεία του μετώπου του κύματος. Τα υλικά σημεία διαταράσσονται από την άφιξη του μετώπου του κύματος και ενεργούν ως πηγές δευτερογενών κυματισμών. Αν η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων στο υλικό είναι V , η απόσταση που θα διανύσει κάθε δευτερογενής κυματισμός μετά από χρόνο t είναι Vt , προς κάθε κατεύθυνση, περιγράφοντας έτσι μια μικρή σφαίρα γύρω από τη σημειακή πηγή. Αν το αρχικό μέτωπο κύματος περιέχει ένα μεγάλο αριθμό διαδοχικών υλικών σημείων αντί ένα συγκεκριμένο αριθμό διακριτών σημείων, το επίπεδο CD που εφάπτεται στους μικρούς κυματισμούς θα παριστάνει τη νέα θέση του μετώπου του κύματος. Αυτό επίσης το επίπεδο βρίσκεται σε απόσταση Vt από το αρχικό μέτωπο κύματος. Με τη σειρά τους τα υλικά σημεία του μετώπου του κύματος CD, ενεργούν ως πηγές νέων δευτερογενών κυματισμών και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η αρχή αυτή γίνεται να εφαρμοστεί στην εξαγωγή των νόμων της ανάκλασης και της διάθλασης των σεισμικών κυμάτων σε μια διαχωριστική επιφάνεια, καθώς και στην περιγραφή της διαδικασίας της

περίθλασης σύμφωνα με την οποία ένα κύμα εκτρέπεται όταν πέσει σε μια γωνία ή σε μια άκρη ενός αντικειμένου που βρίσκεται στην πορεία του.



Σχήμα 2.4 : Εφαρμογή της αρχής του Huygens για την περιγραφή της διάδοσης ενός επιπέδου κύματος (Καρακώστας Β., 2003).

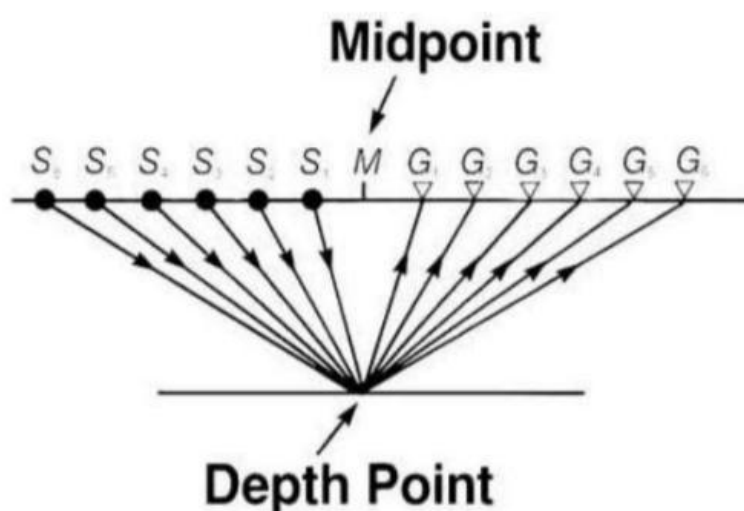
2.2.1 Αρχή Fermat

Ο P. Fermat (1601-1665) ανέπτυξε μία αρχή η οποία είναι γνωστή ως αρχή του ελαχίστου χρόνου. Αυτή η αρχή αναφέρει ότι η διάδοση των κυμάτων μεταξύ δύο σταθερών σημείων ακολουθεί τροχιά της οποίας ο χρόνος διάδοσης είναι ο ελάχιστος από όλες της άλλες πιθανές τροχιές. Με άλλα λόγια τα σεισμικά ακολουθούν τροχιές ελαχίστου χρόνου (Yilmaz, 2001).

Κάνοντας χρήση της αρχής του Fermat προκύπτει ότι σε ένα μέσο με σταθερή ταχύτητα η τροχιά χρειάζεται να είναι μια ευθεία γραμμή, εφόσον η ταχύτητα είναι σταθερή η ευθεία γραμμή είναι η μικρότερη απόσταση μεταξύ των δύο σημείων άρα και ο χρόνος διάδοσης είναι ο ελάχιστος.

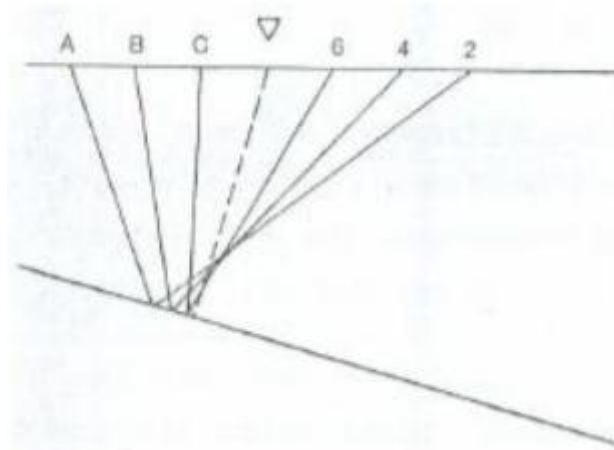
2.3 Κοινό ενδιάμεσο σημείο

Τα δεδομένα από καταγραφή κοινής πηγής μετά την επεξεργασία του σήματος μετατρέπονται σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου (Σχήμα 2.5). Οι πληροφορίες από την γεωμετρία του πειράματος είναι απαραίτητες για την μέθοδο διάταξης κοινού ενδιάμεσου σημείου CMP (Common Midpoint). Ο όρος κοινό ενδιάμεσο σημείο (common midpoint) (CMP) συνήθως εμφανίζεται με το όνομα κοινό σημείο βάθους (common depth point) (CDP). Συνήθως για την επεξεργασία σεισμικών δεδομένων γίνεται χρήση του κοινού ενδιάμεσου σημείου. Η ταξινόμηση των καταγραφών κοινής πηγής σε CMP επιτυγχάνεται με την μετατροπή των συντεταγμένων (Yilmaz, 2001).



Σχήμα 2.5: Διάταξης κοινού ενδιάμεσου σημείου. Οι διαδρομές των ακτινών δείχνουν να συνδέονται με ένα μόνο CMP. Η διάταξη CMP ταυτίζεται με μία διάταξη CDP αν το σημείο βρίσκεται σε οριζόντιο ανακλαστήρα (Yilmaz, 2001).

Τα ζευγάρια πηγής γεωφώνου αντιστοιχούν σε μία περιοχή και όχι σε ένα σημείο όταν ο ανακλαστήρας είναι κεκλιμένος (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Διάταξη κεκλιμένης διαχωριστικής επιφάνειας CDP. (Sodbinow, 1989).

2.4 Μέση ταχύτητα

Οι ιζηματογενείς λεκάνες απαρτίζονται από μια σειρά γεωλογικών στρωμάτων με σταθερή ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Το βάθος είναι αυτό που επηρεάζει την σεισμική ταχύτητα. Όταν η ταχύτητα εμφανίζει μικρό εύρος μεταβολών στην οριζόντια διεύθυνση τότε σε κεκλιμένα στρώματα τα οποία έχουν μικρή κλίση μπορεί να γίνει χρήση αυτής της προσέγγισης. Η μελέτη ανακλώμενων κυμάτων χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό της ταχύτητας κάθε στρώματος όταν η ταχύτητα εξαρτάται μόνο από το βάθος (www.geodifhs.com).

Στην περίπτωση διαχωριστικών επιφανειών με κλίση μικρότερη των 3° πραγματοποιείται η ίδια μεθοδολογία. Συνηθίζεται η χρήση μοντέλων πολλών οριζόντιων στρωμάτων, για να γίνει ο προσδιορισμός της δομής ιζηματογενών λεκανών.

Έστω μια ακτίνα η οποία διαδίδεται στην κατακόρυφη διεύθυνση και πολυστρωματικό μοντέλο η οριζόντιων στρωμάτων. Ο χρόνος που χρειάζεται ώστε η ακτίνα να διαπεράσει το στρώμα j θα είναι:

$$\tau_j = \frac{d_j}{a_j}$$

Όπου:

d_j : το πάχος.

a_j : η ταχύτητα διάδοσης του σεισμικού κύματος στο στρώμα j

Στην παρακάτω σχέση εμφανίζεται η μέση ταχύτητα της ακτίνας που προσπίπτει κάθετα στην νιοστή διαχωριστική επιφάνεια :

$$\bar{a}_n = \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{\sum_{j=1}^n \tau_j} = \frac{\sum_{j=1}^n a_j \tau_j}{\sum_{j=1}^n \tau_j}$$

Διπλός χρόνος διαδρομής κατακόρυφης ακτίνας ονομάζεται ο χρόνος που απαιτείται ώστε μια σεισμική ακτίνα για να διανύσει σε κατακόρυφη διεύθυνση τα στρώματα, και συμβολίζεται με $T_n(0)$. Υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T_n(0) = \frac{2h_n}{\bar{a}_n} = 2 \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{a_j}$$

Για καλύτερη προσέγγιση, γίνεται χρήση της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας V_{rms} , εφόσον λαμβάνονται υπόψη οι αλλαγές του πάχους των στρωμάτων σε αυτή την ταχύτητα.

2.5 Μέση Τετραγωνική Ταχύτητα (RMS Velocity)

Ο ορισμός της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας αναφέρει ότι είναι η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου των ταχυτήτων πολλαπλασιασμένων με συντελεστές βαρύτητας, τους διπλούς χρόνους διαδρομής, t , η εξίσωση αναγράφεται στην συνέχεια (Μπριντάκης, 2016) :

$$V_n = \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_j^2 t_j}{\sum_{j=1}^n t_j} \right)^{\frac{1}{2}}$$

όπου:

α_j : ταχύτητα διάδοσης του σεισμικού κύματος στο στρώμα j ,

t_j : διπλός χρόνος στο στρώμα j .

Ο Dix το 1955 υπολόγισε την εξίσωση της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας όπου για τον υπολογισμό των σεισμικών ταχυτήτων αποτελεί την σημαντικότερη εξίσωση.

Ο διπλός χρόνος διαδρομής της ακτίνας $T_n(0)$, $T_{n-1}(0)$ και οι μέσες τετραγωνικές ταχύτητες $V_{rms}(n)$ κάνοντας χρήση της μεθόδου σεισμικής ανάκλασης βοηθούν στον υπολογισμό της τμηματικής ταχύτητας στο νιοστό στρώμα (a_n). Η εξίσωση της τμηματικής ταχύτητας είναι η ακόλουθη:

$$a_n = \frac{V_n^2 T_n(0) - V_{n-1}^2 T_{n-1}(0)}{T_n(0) - T_{n-1}(0)}$$

όπου:

a_n : η τμηματική ταχύτητα στο στρώμα n.

V_n : μέση τετραγωνική ταχύτητα.

T_n : διπλός χρόνος διαδρομής κατακόρυφης ακτίνας.

Για την δυναμική διόρθωση (NMO), την χωτοθέτηση και την επεξεργασία σεισμικών δεδομένων χρειάζεται η μέση τετραγωνική ταχύτητα V_{rms} .

2.6 Υπεδαφική κάλυψη

Ο αριθμός των σεισμικών ιχνών που ανήκουν στην ίδια διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP) ορίζεται ως υπεδαφική κάλυψη (fold). Η υπεδαφική κάλυψη (fold) υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\text{Fold} = \min\{\text{Αριθμός Πηγών}, (NC/2) * (\Delta x/\Delta s)\}$$

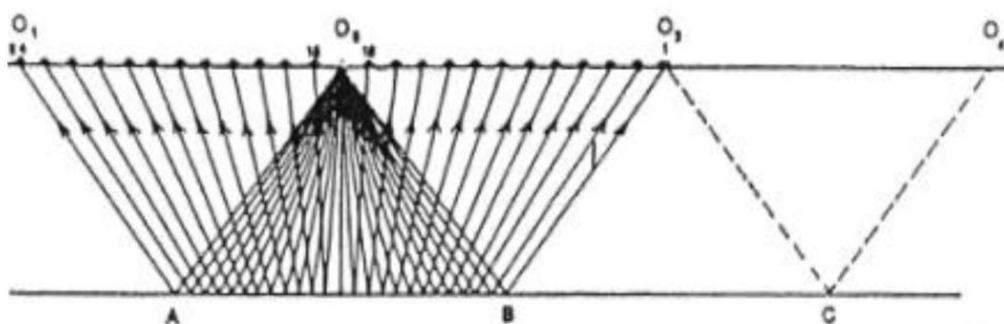
Όπου : Δx : ισαπόσταση γεωφώνων

NC : ο αριθμός των ενεργών γεωφώνων

Δs : ισαπόσταση των πηγών

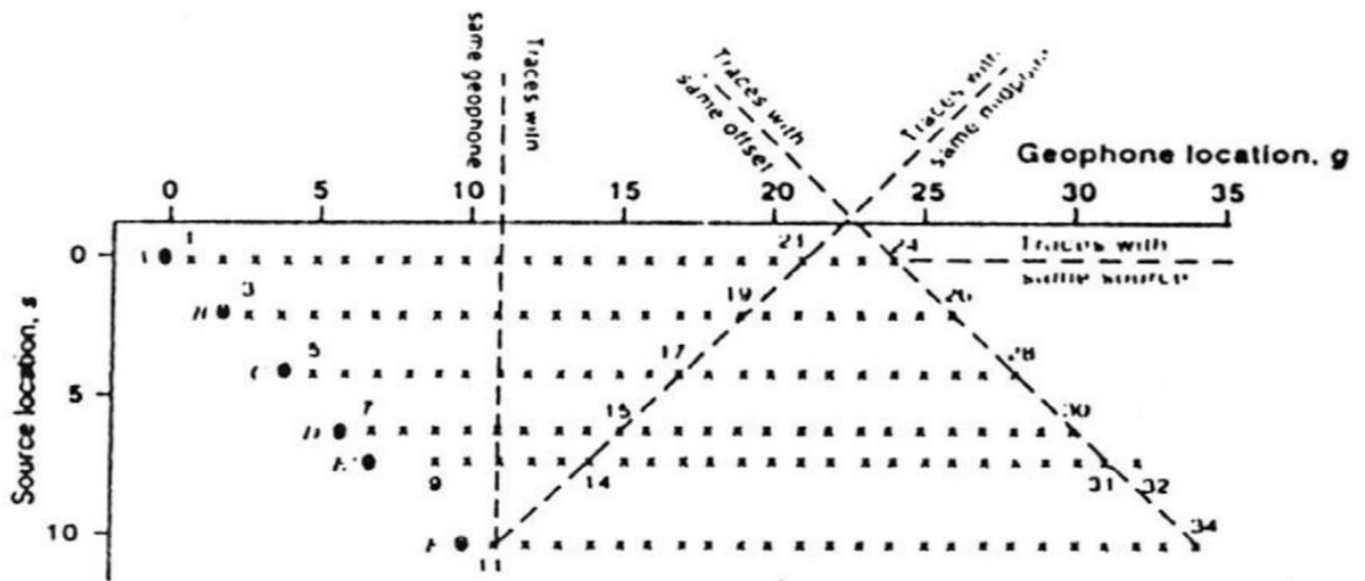
Λαμβάνει χρήση στον προσδιορισμό της ισαπόστασης των πηγών, αφού επηρεάζεται από την ισαπόσταση γεωφώνων (Δx), τον αριθμό των πηγών, και την ισαπόσταση των πηγών Δs .

Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζεται η απεικόνιση μοναδιαίας υπεδαφικής κάλυψης. Εκατέρωθεν της σεισμικής πηγής τοποθετούνται τα γεώφωνα, η πηγή τοποθετήθηκε στο σημείο O_2 και το ανάπτυσμα συνεχίζεται από το σημείο O_1 έως το σημείο O_3 (Sheriff, et al, 1995). Έτσι τα ανακλώμενα κύματα προέρχονται από την περιοχή του ανακλαστήρα που είναι στην περιοχή μεταξύ των σημείων A και B. Επίσης, η περιοχή μεταξύ των σημείων O_1 και O_2 μετακινείται μεταξύ των σημείων B και C. Το ανάπτυσμα κατ' αυτό τον τρόπο μετακινείται κατά μήκος της γραμμής μελέτης και γίνεται λήψη των επόμενων καταγραφών.



Σχήμα 2.7: Συμμετρικό ανάπτυσμα μοναδιαίας υπεδαφικής κάλυψης. Το μέσο του αναπτύγματος μετακινείται πάνω στη γραμμή μελέτης (Sheriff, et al, 1995).

Διαγράμματα υπέρθεσης δημιουργούνται για την περιγραφή του τρόπου μετατροπής των καταγραφών κοινής πηγής σε διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP), (Morgan, 1970). Στο σχήμα 2.8 στον οριζόντιο άξονα αντιπροσωπεύονται οι θέσεις των γεωφώνων (g) και στον κάθετο άξονα οι θέσεις της σεισμικής πηγής (s). Στο σημείο (g,s) εμφανίζεται ένα ίχνος που καταγράφηκε από το γεώφωνο στην θέση g και προήλθε από την σεισμική πηγή s .



Σχήμα 2.8: Μέθοδος κοινού ενδιάμεσου σημείου και κατασκευή διαγράμματος υπέρθεσης. Με ο απεικονίζονται οι πηγές των σεισμικών κυμάτων, ενώ με x τα κέντρα των ομάδων των γεωφώνων. Το παραπάνω διάγραμμα υπέρθεσης είναι επιφανειακό (Sheriff, et al, 1995).

Παρατηρείται ότι σε διαγώνιο εμφανίζονται τα ίχνη που έχουν κοινό ενδιάμεσο σημείο (CMP), ενώ σε άλλη διαγώνιο εμφανίζονται τα ίχνη που έχουν την ίδια απόσταση πηγής και γεωφώνου (offset). Τα ίχνη κοινής πηγής εμφανίζονται σε σημεία στο μήκος της οριζόντιας γραμμής και τα ίχνη κοινού γεωφώνου σε σημεία κατά μήκος της κατακόρυφης γραμμής.

3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Ανάλυση Ταχύτητας

Η ανάλυση ταχύτητας έχει ως σκοπό τη δημιουργία μοντέλου ταχύτητας το οποίο εν συνεχεία θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τομών υπέρθεσης και χωροθέτησης. Συνήθως η ανάλυση της ταχύτητας γίνεται με την μέθοδο της συνάφειας σε δεδομένα κοινού ενδιαμέσου σημείου.

Στον χάρτη που παρουσιάζεται η συνάφεια κατά μήκος υπερβολικού τύπου καμπύλης διαδρομής επιλέγονται σημεία που αντιστοιχούν σε ζεύγη ταχύτητας - διπλού κατακόρυφου χρόνου, στα οποία η συνάφεια παρουσιάζει τοπικά μέγιστα.

3.1 Μέθοδος της συνάφειας

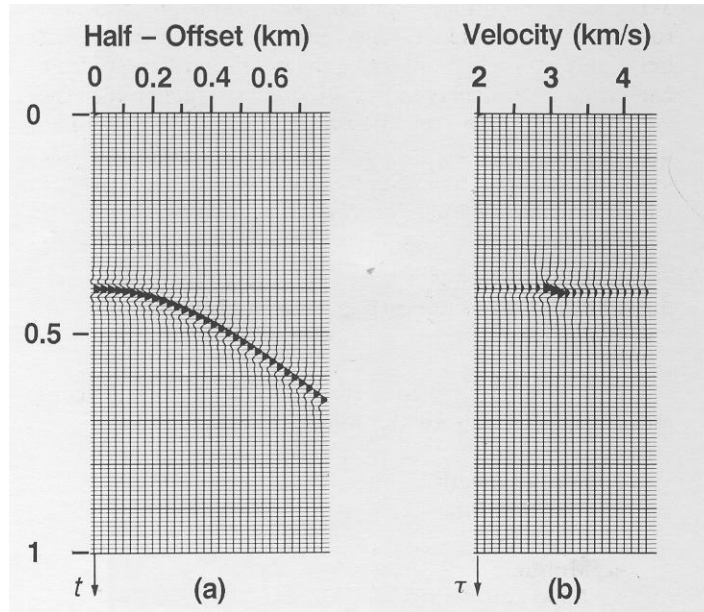
Η μέθοδος της συνάφειας είναι μια ακόμα μέθοδος για την ανάλυση ταχυτήτων. Στο Σχήμα 3.1 εμφανίζονται τα ίχνη τα οποία ανήκουν σε διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου. Πραγματοποιώντας την δυναμική διόρθωση για την περιοχή ταχυτήτων από 2 έως 4.3 Km/s και προσθέτοντας τα ίχνη δημιουργείται το διάγραμμα του φάσματος της ταχύτητας (Taner et al., 1969) όπου στον οριζόντιο άξονα αντιστοιχεί η ταχύτητα υπέρθεσης, ενώ στον κατακόρυφο αντιστοιχεί ο διπλός κατακόρυφος χρόνος. Η ανάλυση ταχυτήτων στο διάγραμμα της συνάφειας έχει ως σκοπό την επιλογή σημείων τα οποία παρουσιάζουν μέγιστη συνάφεια, οι υπερβολικού τύπου καμπύλες που αντιστοιχούν απεικονίζονται με κύριες ανακλάσεις στα δεδομένα κοινού ενδιαμέσου σημείου, στο οποίο ο άξονας στην οριζόντια κατεύθυνση αντιπροσωπεύει την μέση τετραγωνική ταχύτητα ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιπροσωπεύει τον διπλό χρόνο διαδρομής. Διάφοροι τρόποι για τον υπολογισμό της συνάφειας αναφέρθηκαν από τους Neidell και Taner (1971). Το άθροισμα των πλατών (stacked amplitude) προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$s_t = \sum_{i=1}^M f_{i,t}(i)$$

όπου:

$f_{i,t}(i)$ είναι η τιμή του πλάτους για το i th ίχνος στο διπλό κατακόρυφο χρόνο $t(i)$

M είναι ο αριθμός των ιχνών που αποτελούν το κοινό ενδιαμέσο σημείο.



Σχήμα 3.1 (α) Καταγραφές κοινού ενδιαμέσου σημείου (β) Υπέρθεση των ιχνών του κοινού ενδιαμέσου σημείου. Στα ίχνη έχει πραγματοποιηθεί επαναληπτικά δυναμική διόρθωση (κάνοντας κάθε φορά χρήση σταθερής ταχύτητας) για την περιοχή ταχυτήτων από 2 έως 4,3 Km/s. Ο διπλός κάθετος χρόνος απεικονίζεται στον κάθετο άξονα και ο οριζόντιος άξονας σε ταχύτητα που λαμβάνει μέρος στην δυναμική διόρθωση. Η εικόνα (β) ονομάζεται φάσμα ταχύτητας (Taner et al., 1969).

3.2 Δυναμική διόρθωση NMO(normal moveout)

Η αναγωγή των χρόνων διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων σε χρόνους κυμάτων που μεταδίδονται μόνο στην κατακόρυφη κατεύθυνση είναι ο στόχος που έχει η δυναμική διόρθωση (Yilmaz, 1987). Για να ισχύει αυτό το ενδεχόμενο θεωρείται ότι πηγή και υδρόφωνο βρίσκονται στην ίδια θέση, αυτή του κοινού ενδιαμέσου σημείου. Ο προσδιορισμός της διόρθωσης NMO γίνεται από τον ακόλουθο τύπο :

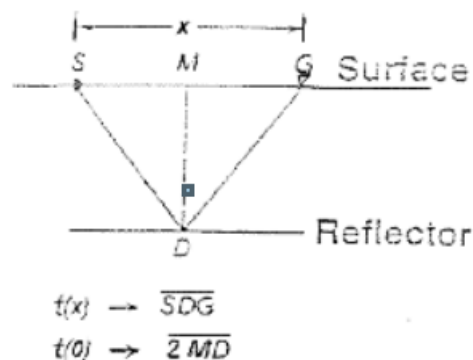
$$\Delta T_{NMO} = t(x) - t(0) = t(0) * \left\{ \left[1 + \left(\frac{x}{V_{NMO} * t(0)} \right)^2 \right]^{1/2} - 1 \right\}$$

όπου:

$t(x)$: ο διπλός χρόνος διαδρομής και αντιστοιχεί σε γεώφωνο το οποίο βρίσκεται σε απόσταση x από την πηγή,

V_{NMO} : η ταχύτητα με την οποία εφαρμόζεται η δυναμική διόρθωση και προσδιορίζεται από την ανάλυση ταχύτητας και

$t(0)$: ο διπλός κατακόρυφος χρόνος (two-way-time) που απαιτείται ώστε το κύμα να καλύψει την απόσταση MD δύο φορές (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Διπλός χρόνος διαδρομής (ακτίνα SDG) και διπλός κατακόρυφος χρόνος (ακτίνα MDM) (Yilmaz, 1987).

Η ταχύτητα V_{NMO} είναι όμοια με την μέση τετραγωνική ταχύτητα V_{rms} όταν η διαχωριστική επιφάνεια των σωμάτων είναι οριζόντια.

Η διόρθωση NMO πραγματοποιείται με τη χρήση του αρχείου ταχύτητας που προέρχεται από την ανάλυση ταχύτητας. Όταν έχει γίνει σωστή εκτίμηση της διόρθωσης NMO, τότε οι διορθωμένοι χρόνοι διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων παρουσιάζονται ως ευθεία στις καταγραφές CMP. Αν έχει γίνει υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση της ταχύτητας V_{NMO} τότε οι ανακλαστήρες εμφανίζονται ως καμπύλη με κατεύθυνση ανοδική ή καθοδική αντίστοιχα.

3.3 Σεισμική Υπέρθεση (Stacking)

Σκοπός της σεισμικής υπέρθεσης είναι η ενίσχυση του λόγου σήματος προς θόρυβο στις καταγραφές (Βαφείδης Α., 2011). Αυτό πραγματοποιείται με την άθροιση των ιχνών σε διάταξη CMP στην οποία έχει εφαρμοστεί η κανονική χρονική διόρθωση (NMO).

Κατά την άθροιση ο θόρυβος αλληλοαναιρείται, ενώ το σήμα που αντιστοιχεί σε ανακλαστήρα ενισχύεται αφού βρίσκεται σε φάση.

3.4 Χωροθέτηση (Migration)

Η χωροθέτηση σεισμικών δεδομένων τοποθετεί τα γεγονότα στη σωστή τους θέση, αυξάνει τη χωρική ανάλυση και είναι το σημαντικότερο από όλα τα στάδια επεξεργασίας. Η χωροθέτηση έχει ως αποτέλεσμα την τοποθέτηση στη σωστή θέση στο χώρο των ανακλαστήρων και η απαλοιφή των περιθλάσεων. Η θεωρία της χωροθέτησης έχει δημιουργηθεί από καιρό, αλλά η ισχύς του υπολογιστή έχει οδηγήσει τη βιομηχανία σε μια πληθώρα ευφύων μεθόδων για την εκτέλεση και την ενίσχυση της ακρίβειας της χωροθέτησης.

3.5 Μέθοδοι σεισμικής χωροθέτησης

Οι σεισμικές μέθοδοι χωροθέτησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι η μέθοδος Kirchhoff, η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών (Finite Difference) και η μέθοδος σεισμικής χωροθέτησης στο χώρο των συχνοτήτων (Phase Shift).

3.5.1 Μέθοδος Kirchhoff

Η μέθοδος Kirchhoff στηρίζεται στο άθροισμα των πλατών περίθλασης κατά μήκος της υπερβολικής καμπύλης περίθλασης, η ταχύτητα του μέσου είναι αυτή που επηρεάζει την καμπυλότητα της.

Για την χωροθέτηση Kirchhoff το μαθηματικό υπόβαθρο περιγράφηκε από τους Schneider (1978), Berryhill (1979) και Berkhout (1980). Μέσω του ολοκληρώματος Kirchhoff και από τη λύση της κυματικής εξίσωσης εμφανίζεται το κυματικό πεδίο $P_{out}(x,z,t)$ στη θέση (x,z) από το κυματικό πεδίο (μηδενικής απόστασης πηγής-γεωφώνου) $P_{in}(x_{in},z=0,t)$ το οποίο καταγράφεται στην επιφάνεια ($z=0$).

$$P_{out}(x,z,t) = \frac{1}{2\pi} \int dx \left[\frac{\cos \theta}{r^2} P_{in}(x_{in}, z=0, t-\frac{r}{v}) + \frac{\cos \theta}{vr} \frac{\partial}{\partial t} P_{in}(x_{in}, z=0, t-\frac{r}{v}) \right]$$

Όπου v είναι η μέση τετραγωνική ταχύτητα (rms) στη θέση (x,z) και $r=[(x_{in}-x)^2+z^2]^{1/2}$ είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων $(x_{in}, z=0)$ και (x,z) . Το κυματικό πεδίο σε διάφορα βάθη z μπορεί να βρεθεί κάνοντας χρήση της παραπάνω εξίσωσης. Από την εξίσωση για $z=v\tau/2$ και χρόνο τ εμφανίζεται η χωροθετημένη τομή. Η

τελειοποιημένη τομή χωροθέτησης πραγματοποιείται μέσω της λύσης της εξίσωσης θέτοντας ως $t=0$ για κάθε σημείο (x,z) (Yilmaz, 1987).

3.5.2 Μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών

Για την λύση της εξίσωσης του προς τα κάτω διαδιδόμενου κυματικού πεδίου χρησιμοποιείται η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών. Χρησιμοποιώντας την υπερβολικού τύπου καμπύλη που καταγράφηκε από τα γεώφωνα σε μία θέση για να γίνει πρόβλεψη της αντίστοιχης όταν τα γεώφωνα βρεθούν σε άλλη θέση σε κοντινότερο σημείο περίθλασης, πραγματοποιείται έτσι η τοποθέτηση των περιθλάσεων στην σωστή τους θέση (Yilmaz, 1987). Όλη αυτή η διαδικασία σταματάει όταν τα γεώφωνα τοποθετηθούν στην θέση δημιουργίας της περίθλασης και η καταγραφή της γίνεται σε χρόνο $t=0$ δηλαδή όταν η προβλεπόμενη περίθλαση αντιστοιχεί σε σημείο. Η τοποθέτηση των γεωφώνων στο εσωτερικό της γης είναι ισοδύναμη με την προς τα κάτω συνέχεια του κυματικού πεδίου. Αυτή η τεχνική χωροθέτησης εξαρτάται από την λύση της κυματικής εξίσωσης (Claerbout, 1985).

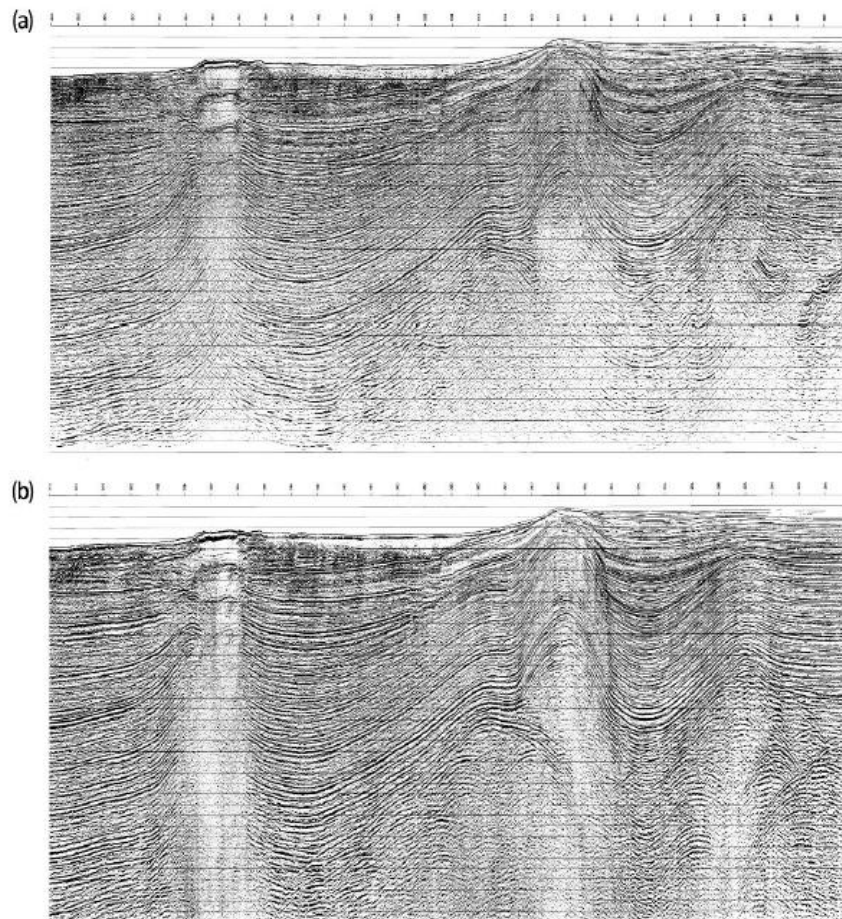
Η περιγραφή της διάδοσης του κυματικού πεδίου $P(x,z,t)$ σε ελαστικό μέσο με ταχύτητα των ελαστικών κυμάτων $v(x,z)$ και σταθερή πυκνότητα εμφανίζεται στην ακόλουθη κυματική εξίσωση στις δυο διαστάσεις:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{v} \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right)P(x, z, t) = 0$$

Όπου ο κατακόρυφος άξονας συμβολίζεται με z (εμφανίζεται θετικός προς τα κάτω) και με x ο οριζόντιος άξονας. Κάνοντας χρήση της τεχνικής των πεπερασμένων διαφορών πραγματοποιείται η αριθμητική επίλυση έτσι ώστε να είναι εφικτή η προς τα κάτω διάδοση του κυματικού πεδίου που καταγράφεται στην επιφάνεια. Η $P(x,z,0)$ υπολογίζεται από το κυματικό πεδίο που έχει καταγραφεί στην επιφάνεια $P(x,0,t)$. Είναι απαραίτητη η συνέχεια του κυματικού πεδίου που καταγράφηκε από την επιφάνεια της γης σε βάθος z και κατόπιν τον υπολογισμό του για χρόνο $t=0$. Το κυματικό πεδίο για χρόνο $t=0$ ισοδυναμεί με την τοποθέτηση των γεωφώνων στον ανακλαστήρα .

3.5.3 Μέθοδος της σεισμικής χωροθέτησης στο χώρο των συχνοτήτων

Η αλλαγή της φάσης ανάλογα με το βάθος το προς τα κάτω διαδιδόμενο κυματικό πεδίο είναι η αρχή της μεθόδου της σεισμικής χωροθέτησης στο χώρο των συχνοτήτων (Phase Shift) . Στη συγκριμένη μέθοδο χρησιμοποιούνται οι τμηματικές ταχύτητες σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους όπου χρησιμοποιούνται οι ταχύτητες V_{rms} (Λάιος Ι., 2017), (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Εφαρμογή σεισμικής χωροθέτησης (a) πριν την υπέρθεση και (b) μετά την υπέρθεση, όπου εμφανίζεται βελτίωση των αποτελεσμάτων, δηλαδή η τομή (b) είναι απαλλαγμένη από τις περιθλάσεις και οι ανακλαστήρες είναι επανατοποθετημένοι στις σωστές τους θέσεις (Yilmaz, 1987).

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Αποτελέσματα από την επεξεργασία δεδομένων για την γραμμή AEG-1

Η AEG-1 διασκοπήθηκε στο νότιο Αιγαίο τον Απρίλιο του 1993 στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος JOULE II. Στο Σχήμα 1.4 απεικονίζεται η γραμμή μελέτης καθώς και το τμήμα της γραμμής που επεξεργάστηκε στην παρούσα εργασία (PHD).

4.1 Γεωμετρία πειράματος

Στον Πίνακα 4.1 απεικονίζεται η γεωμετρία του πειράματος που πραγματοποιήθηκε για την διεξαγωγή δεδομένων της γραμμή AEG-1 .

Πίνακας 4.1 : Απεικόνιση της γεωμετρίας του πειράματος.

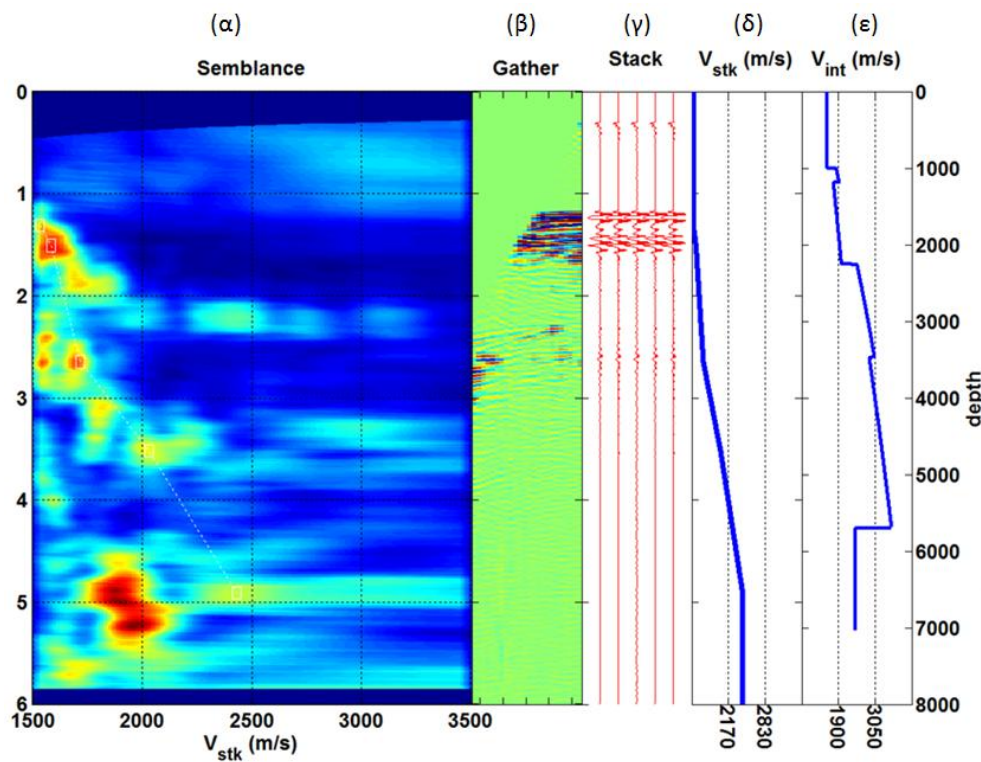
Συνολικό Μήκος Γραμμής (Km)	360
Μήκος Γραμμής που επεξεργάστηκε (Km)	42.5
Αριθμός Υδροφώνων	96
Βάθος Σ.Π - Υδροφώνων (m)	20
Ισαπόσταση Υδροφώνων (m)	25
Ισαπόσταση Πηγών (m)	50
Υπεδαφική Κάλυψη (fold)	24
Offset (m)	260
Ρυθμός Δειγματοληψίας (ms)	4

4.2 Ανάλυση Ταχυτήτων

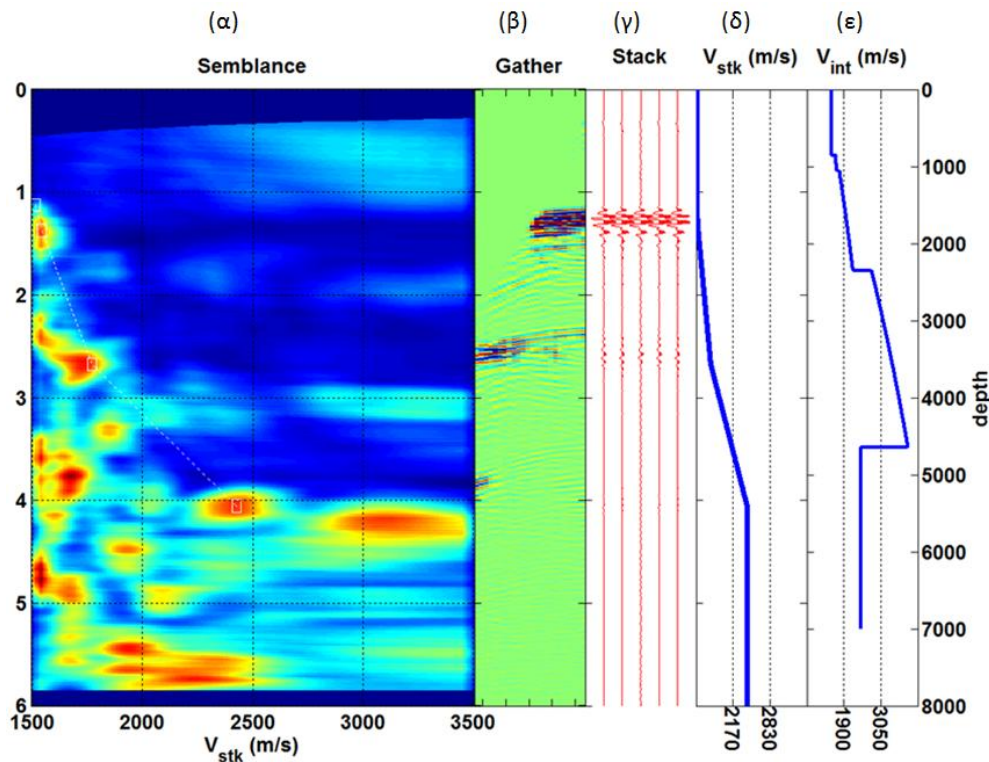
Κατά την επιλογή των ταχυτήτων στον χάρτη συνάφειας (όπως το Σχήμα 4.2 και Σχήμα 4.3) είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη τους ακόλουθους κανόνες:

1) Προσοχή στις πολλαπλές ανακλάσεις, διότι γεγονότα που παρουσιάζονται σε διπλάσιο χρόνο προηγούμενου γεγονότος είναι εφικτό να προέρχονται από αυτές.

- 2) Μόνο σε CMP gathers με υπεδαφική κάλυψη (fold) περισσότερο του 6 μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανάλυση ταχύτητας.
- 3) Θα πρέπει η μέση τετραγωνική ταχύτητα να αυξάνεται με το βάθος.
- 4) Η επιλογή σημείου γίνεται κυρίως με δυο κριτήρια: α) παρουσία τοπικού μέγιστου στον χάρτη συνάφειας και β) οριζοντίωση του αντίστοιχου ανακλαστήρα.



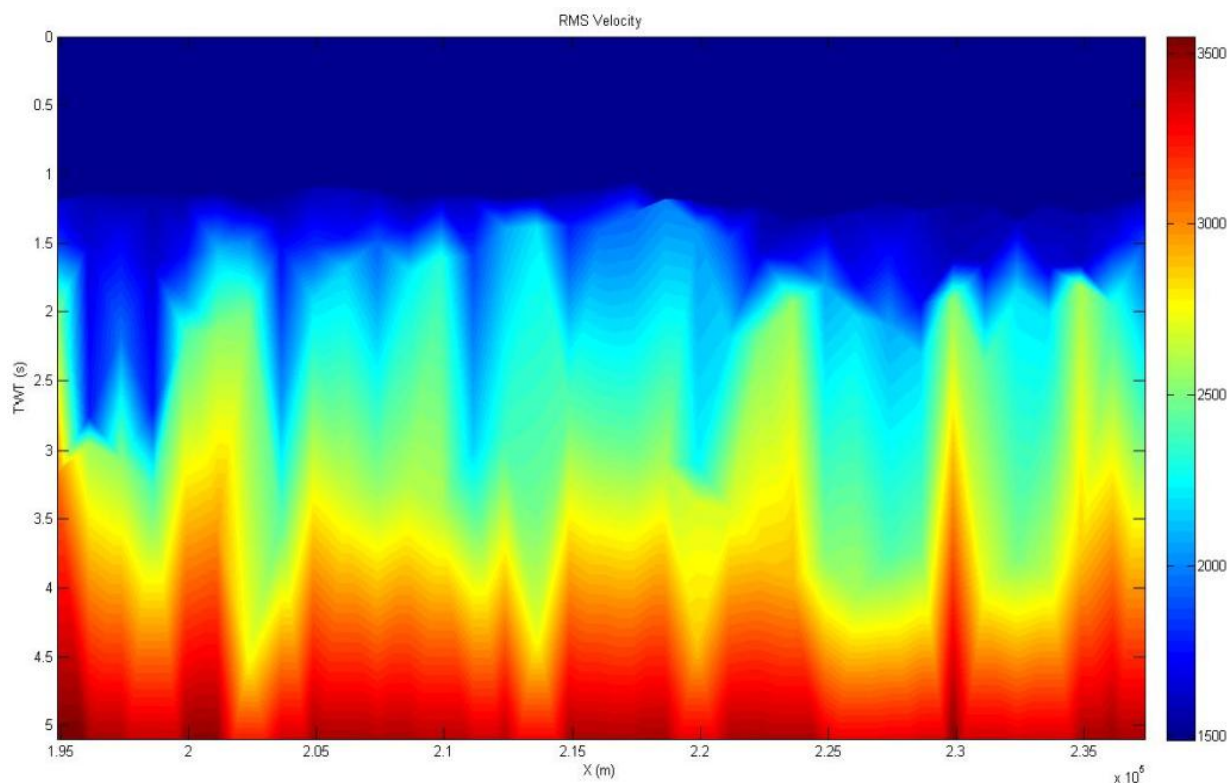
Σχήμα 4.2 : Διάγραμμα συνάφειας (*Semblance*) για το CMP 801, α) στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ταχύτητα υπέρθεσης V_{stk} σε m/s και στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος διαδρομής σε δευτερόλεπτα, β) CMP με εφαρμογή της κανονικής χρονικής διόρθωσης, γ) ίχνος που προκύπτει από την υπέρθεση των ιχνών του CMP (το ίδιο ίχνος πολλές φορές), δ) διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας υπέρθεσης (V_{stk}) και ε) διάγραμμα μεταβολής της τμηματικής ταχύτητας (V_{int}).



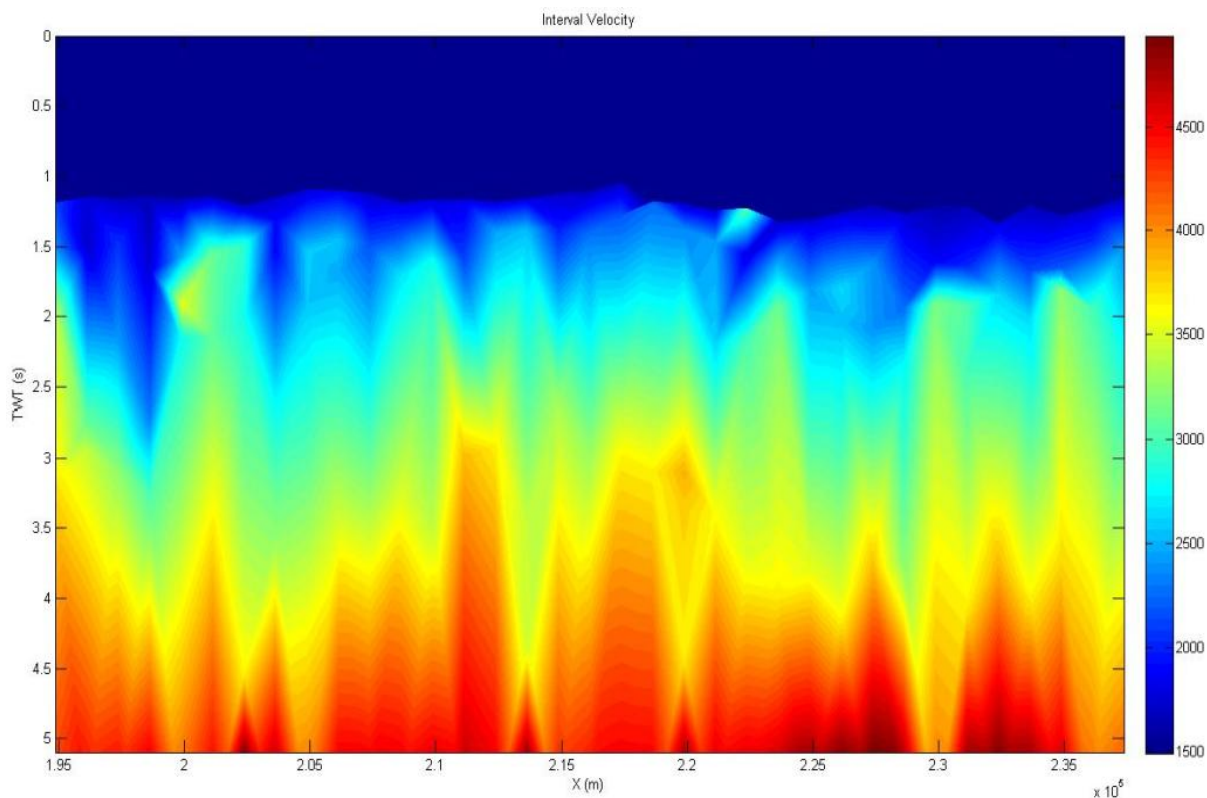
Σχήμα 4.3: Διάγραμμα συνάφειας (Semblance) για το CMP 1601, α) στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ταχύτητα υπέρθεσης V_{stk} σε m/s και στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος διαδρομής σε δευτερόλεπτα, β) CMP με εφαρμογή της κανονικής χρονικής διόρθωσης, γ) ίχνος που προκύπτει από την υπέρθεση των ιχνών του CMP (το ίδιο ίχνος πολλές φορές), δ) διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας υπέρθεσης (V_{stk}) και ε) διάγραμμα μεταβολής της τμηματικής ταχύτητας (V_{int}).

4.3 Υπολογισμός V_{rms} και $V_{interval}$ στα δεδομένα

Από τα σημεία που επιλέχθηκαν στον χάρτη της συνάφειας υπολογίζεται η μέση τετραγωνική ταχύτητα (Σχήμα 4.4). Από την σχέση του Dix σε συνδυασμό με την V_{rms} προκύπτει το αρχείο των τμηματικών ταχυτήτων (βλ. παράγραφο 2.5) (Σχήμα 4.5).



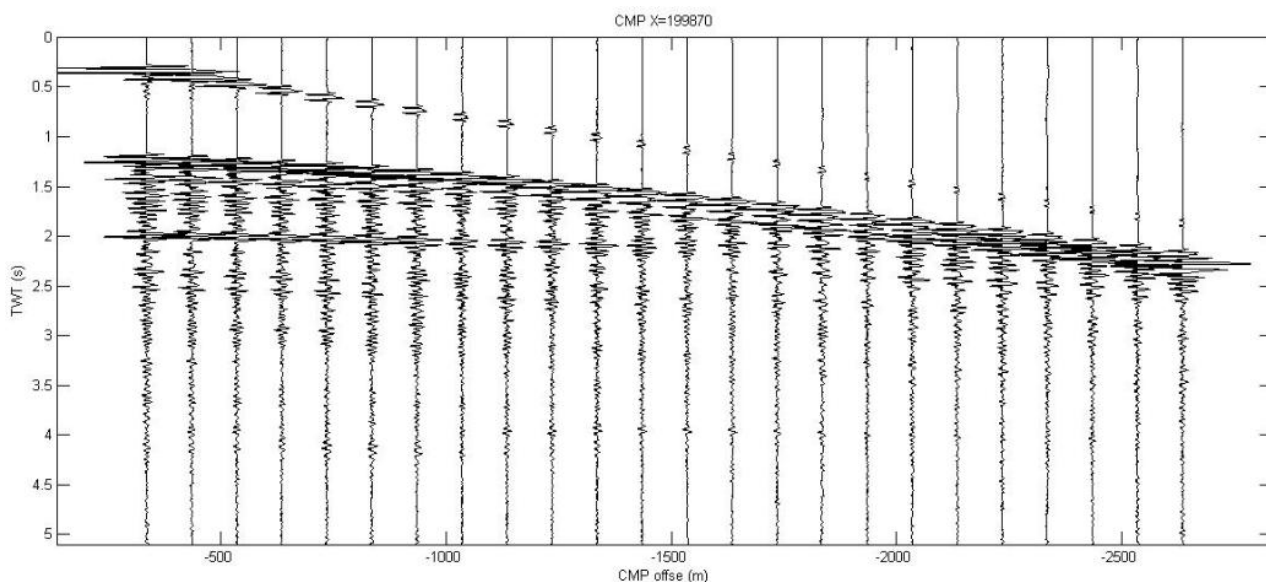
Σχήμα 4.4 : Μοντέλο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας (V_{rms}), όπου στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος και στον οριζόντιο άξονα η απόσταση.



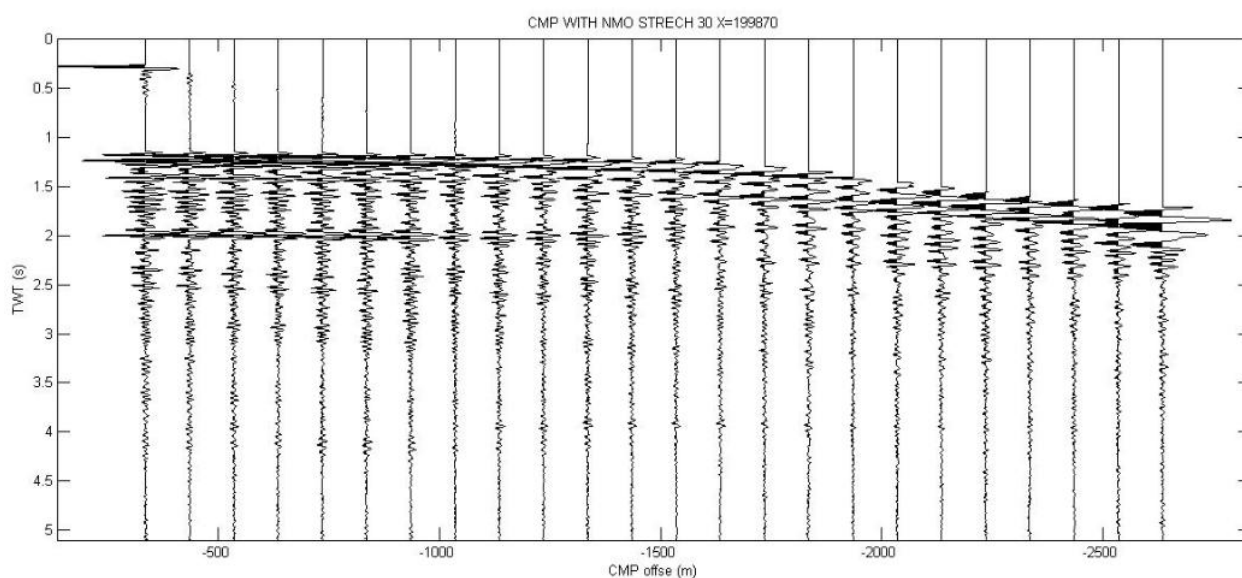
Σχήμα 4.5 : Μοντέλο τμηματικής ταχύτητας (V_{int}), όπου στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος και στον οριζόντιο άξονα η απόσταση.

4.4 Δυναμική διόρθωση NMO(normal moveout) στα δεδομένα

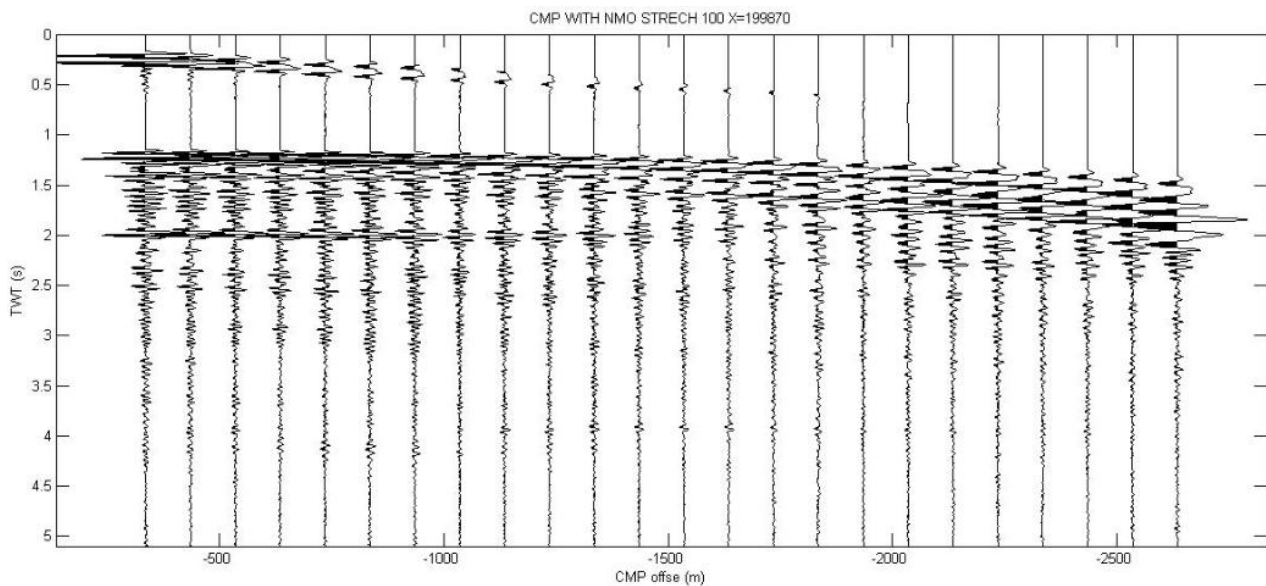
Στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζεται το κοινό ενδιάμεσο σημείο στην θέση 199870 της AEG-1 ενώ στα Σχήματα 4.7 και 4.8 απεικονίζεται το ίδιο CMP στο οποίο έχει εφαρμοστεί η διόρθωση NMO με stretch 30% και 100% αντίστοιχα.



Σχήμα 4.6 : Καταγραφές CMP στην θέση $X = 199870$, όπου στον κατακόρυφο άξονα εμφανίζεται ο διπλός χρόνος διαδρομής και στον οριζόντιο άξονα οι τιμές offset των ιχνών.



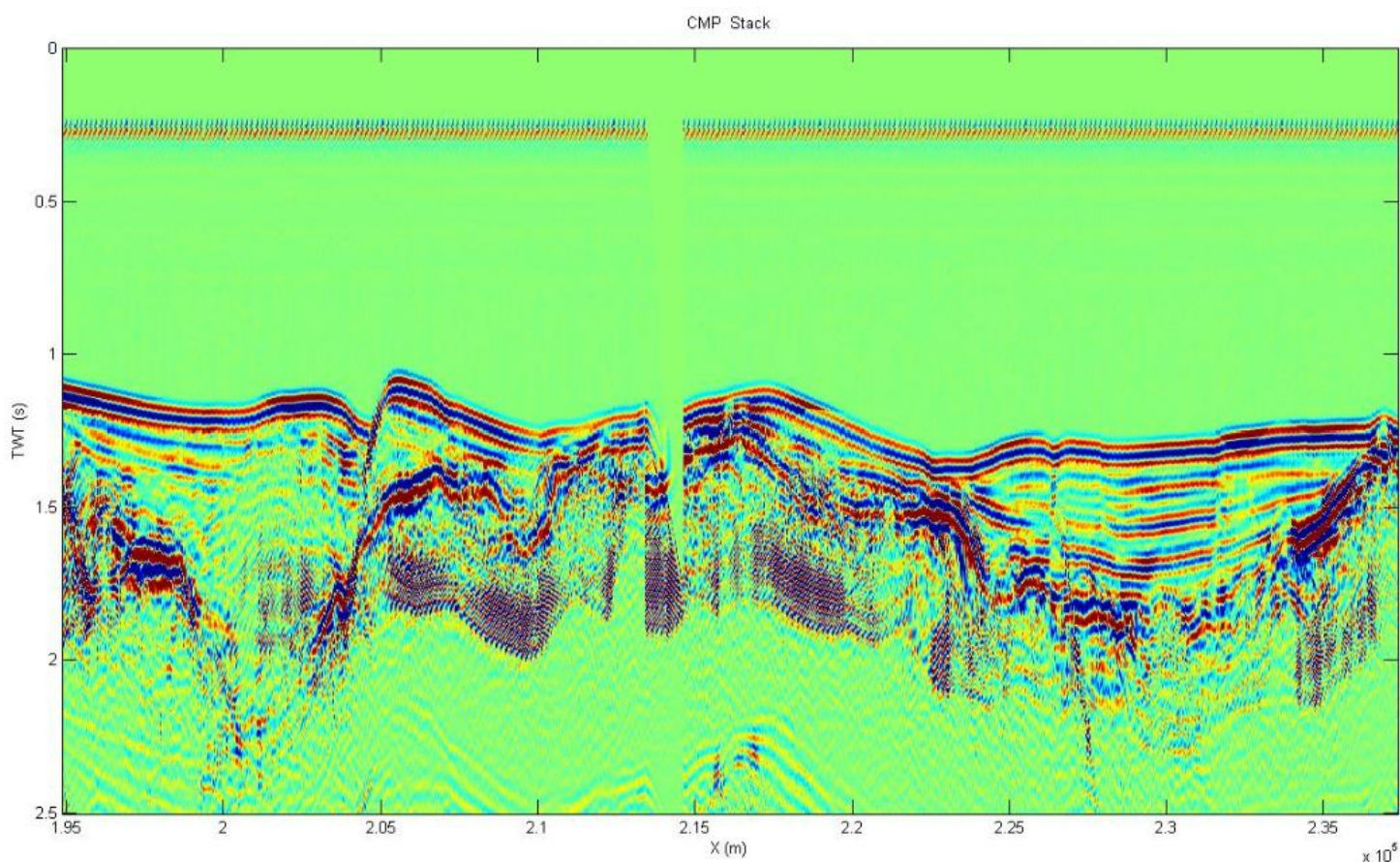
Σχήμα 4.7 : Καταγραφές με Διόρθωση (NMO) CMP στην θέση $X = 199870$ και stretch 30%, όπου στον κατακόρυφο άξονα εμφανίζεται ο διπλός χρόνος διαδρομής και στον οριζόντιο άξονα οι τιμές offset των ιχνών.



Σχήμα 4.8 : Καταγραφές με Διόρθωση (NMO) CMP στην θέση $X = 199870$ και stretch 100%, όπου στον κατακόρυφο άξονα εμφανίζεται ο διπλός χρόνος διαδρομής και στον οριζόντιο άξονα οι τιμές offset των ιχνών.

4.5 Σεισμική υπέρθεση (stacking) στα δεδομένα

Η τομή της σεισμικής υπέρθεσης απεικονίζεται στο Σχήμα 4.9. Τα δεδομένα σεισμικής ανάκλασης έγιναν στην θαλάσσια περιοχή νοτιοανατολικά της Πελοποννήσου. Είναι ένα τμήμα της σεισμικής γραμμής AEG-1 που πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο του 1993 στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος JOULE II. Η γραμμή μελέτης που εξετάζεται έχει μήκος περίπου 42.500m. Οι σεισμικές τομές που παρουσιάζονται απεικονίζουν δεδομένα για διπλό χρόνο διαδρομής που φθάνει τα 2.5 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 4.9 : Τομή σεισμικής υπέρθεσης για τμήμα της AEG-1 από τα δεδομένα στην γραμής μελέτης.

4.6 Δοκιμές παραμέτρων χωροθέτησης

Στη διάρκεια της επεξεργασίας πραγματοποιήθηκαν οκτώ δοκιμές με τις μεθόδους χωροθέτησης. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν τέσσερις δοκιμές με τη μέθοδο Kirchhoff, δυο με των πεπερασμένων διαφορών και δυο με τη μέθοδο χωροθέτησης στο χώρο των συχνοτήτων.

1) Δοκιμές με τη μέθοδο Kirchhoff

1. Με το παράθυρο χωροθέτησης σε αυτήν την τομή να περιλαμβάνει 50 ίχνη και η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες (Σχήμα 4.10).
2. Με το παράθυρο χωροθέτησης σε αυτήν την τομή να περιλαμβάνει 1000 ίχνη και η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες (Σχήμα 4.11).

3. Με το παράθυρο χωροθέτησης σε αυτήν την τομή να περιλαμβάνει όλα τα ίχνη και η μέγιστη κλίση είναι 60 μοίρες (Σχήμα 4.12).

4. Με το παράθυρο χωροθέτησης σε αυτήν την τομή να περιλαμβάνει όλα τα ίχνη και η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες (Σχήμα 4.13).

Παρατηρείται ότι τα διαγράμματα που προκύπτουν από την μέθοδο Kirchhoff με το παράθυρο χωροθέτησης να περιλαμβάνει όλα τα ίχνη με μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες και από την μέθοδο Kirchhoff με το παράθυρο χωροθέτησης να περιλαμβάνει όλα τα ίχνη και μέγιστη κλίση είναι 60 μοίρες ταυτίζονται. Έτσι συμπεραίνουμε ότι η κλίση των ανακλαστήρων δεν είναι μεγαλύτερη από 60 μοίρες.

2) Δοκιμές με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών

1. Με βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους 4ms (Σχήμα 4.14).
2. Με βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους 8ms (Σχήμα 4.15).

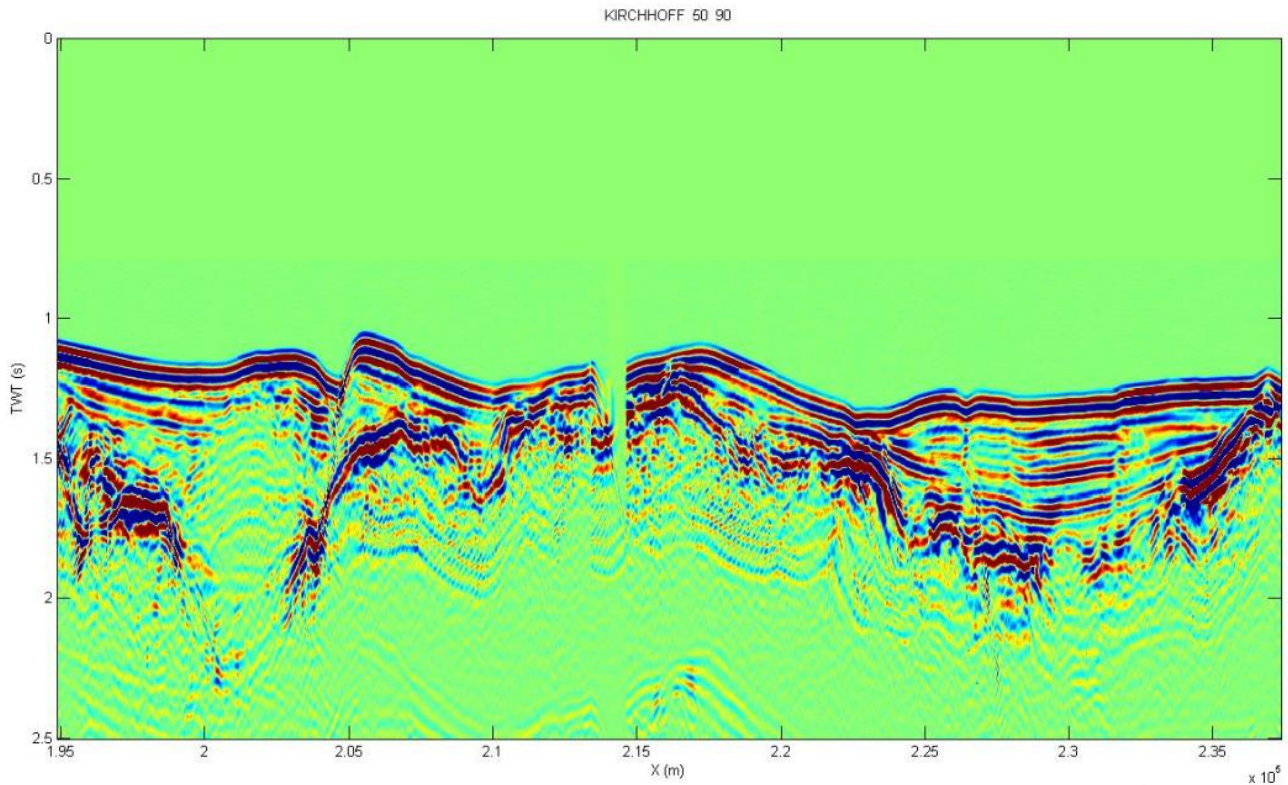
Από αυτές τις δοκιμές παρατηρείται ότι στο διάγραμμα με προγενέστερους χρόνους 8ms απεικονίζονται έντονα οι ανακλαστήρες και έχει πιο ευδιάκριτα αποτελέσματα σε μεγάλο βάθος σχετικά με το διάγραμμα με προγενέστερους χρόνους 4ms.

3) Η μέθοδος σεισμικής χωροθέτησης στο χώρο των συχνοτήτων (Phase Shift).

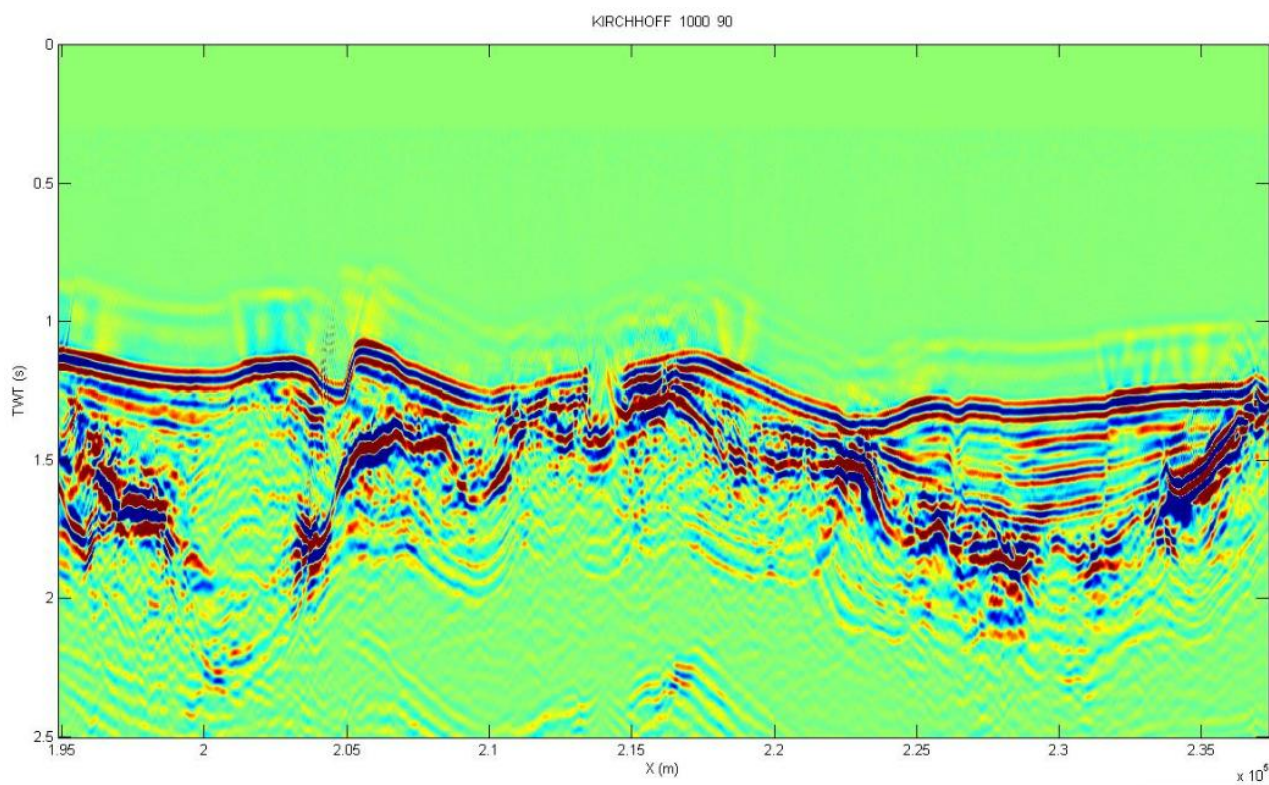
1. Με μέγιστη κλίση χωροθέτησης επιλέχθηκε να είναι 60 μοίρες (Σχήμα 4.16).
2. Με μέγιστη κλίση χωροθέτησης επιλέχθηκε να είναι 90 μοίρες (Σχήμα 4.17).

Στις μεθόδους χωροθέτησης σε δοκιμή με μέγιστη κλίση 90 και 60 μοίρες παρατηρείται ότι τα διαγράμματα που προκύπτουν ταυτίζονται, από αυτό συμπεραίνουμε ότι η κλίση των ανακλαστήρων δεν είναι μεγαλύτερη από 60 μοίρες.

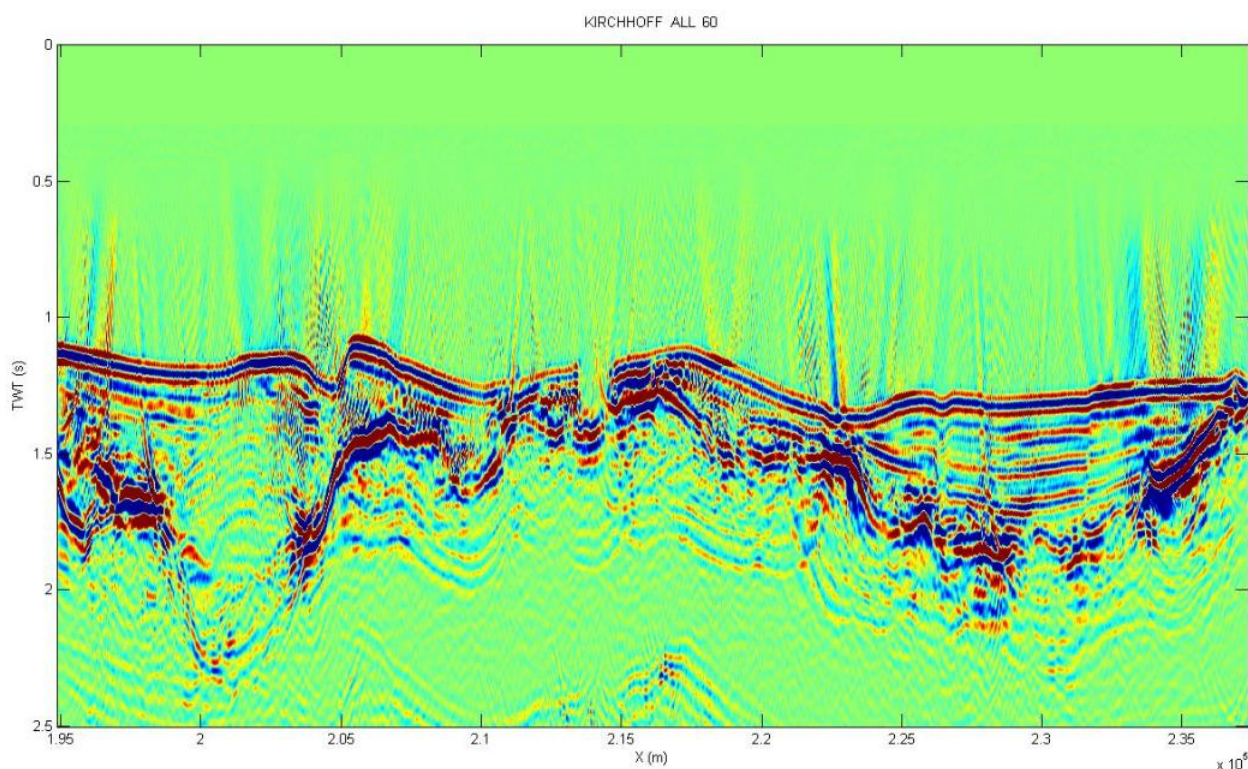
Όσο αφορά τα διαγράμματα σεισμικών χωροθετήσεων που προέκυψαν διαπιστώνουμε ότι με την μέθοδο Kirchhoff με όλα τα ίχνη (Σχήμα 4.18) είχαμε την καλύτερη απεικόνιση της γραμμής μελέτης, πάνω σε αυτό το διάγραμμα σχεδιάστηκαν με διακεκομμένες γραμμές τα στρώματα και τα ανάστροφα ρήγματα μέσω συμπίεσης που διακρίνονται.



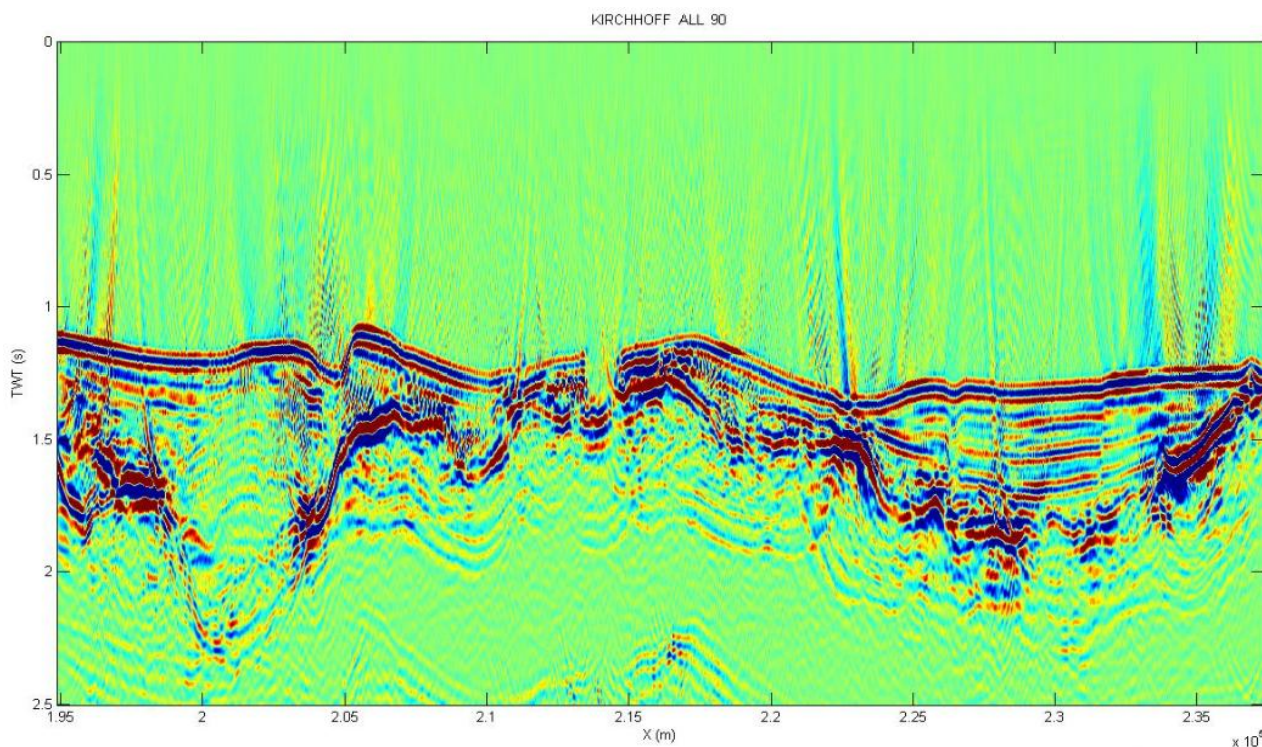
Σχήμα 4.10 : Διάγραμμα σεισμικής χωροθέτησης Kirchhoff, το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση περιλαμβάνει 50 ίχνη και η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες



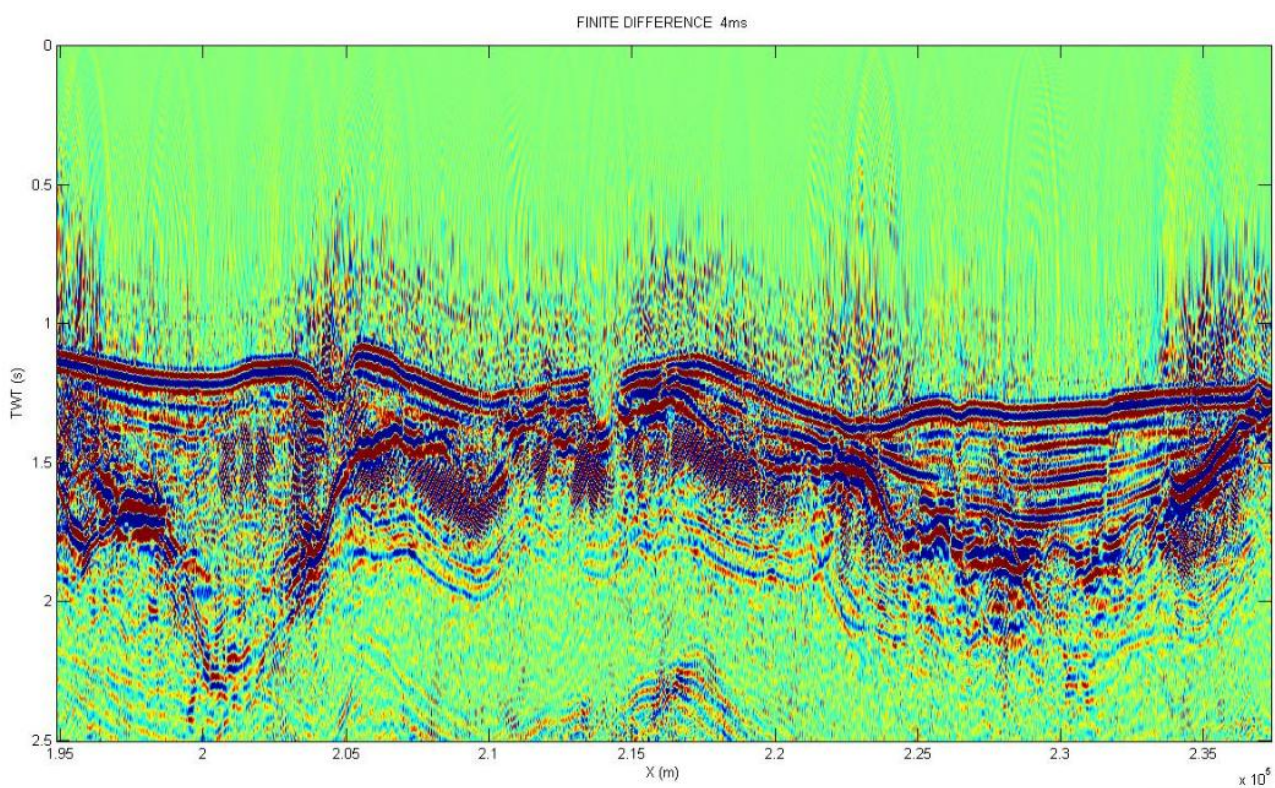
Σχήμα 4.11: Διάγραμμα σεισμικής χωροθέτησης Kirchhoff, το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση περιλαμβάνει 1000 ίχνη και η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες.



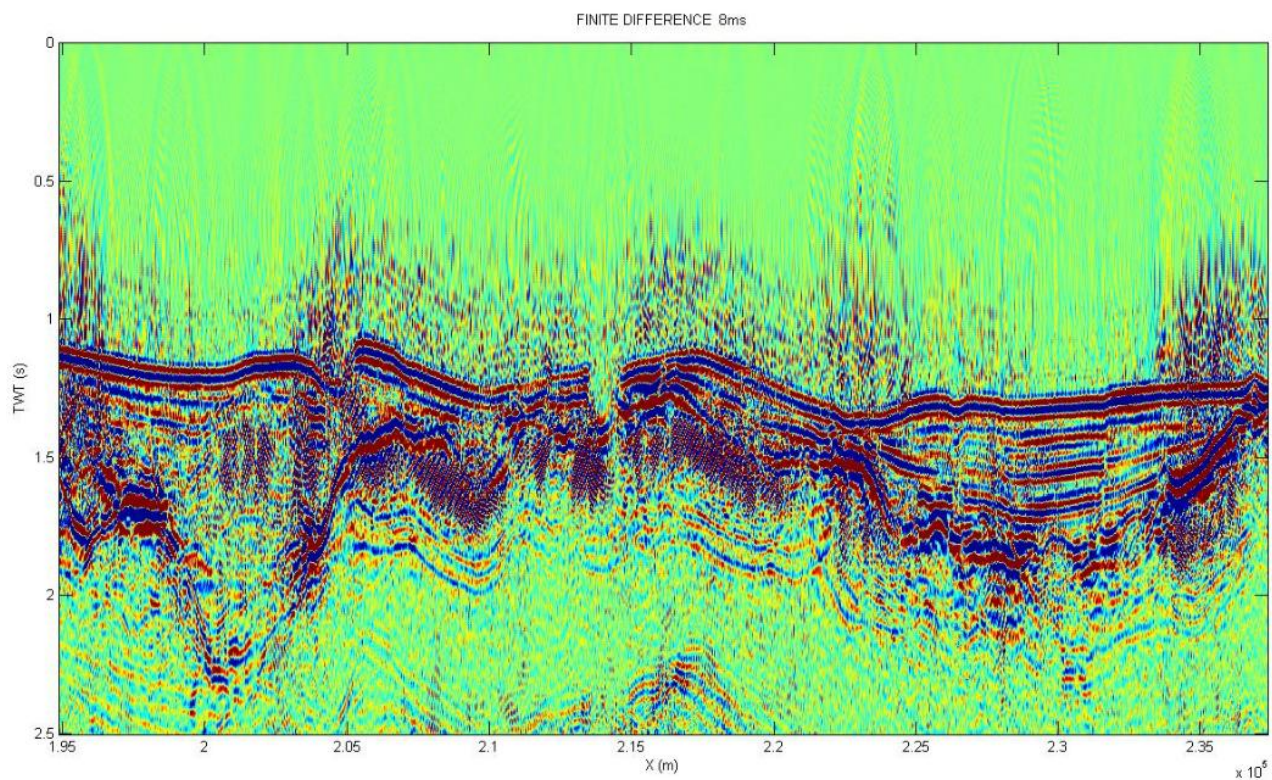
Σχήμα 4.12 : Διάγραμμα σεισμικής χωροθέτησης με την μέθοδο Kirchhoff , το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση περιλαμβάνει όλα τα ίχνη και η μέγιστη κλίση είναι 60 μοίρες.



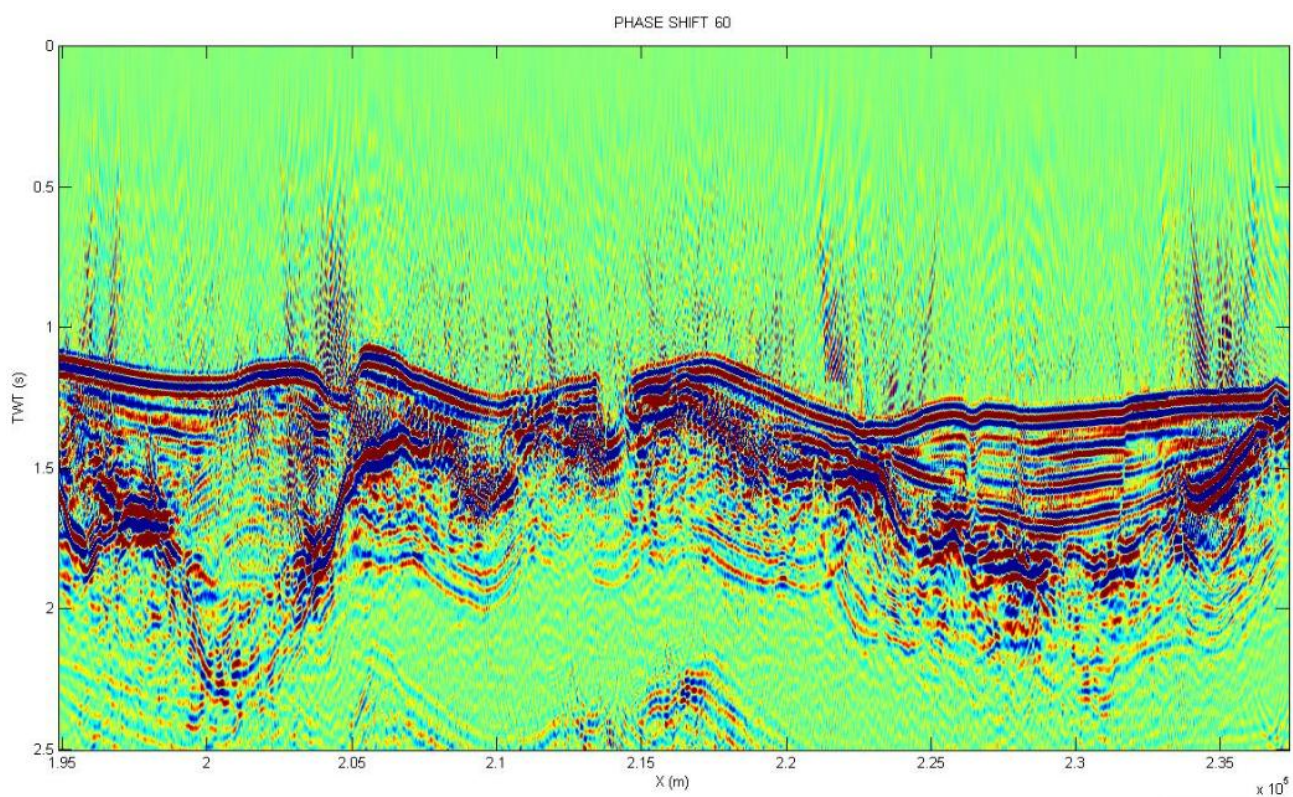
Σχήμα 4.13 : Διάγραμμα σεισμικής χωροθέτησης με την μέθοδο Kirchhoff , το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση περιλαμβάνει όλα τα ίχνη και η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες.



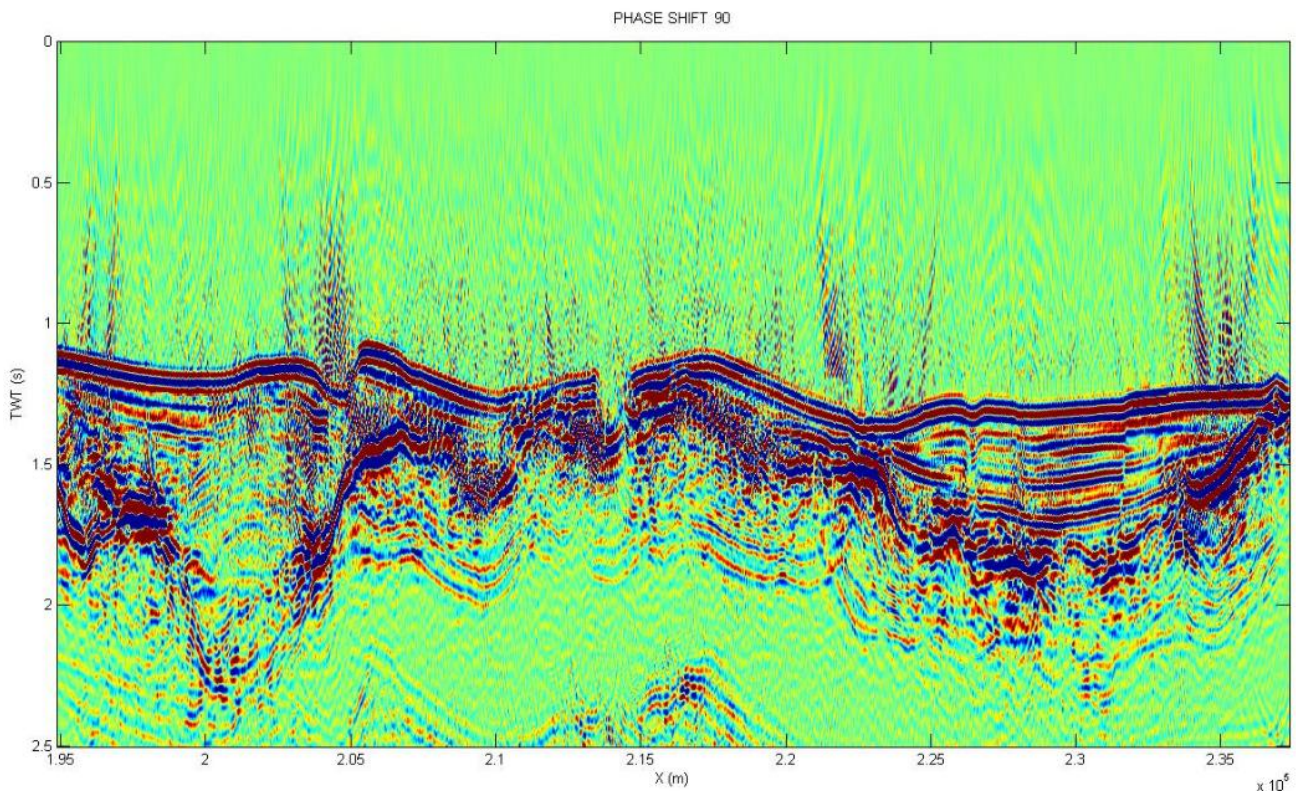
Σχήμα 4.14: Διάγραμμα σεισμικής χωροθέτησης με την μέθοδο πεπερασμένων διαφορών, με βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους 4ms.



Σχήμα 4.15: Διάγραμμα σεισμικής χωροθέτησης με την μέθοδο πεπερασμένων διαφορών, με βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους 8ms.



Σχήμα 4.16 : Διάγραμμα σεισμικής χωροθέτησης με την μέθοδο στο χώρο συχνότητας-κυματάριθμου (phase shift) και επιλογή μέγιστης κλίσης χωροθέτησης 60 μοίρες.



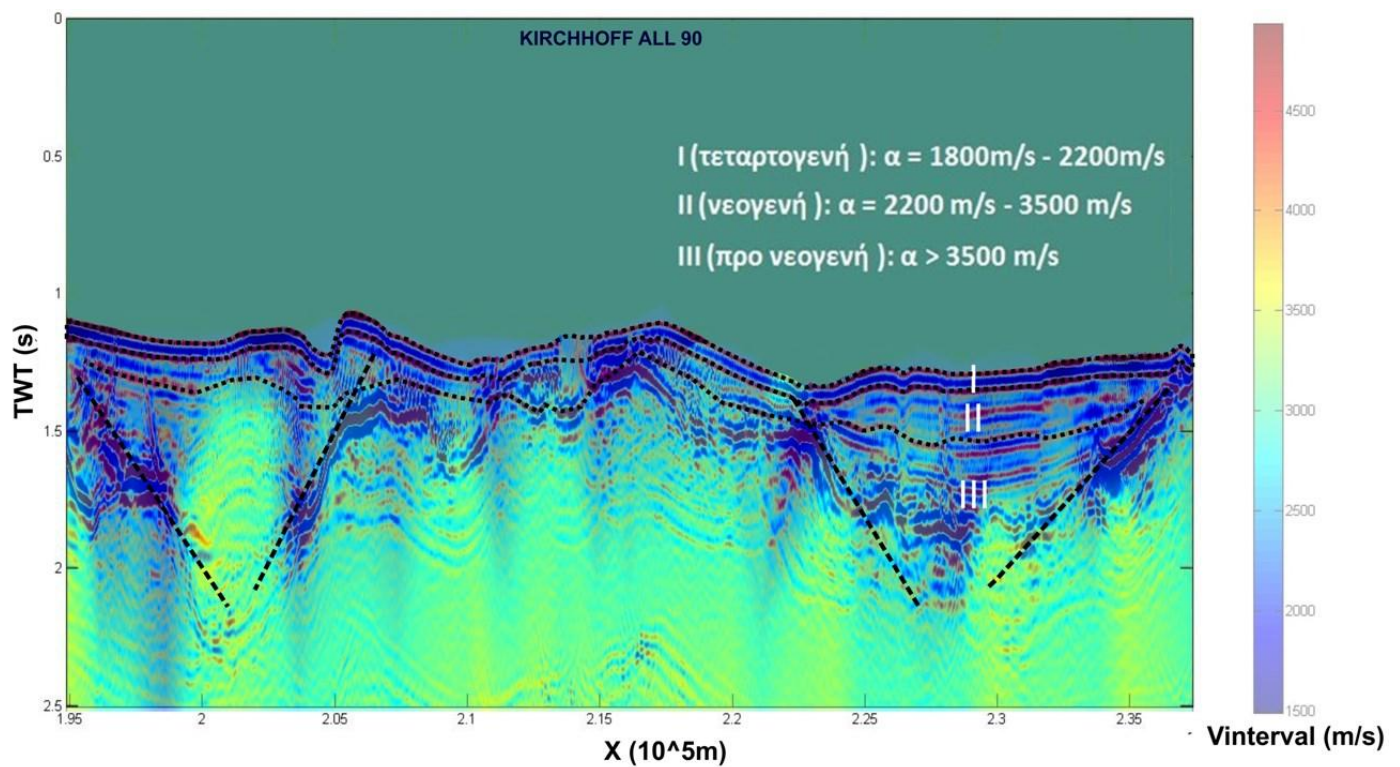
Σχήμα 4.17 : Διάγραμμα σεισμικής χωροθέτησης με την μέθοδο στο χώρο συχνότητας-κυματάριθμου (phase shift) και επιλογή μέγιστης κλίσης χωροθέτησης 90 μοίρες.

4.7 Υπέρθεση των αποτελεσμάτων της χωροθέτησης με το μοντέλο των τμηματικών ταχυτήτων.

Παρατηρώντας τις τομές χωροθέτησης από τις τρεις μεθόδους διαπιστώνουμε ότι η μέθοδος Kirchhoff στην οποία το παράθυρο χωροθέτησης περιλαμβάνει όλα τα ίχνη και για μέγιστη κλίση 90 μοίρες έχει δώσει τα καλύτερα αποτελέσματα (π.χ. καλύτερη συνέχεια των ανακλαστήρων). Στο αντίστοιχο σχήμα (Σχήμα 4.13) σχεδιάστηκαν τα σεισμικά στρώματα με βάση τη συνέχεια των ανακλαστήρων και τις τμηματικές ταχύτητες. Επίσης σχεδιάστηκαν τα ρήγματα στην περιοχή μελέτης.

Στο Σχήμα 4.18. στην σεισμική τομή χωροθέτησης έχει υπερτεθεί το αρχείο των τμηματικών ταχυτήτων και τα σεισμικά στρώματα έχουν αποδοθεί σε γεωλογικούς σχηματισμούς. Συγκεκριμένα το πρώτο στρώμα (I) παρουσιάζει τμηματική ταχύτητα που κυμαίνεται από 1800 m/s - 2200 m/s και αποδίδεται σε τεταρτογενείς αποθέσεις, το δεύτερο στρώμα (II) παρουσιάζει τμηματική ταχύτητα που

κυμαίνεται από 2200 m/s - 3500 m/s και αποδίδεται σε νεογενείς αποθέσεις και το τρίτο στρώμα (III) παρουσιάζει τμηματική ταχύτητα μεγαλύτερη από 3500 m/s και αποδίδεται σε προνεογενείς ακολουθίες . Παρατηρείται ότι υπάρχει ικανοποιητική ταύτιση της τομής χωροθέτησης με αυτή του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων.



Υπέρθεση του χάρτη των τμηματικών ταχυτήτων στην ερμηνευμένη χωροθετημένη τομή με την μέθοδο Kirchhoff., το παράθυρο χωροθέτησης σε αυτήν την τομή περιλαμβάνει όλα τα ίχνη και η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες. Με διακεκομμένες γραμμές εμφανίζονται σεισμικά στρώματα και τα ρήγματα.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Συμπεράσματα / Προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα

1) Κατά την εφαρμογή της Δυναμικής Διόρθωσης (NMO), σε ίχνη κοινού ενδιαμέσου σημείου, προέκυψε ότι η αποδεκτή παραμόρφωση (Strech) αντιστοιχεί σε 30%.

2) Παρατηρήθηκε ότι τα διαγράμματα που προκύπτουν από την μέθοδο σεισμικής χωροθέτησης στο χώρο των συχνοτήτων (phase shift) με επιλογή μέγιστης κλίσης χωροθέτησης 60° και 90° είναι παρόμοια. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στην μέθοδο Kirchhoff, για παράθυρο χωροθέτησης που περιλαμβάνει όλα τα ίχνη. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η κλίση των ανακλαστήρων δεν πρέπει να ξεπερνάει τις 60°.

3) Από τις τρεις μεθόδους χωροθέτησης που χρησιμοποιήθηκαν, παρατηρήθηκε ότι η χωροθετημένη τομή στην οποία παρουσιάζονται με μεγαλύτερη ευκρίνεια οι ανακλαστήρες είναι αυτή που προέκυψε από τη μέθοδο Kirchhoff (στην οποία το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση περιλαμβάνει όλα τα ίχνη, Σχήμα 4.18). Σε αυτήν τη χωροθετημένη τομή σχεδιάστηκαν με διακεκομμένες γραμμές τα σεισμικά στρώματα και τα ρήγματα.

4) Στην προαναφερθείσα τομή υπερτέθηκε το μοντέλο των τμηματικών ταχυτήτων και ακολούθησε η γεωλογική ερμηνεία κατά την οποία προσδιορίστηκαν οι παρακάτω σχηματισμοί: α) τεταρτογενείς β) νεογενείς και γ) προνεογενείς. Επίσης προσδιορίστηκαν και ρήγματα που εμφανίζονται στην χωροθετημένη τομή.

5) Από την υπέρθεση της χωροθετημένης τομής με το μοντέλο των τμηματικών ταχυτήτων παρατηρήθηκε ότι σε ορισμένα σημεία δεν υπάρχει ταύτιση των ανακλαστήρων της χωροθετημένης τομής με της διεπιφάνειες των στρωμάτων ταχύτητας που εμφανίζονται στο μοντέλο των τμηματικών ταχυτήτων. Αυτό αποδίδεται κυρίως στην αραιή επιλογή των CMP στο στάδιο ανάλυσης ταχυτήτων με την μέθοδο της συνάφειας, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την έλλειψη συνέχειας των διεπιφανειών των στρωμάτων ταχύτητας στην οριζόντια διεύθυνση.

5.2 Προτάσεις

- 1) Μικρότερο βήμα στην επιλογή των CMP στο στάδιο ανάλυσης ταχυτήτων με την μέθοδο Semblance.
- 2) Εφαρμογή της αποσυνέλιξης για την αύξηση της χρονικής ανάλυσης.
- 3) Παραγωγή χωροθετημένων τομών πριν την υπέρθεση (Prestack migration).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- 1) Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι, 1993, Σημειώσεις Σεισμικές Μέθοδοι, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Διδάσκον Δρ. Αντώνης Βαφείδης, 1993
- 2) Βαφείδης Α., 2011, Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής Ι, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης .
- 3) Κόκκινου Ε., 2002, Επεξεργασία και ερμηνεία θαλάσσιων σεισμικών καταγραφών ανάκλασης στην περιοχή του Ιονίου, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Μηχανικών ορυκτών πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- 4) Λάιος Ι., 2017, Επεξεργασία δεδομένων σεισμικής ανάκλασης στην θαλάσσια περιοχή δυτικά της Αιτωλοακαρνανίας, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- 5) Χριστίδη Λ., 2019, Σχεδιασμός πειράματος σεισμικής ανάκλασης για την απεικόνιση του υπεδάφους σε περιβάλλον βαθιάς θάλασσας νότια της Κρήτης.

Διεθνής βιβλιογραφία

- 1) Andronikidis, N., Kokinou, E., Vafidis, A., Kamberis, E. and Manoutsoglou, E., 2018, Deformation patterns in the southwestern part of the Mediterranean Ridge (South Matapan Trench, Western Greece), Marine Geophysical Research, 39:475-490.
- 2) Mountrakis et al. 1983, A study of summer seismic sequence in the Magnesia region of Central Greece.
- 3) Berryhill, J.R., 1979, Wave-equation datuming: Geophysics, 44, pp: 1329-1333..
- 4) Schneider, W., 1978, Integral formulation for migration in two and three dimensions: Geophysics, 43, pp: 49-76.
- 5) Yilmaz, O., 1987, Seismic data processing: Society of Exploration Geophysics.
- 6) Smith 1971, Robertson et al. 1991 & Stampfli, et al. 1991 , Ricou 1994, The story of sloppy, sticky, lumpy and tough.
- 7) Dewey et al. 1973, Smith & Woodcock 1982, Coward & Dietrich 1989, Some Current Problems on the Tectonic Evolution of the Mediterranean During the Cainozoic.

- 9) Yilmaz, 2001, SEISMIC DATA ANALYSIS Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data.
- 10) Sodbinow, 1989 , Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics.
- 11) Taner et al., 1969, Velocity Spectra - Digital Computer Derivation Application of Velocity Functions.
- 12) Sheriff, et al, 1995, Exploration seismology
- 13)Schneider et al, 1978, Kirchhoff Integral Extrapolation and Migration of Nonplanar Data.
- 14) Claerbout, 1985, Imaging the Earth's Interior.
- 15) Morgan, 1970, Solving Polynomial Systems Using Continuation for Engineering and Scientific Problem.
- 16) Berkhout, A.J., 1980, Seismic migration-Imaging of acoustic energy by wave field extrapolation:Elsevier Science Publ. Co., Inc.

Πηγές από το Διαδίκτυο

- 1) www.geo.auth.gr
- 2) www.ikey.lib.auth.gr
- 3) www.phys.uoa.gr
- 4) www.geodifhs.com
- 5) www.linkedin.com
- 6) www.xsgeo.com
- 7) www.geomore.com

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Χρήση αλγορίθμου στο λογισμικό της Matlab για την εφαρμογή της σεισμικής χωροθέτησης.

A) Kirchhoff: [aryin,tmig,xmig]=kirk_mig2(aryin,aryvel,dt,dx,params);

Δεδομένα εισόδου:

- aryin: Πίνακας δεδομένων εισόδου (σεισμική τομή) ο οποίος έχει προέρθει από σεισμική υπέρθεση.
- arvel: Πίνακας ταχυτήτων rms, ίδιες διαστάσεις με τον παραπάνω πίνακα.
- t: Διάνυσμα χρόνου καταγραφής
- x: Διάνυσμα αποστάσεων.
- params: Διάνυσμα παραμέτρων χωροθέτησης.

Η σημαντικότερη παράμετρος είναι το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση και καθορισμός των ορίων του.

Αποτελέσματα εξόδου:

- argmig: Πίνακας σεισμικής χωροθέτησης.
- tmig: t συντεταγμένες των αποτελεσμάτων χωροθέτησης.
- xmig: x συντεταγμένες των αποτελεσμάτων χωροθέτησης.

B)Πεπερασμένες Διαφορές: [aryin,tmig,xmig]=fd15mig(aryin,aryvel,t,x,dtau);

Δεδομένα εισόδου:

- aryin: Πίνακας δεδομένων εισόδου (σεισμική τομή) ο οποίος έχει προέλθει από σεισμική υπέρθεση.
- arvel: Πίνακας ταχυτήτων rms, ίδιες διαστάσεις με τον παραπάνω πίνακα.
- t: Διάνυσμα χρόνου καταγραφής.
- x: Διάνυσμα αποστάσεων.
- dtau: Βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους.

Αποτελέσματα εξόδου:

- argmig: Πίνακας σεισμικής χωροθέτησης.
- tmig: t συντεταγμένες των αποτελεσμάτων χωροθέτησης.
- xmig: x συντεταγμένες των αποτελεσμάτων χωροθέτησης.

Γ) Phase Shift: [out,tt]=ps_migt(seis,t,x,v,params);

Δεδομένα εισόδου:

- seis: Πίνακας δεδομένων εισόδου (σεισμική τομή) ο οποίος έχει προέρθει από σεισμική υπέρθεση.
- t: Διάνυσμα χρόνου καταγραφής.
- x: Διάνυσμα αποστάσεων.
- v: Πίνακας τμηματικών ταχυτήτων (ίδιες διαστάσεις με τον πίνακα seis).
- params: Η σημαντικότερη παράμετρος είναι προσθήκη δειγμάτων (ορισμένα σε s και σε m) μηδενικού πλάτος στο χρόνο (t) και στο χώρο (x) για την εφαρμογή του FFT.

Αποτελέσματα εξόδου:

- out: Πίνακας σεισμικής χωροθέτησης.
- tt: συνολικός χρόνος υπολογισμού της χωροθετημένης τομής.