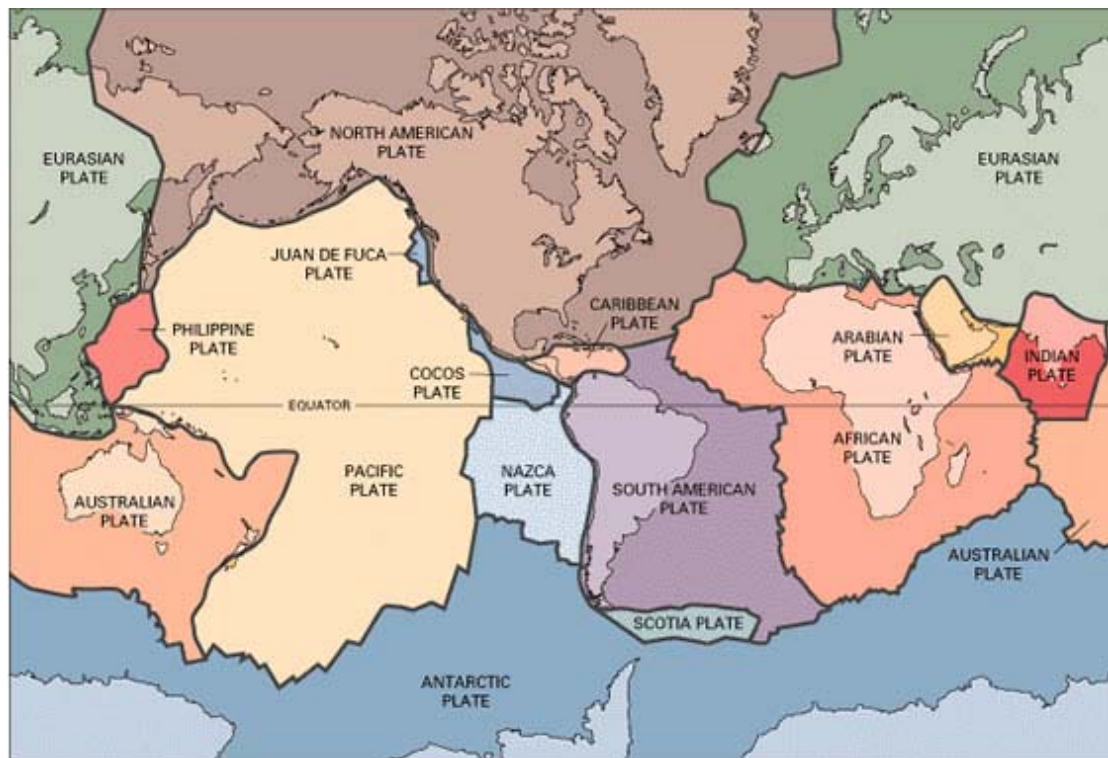


ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΗΣΗ

Παραστατίδης Εμμανουήλ Α.Ε.Μ. 4044



Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Ελευθερία Παπαδημητρίου

Θεσσαλονίκη 2010

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΗΣΗ



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Σχολή Θετικών Επιστημών

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	3
Πρόλογος.....	5
Κεφάλαιο 1 ^ο Βασικές έννοιες και ορισμοί.....	6
Περίληψη.....	7
1.1 Βασικές έννοιες.....	8
1.2 Μαθηματικό μοντέλο.....	9
Κεφάλαιο 2 ^ο Μεθοδολογία και προγραμματισμός.....	13
2.1 Μεθοδολογία.....	14
2.2 Προβλήματα και αδυναμίες του προγράμματος.....	18
Κεφάλαιο 3 ^ο Περιοχές μελέτης & αποτελέσματα.....	19
3.1 Εισαγωγή.....	20
3.2 Βορειοδυτικό Ιράν - νοτιοανατολικό Ιράν.....	21
3.2.1 Γεωδυναμικά στοιχεία της περιοχής.....	21
3.2.2 Αποτελέσματα προγράμματος.....	23
3.2.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	25
3.3 Κεντρική Αλάσκα με Βορειοδυτικές ακτές Καναδά.....	26
3.3.1 Γεωδυναμικά στοιχεία της περιοχής.....	27
3.3.2 Αποτελέσματα προγράμματος.....	28
3.3.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	30
3.4 Κεντρική Ιταλία με τις Δαλματικές ακτές.....	31
3.4.1 Γεωδυναμικά στοιχεία της περιοχής.....	31
3.4.2 Αποτελέσματα προγράμματος.....	33
3.4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων	35
3.5 Πελοπόννησος με Βόρεια Τουρκία.....	36

3.5.1 Γεωδυναμικά στοιχεία της περιοχής.....	36
3.5.2 Αποτελέσματα προγράμματος.....	38
3.5.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	40
3.6 Κεντρική Αμερική- Καραϊβική.....	41
3.6.1 Γεωδυναμικά στοιχεία της περιοχής.....	41
3.6.2 Αποτελέσματα προγράμματος.....	43
3.6.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	45
3.7 Περιοχές με μικρότερο ποσοστό συσχέτισης.....	46
3.7.1 Κίνα- Κιργιστάν.....	46
3.7.2 Χιλή-Νάζκα.....	49
Κεφάλαιο 4 ^ο Συμπεράσματα.....	52
4.1 Συμπεράσματα.....	53
Βιβλιογραφία.....	55

Πρόλογος

Η εργασία αυτή αποσκοπεί στον εντοπισμό περιοχών στον παγκόσμιο χάρτη οι οποίες ανά δύο εμφανίζουν σεισμική συσχέτιση μεταξύ τους. Ξεκίνησε στα πλαίσια του προγράμματος Erasmus στο Πανεπιστήμιο Roma 3 της Ιταλίας την περίοδο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου 2008 με επιβλέπων Καθηγητή τον κο Rodolfo Console ενώ συνεχίστηκε και ολοκληρώθηκε στον Τομέα Γεωφυσικής του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας κας Ελευθερίας Παπαδημητρίου.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας περιγράφονται κάποιες βασικές έννοιες και ορισμοί που αφορούν στη σεισμική συσχέτιση και στο μαθηματικό μοντέλο πάνω στο οποίο βασίζεται η γραμμική συσχέτιση. Η παράθεση των πληροφοριών αυτών γίνεται με τρόπο ώστε να γίνει κατανοητό από τον αναγνώστη το θέμα που πραγματεύεται η εργασία αυτή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και η διαδικασία επιλογής των διαφόρων ορίων. Επίσης, περιγράφεται αφενός μεν η διαδικασία προγραμματισμού και βελτίωσης του προγράμματος που δημιουργήθηκε για τον σκοπό της εργασίας αυτής αφετέρου δε κάποια από τα προβλήματα που εντοπίστηκαν κατά την χρήση του προγράμματος καθώς και ο τρόπος που αντιμετωπίστηκαν .

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται τα ζεύγη των περιοχών που παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά συσχέτισης και κάποια συνοπτικά στοιχεία για τη σεισμικότητα και την τεκτονική κάθε περιοχής μελέτης συνοδευόμενα από τους αντίστοιχους χάρτες.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται όλα τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της υπό εξέταση μεθόδου.

Η εργασία αυτή δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς την συμβολή, υποστήριξη και καθοδήγηση της επιβλέπουσας καθηγήτριας κ. Παπαδημητρίου Ελευθερίας την οποία ευχαριστώ θερμά.

Κεφάλαιο 1^ο

Βασικές έννοιες και ορισμοί

Περίληψη

Ένα από τα πάγια ερωτήματα μετά τη γένεση ενός ισχυρού σεισμού είναι κατά πόσο η ενέργεια του σεισμού αυτού μπορεί να πυροδοτήσει την γένεση ενός νέου εξίσου ισχυρού σεισμού σε μια σχετικά γειτονική περιοχή με τον αρχικό σεισμό και μετά από πόσο χρονικό διάστημα αναμένεται να έχουμε τη γένεση του σεισμού στην δεύτερη περιοχή. Το αντικείμενο αυτής της εργασίας διαπραγματεύεται την εύρεση και μελέτη της σύνδεσης σεισμικά δύο περιοχών. Για το σκοπό αυτό ο κύριος Rodolfo δημιούργησε ένα πρόγραμμα σε περιβάλλον Fortran το οποίο, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις συσχέτισης, από την στατιστική, και έναν κατάλογο σεισμών, εντοπίζει ζεύγη περιοχών που εμφανίζουν κάποια συσχέτιση σεισμική. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η εύρεση περιοχών στον παγκόσμιο χάρτη που συσχετίζονται σεισμικά με ποσοστό συσχέτισης μεγαλύτερο του 80%. Τα δεδομένα του καταλόγου που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό είναι σεισμοί από το 1973 ως το 2009 άνω των 5 M.

1.1 Βασικές έννοιες

Ένα εξέχον χαρακτηριστικό της σεισμικότητας είναι το φαινόμενο της συσχέτισης των σεισμών σε έκταση που υπερβαίνει τις διαστάσεις της πηγής. Η συσχέτιση εκφράζεται με πολλούς τρόπους:

- ταυτόχρονη αλλαγή της σεισμικής δραστηριότητας σε μεγάλες ζώνες
- μετανάστευση των σεισμών μακριά από τις ζώνες δράσης
- εναλλασσόμενη αύξηση της σεισμικότητας τόσο σε γειτονικές περιοχές όσο και σε διαφορετικές τεκτονικές πλάκες
- πρότυπη σεισμικότητα προειδοποιητική για μεγάλους σεισμούς.

Έχει βρεθεί επίσης συσχέτιση μεταξύ σεισμικότητας και άλλων γεωφυσικών φαινομένων όπως μετάπτωση ταλάντωσης, απόκλιση του μαγνητικού πεδίου και μεταβολές στην ταχύτητα περιστροφής της Γής.

Για να εξηγηθούν αυτά τα φαινόμενα έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί. Στα πλαίσια της παρούσας ανάλυσης γίνεται μια προσπάθεια ομαδοποίησης τους σε δύο κατηγορίες, που περιγράφονται παρακάτω.

1. Κάποιοι επιστήμονες αποδίδουν τις μεγάλου φάσματος συσχετίσεις σε συγκεκριμένες, ευρείας κλίμακας, προόδους από ελεγχόμενη τάση και δύναμη στην λιθόσφαιρα.. Μεταξύ αυτών των προόδων είναι οι μικρό-κινήσεις των τεκτονικών πλακών, η αλληλεπίδραση των τεκτονικών πλακών με τις ρηξιγενείς ζώνες, μικρό-διακύμανση στις κατευθύνσεις των ρευμάτων του μανδύα, μετανάστευση των υγρών στις ρηξιγενείς ζώνες, υδροδυναμικά κύματα στον ανώτερο μανδύα. Αυτές πυροδοτούν ισχυρούς σεισμούς και αναστατώνουν το ελαστικό στρώμα κάτωθεν της σεισμικής ενεργής ζώνης.
2. Κατά τη δεύτερη άποψη, οι μεγάλου φάσματος συσχετίσεις θεωρούνται χαρακτηριστικό των χαοτικών συστημάτων και δεν αποδίδονται σε μια συγκεκριμένη μηχανική πρόοδο. Η άποψη αυτή στηρίζεται στη θεώρηση της λιθόσφαιρας ως ένα πολύπλοκο σύστημα του οποίου η πολυπλοκότητα συντελείται από ένα πλήθος από ασταθής μηχανισμούς.

1.2 Μαθηματικό μοντέλο

Έστω ότι έχουμε N ζεύγη $(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$ δύο μεταβλητών, οι οποίες υποθέτουμε ότι ικανοποιούν την γραμμική σχέση:

$$y = A + Bx$$

Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι τα $x_1, \dots, x_N$ δεν είναι αποτελέσματα μετρήσεων από ένα απλό αριθμό αλλά αποτελέσματα μετρήσεων από N διαφορετικές τιμές από διάφορες μεταβλητές (για παράδειγμα, N διαφορετικά ύψη από τα οποία πέφτει μια πέτρα). Το ίδιο ισχύει και για τα $y_1, \dots, y_N$.

Χρησιμοποιώντας την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων μπορούμε να βρούμε τις τιμές των A και B για την ευθεία που ικανοποιεί καλύτερα τα σημεία $(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$. Εάν έχουμε ήδη μια αξιόπιστη εκτίμηση των αποκλίσεων των μετρήσεων, τότε μπορούμε να δούμε κατά πόσο τα γνωστά σημεία εκκλίνονται εύλογα γύρω από την ευθεία (συγκρινόμενα με τις γνωστές αποκλίσεις). Εάν συμφωνούν τότε οι μετρήσεις υποστηρίζουν την άποψη μας ότι τα x και y σχετίζονται γραμμικά.

Δυστυχώς σε πολλά πειράματα είναι πολύ δύσκολο να έχουμε μια αξιόπιστη εκτίμηση των αποκλίσεων προκαταβολικά και πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα αυτά καθαυτά για να αποφασίσουμε κατά πόσο οι δύο μεταβλητές φαίνονται να σχετίζονται γραμμικά.

Οι δύο μεταβλητές x και y ίσως, φυσικά, να σχετίζονται με μια πιο πολύπλοκη σχέση απ' ό,τι η απλή γραμμική $y = A + Bx$. Για παράδειγμα οι περισσότεροι νόμοι της φύσης διευθύνονται από γραμμικές εξισώσεις δευτέρου βαθμού $y = A + Bx + Cx^2$. Παρόλα αυτά η εργασία αυτή θα περιοριστεί σε απλούστερα προβλήματα όπου μας αφορά το κατά πόσο τα δοθέντα στοιχεία υποστηρίζουν την υπόθεση μιας γραμμικής σχέσης $y = A + Bx$.

Το φάσμα στο οποίο ένα πλήθος σημείων $(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$ υποτρύζει μία γραμμική σχέση μεταξύ x και y είναι γνωστό ως συντελεστής γραμμικής συσχέτισης ή απλώς συντελεστής συσχέτισης,

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

Η διακύμανση σ_{xy} και οι παρεκκλίσεις σ_x και σ_y ορίζονται ως εξής :

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})] \quad (2)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

Αντικαθιστώντας στις σχέσεις (2) και (3) στην σχέση (1) ξαναγράφουμε τον συντελεστή συσχέτισης ως εξής:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{[\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2]^{1/2}} \quad (4)$$

Ο αριθμός r είναι ένας δείκτης του πόσο τα σημεία (x_i, y_i) ταιριάζουν στην ευθεία. Είναι ένας αριθμός μεταξύ -1 και 1 . Εάν το r είναι κοντά στο ± 1 τότε τα σημεία πλησιάζουν την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, αν το r τείνει στο 0 τότε τα σημεία δεν συσχετίζονται με μικρή τάση να εφαρμόζουν στην ευθεία.

$$-1 \leq r \leq 1$$

Ας υποθέσουμε ότι όλα τα σημεία (x_i, y_i) εφαρμόζουν στην ευθεία της εξίσωσης $y = A + Bx$. Σε αυτή την περίπτωση $y_i = A + Bx_i$ για όλα τα i και συνεπώς $\bar{y} = A + B\bar{x}$. Αφαιρώντας αυτές τις δύο εξισώσεις καταλήγουμε στο

$$y_i - \bar{y} = B(x_i - \bar{x}) \quad (5)$$

για κάθε i . Εισάγοντας την παραπάνω σχέση (5) στην σχέση (4) έχουμε:

$$r = \frac{B \sum (x_i - \bar{x})^2}{\left[\sum (x_i - \bar{x})^2 B^2 \sum [(x_i - \bar{x})^2]^{1/2} \right]} = \frac{B}{|B|} = \pm 1. \quad (6)$$

Αν τα σημεία $(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$ εφαρμόζουν στην ευθεία τότε $r = \pm 1$ το ίχνος του r καθορίζεται από την κλίση της ευθείας ($r=1$ αν B θετικό, και $r=-1$ για B αρνητικό αν η ευθεία είναι οριζόντια τότε το $B=0$ και το r είναι απροσδιόριστο). Όταν οι μεταβλητές x και y σχετίζονται γραμμικά δεν αναμένεται τα πειραματικά μας δεδομένα να εφαρμόζουν στην ευθεία. Έτσι δεν αναμένεται το r να είναι ακριβώς ± 1 , αλλά να τείνει προς το ± 1 αν θεωρούνται ότι τα x και y σχετίζονται γραμμικά.

Από την άλλη μεριά αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχει καμία σχέση μεταξύ των μεταβλητών x και y για οποιαδήποτε τιμή του y_i για κάθε x_i τότε μπορεί να είναι τόσο πάνω από το $\bar{x}$ όσο και πάνω από το $\bar{x}$ έτσι οι όροι στο άθροισμα

$$\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (7)$$

του αριθμητή του r στη σχέση (4) είναι τόσο πιθανό να είναι θετικοί όσο και αρνητικοί. Ταυτοχρόνως οι όροι στον παρονομαστή του r είναι όλοι θετικοί. Έτσι όταν το N (ο αριθμός των μετρήσεων) τείνει στο άπειρο ο συντελεστής συσχέτισης θα είναι μηδέν. Με ένα πεπερασμένο αριθμό από σημεία δεν αναμένεται το r να είναι ακριβώς μηδέν αλλά να είναι ένας μικρός αριθμός.

Συνοψίζοντας, έστω δύο μεταβλητές x και y με αριθμό μετρήσεων που τείνουν στο άπειρο η διακύμανση σ_{xy} είναι μηδέν και συνεπώς το $r=0$ δηλαδή οι μεταβλητές αυτές δεν συσχετίζονται. Αν μετά από ένα πεπερασμένο αριθμό μετρήσεων ο συντελεστής συσχέτισης $r = \sigma_{xy} / \sigma_x \sigma_y$ είναι μικρός, τότε τα x και y δεν συσχετίζονται. Τέλος αν ο συντελεστής συσχέτισης τείνει στο ± 1 τότε οι μεταβλητές x και y συσχετίζονται.

Οι μεταβλητές x και y , για την εργασία αυτή, αντιπροσωπεύουν το χρόνο. Αναλυτικότερα το x αντιστοιχεί στις τιμές του χρόνου που μεσολαβεί από το ένα σεισμικό γεγονός στο άλλο σε μια καθορισμένη περιοχή και το y στις τιμές του χρόνου για την δεύτερη καθορισμένη

περιοχή. Το χρονικό εύρος λοιπόν είναι 36 χρόνια, μετατρέποντάς το σε μέρες το αποτέλεσμα είναι 13149 μέρες. Για την καλύτερη κατανόηση της μεθόδου παρακάτω θα χρησιμοποιηθεί ένα απλουστευμένο παράδειγμα: για τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης έστω ότι έχουμε τρία σεισμικά γεγονότα σε μια περιοχή και οι χρόνοι γένεσης x σε μέρες (όπου 0 είναι η ημερομηνία 1-1-1973 και 13149 είναι 31-12-2009) είναι 1400, 4300, και 10000 και τρία γεγονότα στην δεύτερη περιοχή με χρόνους y σε μέρες 1000, 3950 και 9625. Για να δούμε αν υπάρχει συσχέτιση αντικαθιστούμε στην σχέση (4) :

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{[\sum(x_i - \bar{x})^2]^{1/2} [\sum(y_i - \bar{y})^2]^{1/2}} = \frac{38359167}{[38286667 * 38432917]^{1/2}} = 0,99$$

Επομένως το ποσοστό συσχέτισης είναι 99% και ο χρόνος που μεσολαβεί, για την γένεση ενός σεισμικού γεγονότος στην δεύτερη περιοχή, είναι ό μέσος όρος των διαφορών των χρόνων της πρώτης περιοχής και της δεύτερης. Στην προκειμένη περίπτωση είναι -375 μέρες (ο αρνητικός αριθμός προκύπτει γιατί η περιοχή που θεωρήθηκε ως δεύτερη είναι στην ουσία πρώτη δηλαδή ένα σεισμικό γεγονός συμβαίνει στην περιοχή δύο πρώτα και μετά από 375 μέρες περίπου στην περιοχή ένα).

Κεφάλαιο 2^ο

Μεθοδολογία και προγραμματισμός

2.1 Μεθοδολογία

Παραπάνω δόθηκε το μαθηματικό μοντέλο πάνω στο οποίο βασίστηκε η αρχική ιδέα της εργασίας αυτής. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται ο τρόπος εφαρμογής του στο πρόβλημα της σεισμικής συσχέτισης δύο περιοχών. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε ένας κατάλογος σεισμών από το 1973 ως το 2009 με μέγεθος ≥ 5 ο οποίος δημιουργήθηκε από το ηλεκτρονικό αρχείο του NEIC (National Earthquake Information Center).

Στο προηγούμενο κεφάλαιο δόθηκε ένα απλουστευμένο παράδειγμα στο οποίο οι δύο περιοχές ήταν προκαθορισμένες. Στην πραγματικότητα το πρόγραμμα που δημιουργήθηκε για το πέρας της εργασίας αυτής εντοπίζει αυτόματα τις περιοχές αυτές. Η διαδικασία λειτουργίας και επιλογής των περιοχών από το πρόγραμμα είναι οι εξής :

- Εισαγωγή του ονόματος του αρχείου του καταλόγου των σεισμών και του ονόματος του εξερχόμενου αρχείου
- Εισαγωγή του χρονικού εύρους δηλαδή το έτος έναρξης και το έτος λήξης
- Εισαγωγή του ελάχιστου μεγέθους σεισμού (σε περιοχές με έντονη σεισμικότητα όπως π.χ. το δαχτυλίδι της φωτιάς στον ειρηνικό ωκεανό το ελάχιστο μέγεθος που χρησιμοποιείται είναι 6 M ενώ σε περιοχές με μικρότερη σεισμικότητα όπως π.χ. η μεσόγειος το ελάχιστο μέγεθος που χρησιμοποιείται είναι 5 M) και το μέγιστο εστιακό βάθος σε km (συνήθως όχι πάνω από 100km γιατί κάτω από το βάθος αυτό ο σεισμός αλλάζει συμπεριφορά).

- Επιλογή του ελάχιστου χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ των δύο περιοχών καθώς επίσης και του ελάχιστου χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ δύο γεγονότων στην ίδια περιοχή.
- Επιλογή της πρώτης περιοχής μέσα από την οποία το πρόγραμμα θα βρει μια μικρότερη περιοχή, της οποίας οι μέγιστες και ελάχιστες διαστάσεις που καθορίζονται από τον χρήστη του προγράμματος.
- Επιλογή με τον ίδιο τρόπο γίνεται και της δεύτερης περιοχής και καθορισμός του αριθμού των επαναλήψεων που πρέπει να τρέξει το πρόγραμμα για να πετύχει την καλύτερη συσχέτιση (όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός επαναλήψεων τόσες πιο πολλές οι πιθανότητες να βρεθεί η καλύτερη δυνατή συσχέτιση.)

Στη φάση αυτή το πρόγραμμα αναζητά μια υποπεριοχή μέσα στην πρώτη επιλεγμένη περιοχή που να συσχετίζεται με μία υποπεριοχή μέσα στην δεύτερη περιοχή και μετά το τέλος των επαναλήψεων μας εμφανίζει σε αρχείο txt τα τρία ζεύγη με την μεγαλύτερη συσχέτιση. Παρακάτω παρουσιάζονται δύο εικόνες με το πρόγραμμα σε λειτουργία: η πρώτη (**Σχήμα 2.1**) δείχνει την διαδικασία επιλογής των δεδομένων και των περιοχών μελετης και η δεύτερη (**Σχήμα 2.2**) την διαδικασία εύρεσης των περιοχών με την μεγαλύτερη συσχέτιση.

```
C:\Users\EMP\Desktop\gap\Νέος φάκελος (5)\areas1.exe
Enter the input file name
neic_m5_73-08.txt
Enter the output file name
test58.txt
Enter the starting year <yyyy>
1973
Enter the final year <yyyy>
2008
Enter the minimum magnitude for the catalog
6
Enter the maximum depth for the catalog <km>
100
Do you want to randomize the occurrence times? No=0, Yes=1
0
Enter the minimum time interval between two events <days>
100
Enter the time step <days>
50
nstep = 256
Enter the number of steps for the correl. function
10
Enter the correlation time <days>
200
Limits of the two study areas
Enter the minimum latitude of the first area
5
Enter the maximum latitude of the first area
20
Enter the most western longitude of the first area
-100
Enter the most eastern longitude of the first area
-80
Enter the min. and max. size of each box <degrees>
2
10
Enter the min. and max. number of events in a box
3
100
Enter the minimum magnitude for the first area
6
Enter the maximum depth for the first area <km>
100
Enter the minimum latitude of the second area
10
Enter the maximum latitude of the second area
25
Enter the most western longitude of the second area
-79
Enter the most eastern longitude of the second area
-57
Enter the min. and max. size of each box <degrees>
2
10
Enter the min. and max. number of events in a box
3
100
Enter the minimum magnitude in the second area
6
Enter the maximum depth in the second area <km>
100
Enter the number of iterations of the randun routine
10000
```

(Σχήμα 2,1) Το πρόγραμμα σε λειτουργία κατά την φάση επιλογής των φίλτρων για τον κατάλογο των σεισμών και της επιλογής των περιοχών μελέτης με την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω.

Οι περιοχές τόσο αυτές που επιλέγονται από το χρήστη όσο και αυτές που δίνει ως αποτέλεσμα το πρόγραμμα, έχουν μορφή ορθογωνίου παραλληλογράμμου, εφόσον τα δεδομένα που εισάγονται στο πρόγραμμα δεν μπορούν να είναι πάνω από τέσσερα σημεία που ενώνονται μεταξύ τους με ευθείες, παράλληλες ανά δυο, γραμμές.

```

C:\Users\EMP\Desktop\gap\Νέος φάκελος (5)\areas1.exe
4 maximum correl. = 9.948263E-02 at 30.000000 days
5 maximum correl. = 3.606652E-02 at -430.000000 days
6 maximum correl. = 1.007442E-01 at -500.000000 days
7 maximum correl. = 1.423371E-01 at -90.000000 days
8 maximum correl. = 2.666438E-01 at 10.000000 days
9 maximum correl. = 2.877082E-01 at 300.000000 days
10 maximum correl. = 1.222850E-01 at 0.000000E+00 days
11 maximum correl. = 3.384129E-01 at -190.000000 days
12 maximum correl. = -7.688025E-02 at -500.000000 days
13 maximum correl. = 7.631076E-02 at 500.000000 days
14 maximum correl. = 3.925285E-01 at -30.000000 days
15 maximum correl. = 2.339247E-01 at 500.000000 days
16 maximum correl. = -6.375152E-02 at 0.000000E+00 days
17 maximum correl. = 2.354807E-01 at 320.000000 days
18 maximum correl. = 1.002986E-01 at 260.000000 days
19 maximum correl. = 1.283806E-01 at 390.000000 days
20 maximum correl. = 1.551153E-01 at 40.000000 days
21 maximum correl. = 1.895974E-01 at -490.000000 days
22 maximum correl. = 1.175580E-01 at 360.000000 days
23 maximum correl. = 3.688002E-01 at -340.000000 days
24 maximum correl. = 5.649796E-02 at 310.000000 days
25 maximum correl. = 3.338133E-04 at 500.000000 days
26 maximum correl. = 2.299165E-01 at 430.000000 days
27 maximum correl. = 4.282291E-01 at 40.000000 days
28 maximum correl. = 1.768125E-02 at 90.000000 days
29 maximum correl. = 1.433675E-01 at 500.000000 days
30 maximum correl. = -8.221350E-02 at 0.000000E+00 days
31 maximum correl. = 4.483801E-01 at 60.000000 days
32 maximum correl. = 1.088891E-01 at 10.000000 days
33 maximum correl. = 1.115085E-01 at -200.000000 days
34 maximum correl. = 3.691561E-01 at 100.000000 days
35 maximum correl. = 1.318252E-01 at 450.000000 days
36 maximum correl. = 1.397719E-01 at -50.000000 days
37 maximum correl. = 4.825797E-02 at 460.000000 days
38 maximum correl. = 9.543822E-02 at 310.000000 days
39 maximum correl. = 2.115023E-01 at 330.000000 days
40 maximum correl. = 1.555126E-01 at -400.000000 days
41 maximum correl. = 2.515113E-01 at 60.000000 days
42 maximum correl. = 1.766003E-01 at -390.000000 days
43 maximum correl. = 2.140391E-01 at 460.000000 days
44 maximum correl. = 2.360570E-01 at 150.000000 days
45 maximum correl. = 3.239368E-01 at -190.000000 days
46 maximum correl. = 1.773695E-01 at -390.000000 days
47 maximum correl. = 3.688001E-01 at -340.000000 days
48 maximum correl. = 1.101510E-01 at -310.000000 days
49 maximum correl. = -2.937561E-02 at 230.000000 days
50 maximum correl. = 1.541986E-01 at -110.000000 days
51 maximum correl. = 9.398894E-02 at -190.000000 days
52 maximum correl. = 2.588202E-01 at 50.000000 days
53 maximum correl. = 2.909639E-02 at -500.000000 days
54 maximum correl. = 1.008948E-01 at 10.000000 days
55 maximum correl. = 2.468578E-01 at -300.000000 days
56 maximum correl. = 6.015798E-02 at -280.000000 days
57 maximum correl. = 1.717683E-01 at 220.000000 days
58 maximum correl. = 1.924430E-01 at -500.000000 days
59 maximum correl. = 2.387349E-01 at -100.000000 days
60 maximum correl. = 6.640689E-02 at -470.000000 days
61 maximum correl. = 2.751140E-02 at -500.000000 days
62 maximum correl. = 7.666390E-02 at 500.000000 days
63 maximum correl. = 1.673686E-01 at -170.000000 days
64 maximum correl. = 3.549355E-01 at -470.000000 days
65 maximum correl. = 1.662212E-01 at -190.000000 days

```

(Σχήμα 2,2) Το πρόγραμμα σε λειτουργία κατά την φάση υπολογισμού των συσχετίσεων στη μεσαία στήλη φαίνονται τα αποτελέσματα της σχέσης (4) και στην τρίτη στήλη οι η διαφορά των ημερών που μεσολαβούν.

Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ένα δεύτερο πρόγραμμα παρόμοιο σε δομή με το πρώτο αλλά με πιο απλή λειτουργία, όπου αντί των δύο μεγάλων περιοχών εισάγονται ως δεδομένα οι δύο υποπεριοχές δηλαδή τα αποτελέσματα του πρώτου προγράμματος και χρησιμοποιώντας την ίδια σχέση (4) επαληθεύει το αρχικό αποτέλεσμα.

2.2 Προβλήματα και αδυναμίες του προγράμματος

Ένα από τα πρώτα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν στην αρχή ήταν η εισαγωγή των συντεταγμένων των περιοχών, το γεωγραφικό πλάτος που παίρνει τιμές από 90° ως -90° και σημείο 0° στον ισημερινό και αποτελούν ένα σύνολο ρητών αριθμών και επομένως δεν αποτελούσαν πρόβλημα αντιθέτως το γεωγραφικό μήκος παίρνει τιμές από 0° ως 180° και 0° ως -180° το πρόβλημα με το γεωγραφικό μήκος εγκείται στο ότι το 180° και το -180° συμπίπτουν και το πρόγραμμα μην μπορώντας να αναγνωρίσει την ιδιομορφία αυτή μπλόκαρε ή έδινε λάθος αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό εισήχθη μια εξίσωση στο πρόγραμμα για την μετατροπή του γεωγραφικού μήκους σε θετικούς ακέραιους αριθμούς με τον εξής τύπο : $lon = 360 + \alpha$ όπου α είναι το αρνητικό γεωγραφικό μήκος.

Ένα δεύτερο πρόβλημα στις πρώτες δοκιμές ήταν ότι σαν αποτέλεσμα μας έδινε δύο περιοχές με τρία ή τέσσερα γεγονότα με μέγεθος άνω των 6 M και με συσχέτιση άνω του 90% η οποία είναι πλασματική, γιατί το πρόγραμμα αντιλαμβάνεται ως σεισμικό γεγονός (και επομένως τους συσχετίζει) και τους μετασεισμούς ενώ το ζητούμενο είναι η συσχέτιση μόνο των κυρίων σεισμών γιατί οι μετασεισμοί παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη χρονική κατανομή η οποία ισχύει σχεδόν σε όλους τους μεγάλους σεισμούς. Έτσι στην ουσία συσχετίζει ένα ή δύο κυρίως σεισμούς, ενώ το ζητούμενο είναι να συσχετίζει το ελάχιστο τρία γεγονότα, και οι υπόλοιποι είναι μετασεισμοί. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκε στο πρόγραμμα η επιλογή στο χρήστη του ελάχιστου χρόνου που πρέπει να μεσολαβεί μεταξύ δύο σεισμών στην ίδια περιοχή, ο χρόνος αυτός συνήθως καθορίζεται στις τριακόσιες μέρες, με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται το πρόβλημα που αναφέρθηκε παραπάνω.

Κεφάλαιο 3^ο

Περιοχές μελέτης & αποτελέσματα

3.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής μελετήθηκαν διάφορες περιοχές που παρουσιάζουν αυξημένη σεισμικότητα. Οι περιοχές αυτές βρίσκονται στις ζώνες σύγκλησης των τεκτονικών πλακών δηλαδή σε σημεία όπου ο ωκεάνιος φλοιός βυθίζεται κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό, τέτοιες περιοχές είναι η θαλάσσια λεκάνη της μεσογείου όπου η Αφρικανική τεκτονική πλάκα βυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική, η ωκεάνια πλάκα του Ειρηνικού κάτω από την Αμερική κ.α., αλλά και στα σημεία όπου συγκλίνουν δύο ηπειρωτικοί φλοιοί όπως π.χ. η τεκτονική πλάκα της Ινδίας με τον ηπειρωτικό φλοιό της Ασίας.

Οι συνδυασμοί από ζεύγη περιοχών, που μπορούν να γίνουν για να εισαχθούν στο πρόγραμμα με σκοπό την εύρεση συσχέτισης στις περιοχές αυτές, είναι άπειροι. Για το λόγο αυτό αρχικά γίνανε πολλές δοκιμές ώστε να καλυφθεί ένα μεγάλο μέρος των ζωνών αυτών. Όπως προαναφέρθηκε στο πρόγραμμα εισάγονται δύο γεωγραφικές περιοχές μεγάλες σε έκταση οι οποίες συνήθως είναι γειτονικές.

Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζονται οι περιοχές που εμφανίζουν τις υψηλότερες συσχετίσεις σε σχέση με το σύνολο των περιοχών που μελετήσαμε και που προέκυψαν από την χρήση του προγράμματος. Όπως προαναφέρθηκε ως ελάχιστο ποσοστό συσχέτισης για την εργασία αυτή είναι το 90%. Τα ζεύγη των περιοχών αυτών στο σύνολο είναι εννέα και είναι τα εξής:

- Η κεντρική περιοχή της Αλάσκα με τις βορειοδυτική ακτή του Καναδά
- Βορειοδυτικό Ιράν με νοτιοανατολικό Ιράν
- Κεντρική Ιταλία με τις Δαλματικές ακτές
- Κεντρική Αμερική με Καραϊβική
- Πελοπόννησος με Βόρεια Τουρκία
- Νότια Κίνα με Κιργιστάν
- Κεντρική Χιλή με το νότιο σημείο επαφής της τεκτονικής πλάκας του Ειρηνικού ωκεανού με την τεκτονική πλάκα Nazca

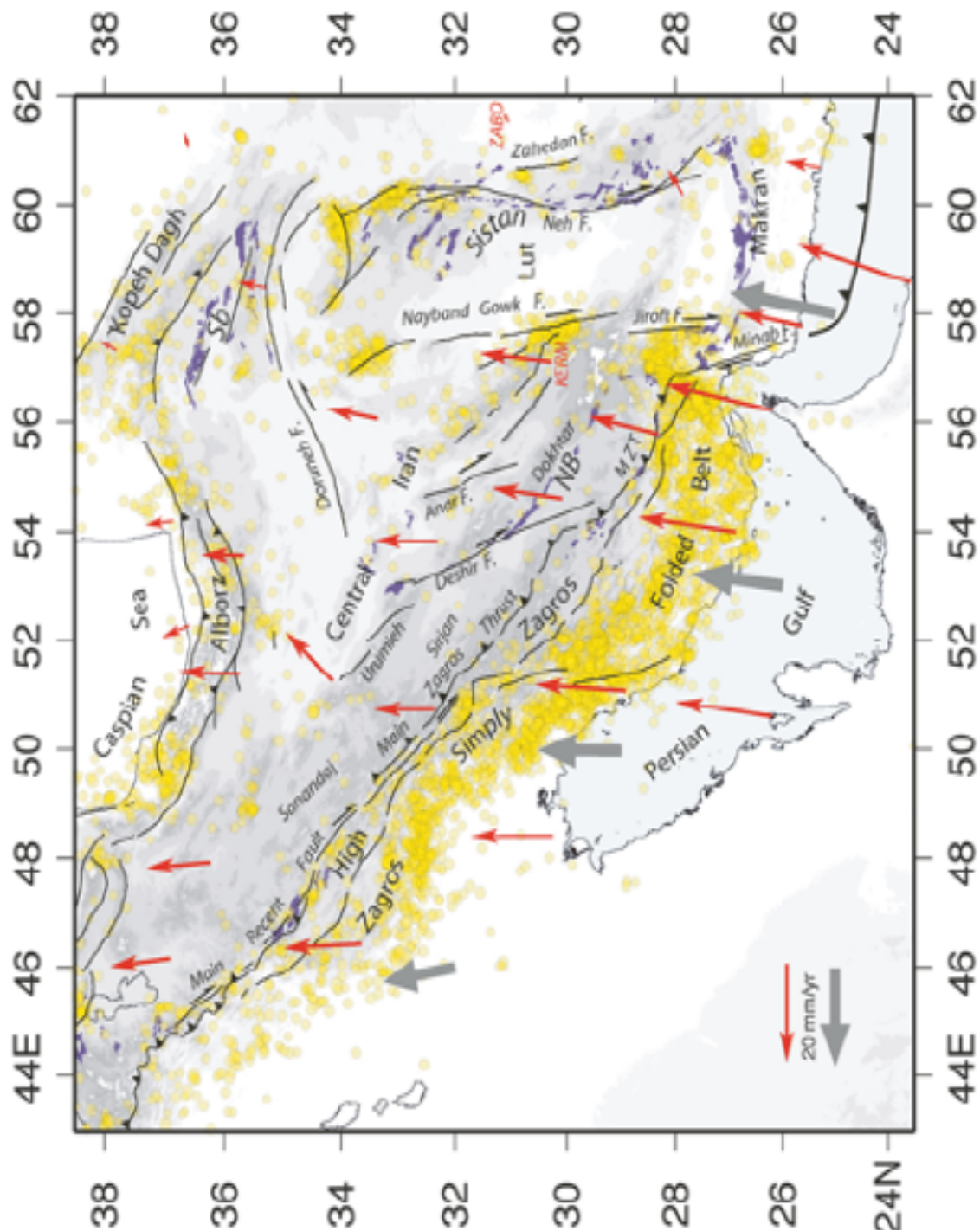
3.2 Βορειοδυτικό Ιράν - νοτιοανατολικό Ιράν

3.2.1 Γεωδυναμικά στοιχεία της περιοχής

Στην περιοχή του Ιράν υπάρχουν τρία συστήματα ρηγμάτων δημιουργώντας ένα τρίγωνο σχεδόν παράλληλο με τα γεωγραφικά σύνορα της χώρας. Τα τρία αυτά συστήματα ευθύνεται για την δημιουργία των οροσειρών Alborz στο βόρειο τμήμα της χώρας, Sistan στα ανατολικά και Zagros στα νοτιοδυτικά. Και στις τρεις περιπτώσεις ηπειρωτικός φλοιός συγκρούεται με ηπειρωτικό φλοιό και παρατηρείται δημιουργία ανάστροφων ρηγμάτων καθώς επίσης και ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης. Σε αυτή την εργασία το ενδιαφέρον μας επικεντρώνεται στα δύο πρώτα συστήματα Alborz και Sistan.

Τα όρη Alborz έχουν δημιουργηθεί λόγω σύγκρουσης της Ευρασιατικής τεκτονικής πλάκας με την Αραβική πριν από 12 Ma όπου συνολικά έχουν μετακινηθεί 53 ± 3 km με ένα σύστημα ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης δημιουργώντας ανάστροφα ρήγματα και πτυχές. Οι τεκτονικές πλάκες που δημιουργήσαν το καθεστώς αυτό συνεχίζουν να δρουν με σχετική ταχύτητα κίνησης 2-5mm/yr που έδωσαν οι μετρήσεις με GPS (Σχήμα 3.1). Οι κινηματικές διαδικασίες των ρηγμάτων αυτών ευθύνονται για μεγάλους και καταστροφικούς σεισμούς σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπως την πρωτεύουσα της χώρας Τεχεράνη.

Τα όρη Sistan έχουν δημιουργηθεί από την αλληλεπίδραση του τεμάχους του Ιράν με το τέμαχος του Αφγανιστάν που είναι τμήματα της Ευρασιατικής πλάκας. Σύμφωνα με μετρήσεις που έγιναν με GPS οι δεξιόστροφες διατμητικές κινήσεις μεταξύ τέμαχος του Ιράν και του τέμαχος του Αφγανιστάν ισοδυναμούν με 16mm/yr. Ένα μοντέλο που βασίζεται σε μακροπρόθεσμες εκτιμήσεις του ρυθμού ανάπτυξης των ρηγμάτων οριζόντια μετατόπισης, που επικρατούν στην περιοχή, προτείνει ότι το σύγχρονο γεωδυναμικό καθεστώς ξεκίνησε πριν από 5 Ma με ρήγματα παράταξης τόσο στα δυτικά (~2mm/yr, ρήγμα Gowk-Nayband) και ανατολικά (~14mm/yr, ομάδα ρηγμάτων Sistan) οριοθετώντας το τέμαχος Lut.



(Εικόνα 3.1) Στο χάρτη αυτό φαίνονται τα ρήγματα της περιοχής από τη σύγκλιση της Αραβικής με την Ευρασιατική πλάκα και οι σχετικές ταχύτητες από τα GPS με γκρι και κόκκινο χρώμα [Meyer et al., 2007].

3.2.2 Αποτελέσματα προγράμματος

Για να μελετηθεί η περιοχή αυτή εισάγεται στο πρόγραμμα με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω στην ενότητα 2.1 τις δύο μεγάλες περιοχές έρευνας με συντεταγμένες :

1. 35° ως 40° γεωγραφικό πλάτος και 40° ως 55° γεωγραφικό μήκος
2. 25° ως 37° γεωγραφικό πλάτος και 56° ως 64° γεωγραφικό μήκος

Το ελάχιστο μέγεθος σεισμού που χρησιμοποιήθηκε από τον κατάλογο για την περιοχή αυτή είναι 6 Μ και με μέγιστο εστιακό βάθος 100km ελάχιστος χρόνος συσχέτισης εκατό μέρες και ελάχιστο χρόνο μεταξύ δύο γεγονότων στην ίδια περιοχή είναι τριακόσιες μέρες. Το πρόγραμμα έχει επιλεγεί να επαναλάβει την διαδικασία 100.000 φορές ώστε να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Με την λειτουργία του προγράμματος λοιπόν, το ζεύγος περιοχών που φαίνεται να έχει την καλύτερη δυνατή σεισμική συσχέτιση και παρουσιάζεται παρακάτω στο χάρτη της (εικόνας 3,2) έχει τις εξής συντεταγμένες:

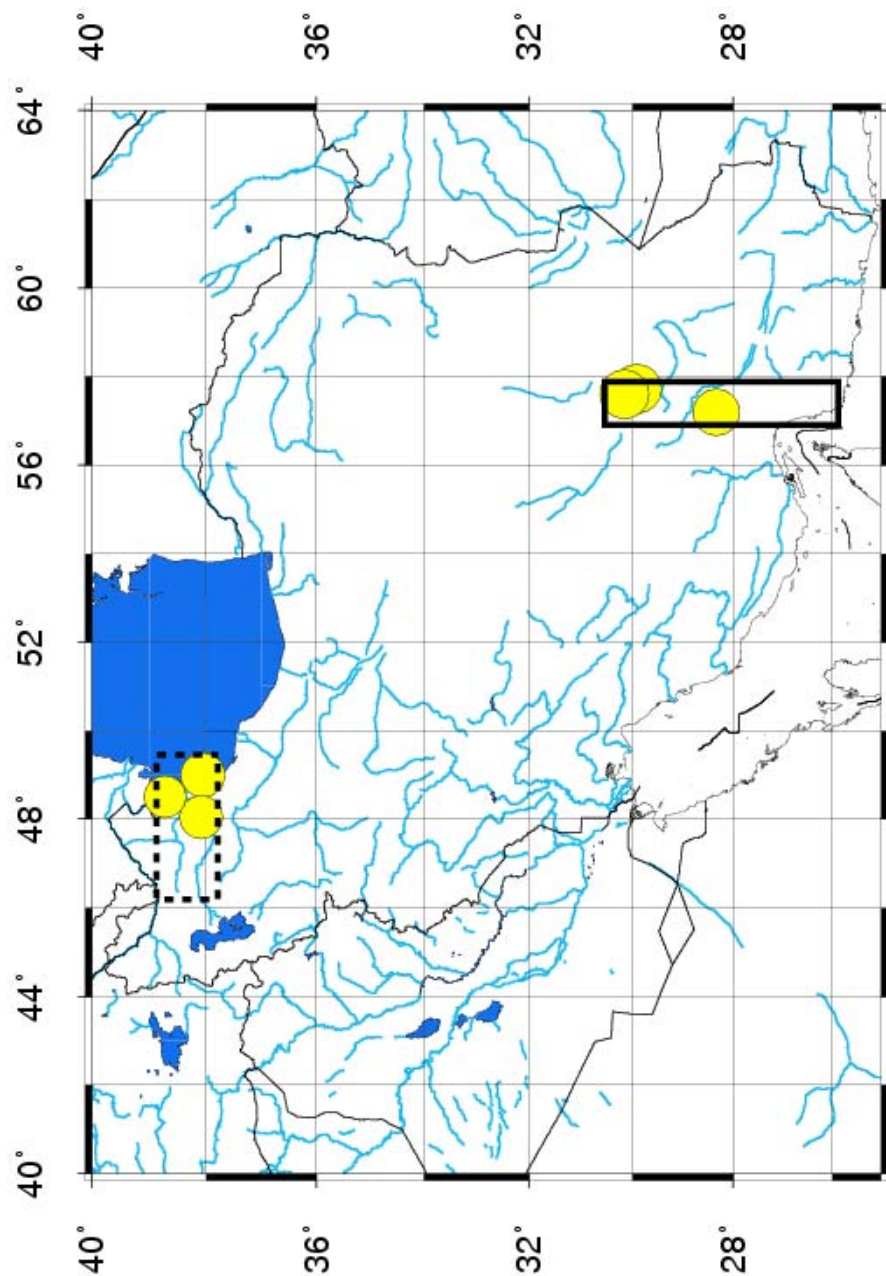
- 37.93518° ως 39.33125° γεωγραφικό πλάτος και 45.23773° ως 49.97571° γεωγραφικό μήκος, στην περιοχή αυτή λοιπόν έχουν συμβεί τα εξής σεισμικά γεγονότα:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1980	5	4	18	35	20	6.3	38.05	48.99	46
1997	6	11	7	24	25	6.1	38.08	48.05	10
1998	7	9	14	19	18	6.0	38.72	48.51	26

- 27.86176° ως 32.12814° γεωγραφικό πλάτος και 57.12598° ως 57.90276° γεωγραφικό μήκος στην περιοχή αυτή έχουν συμβεί τα εξής σεισμικά γεγονότα:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1981	6	11	7	24	25	6.9	29.91	57.72	33
1998	3	14	19	40	27	6.9	30.15	57.60	9
1990	3	4	5	38	26	6.6	28.34	57.19	33

Παρατηρείται λοιπόν ότι κατά μέσο όρο τριακόσιες εβδομήντα μέρες μετά από έναν ισχυρό σεισμό την πρώτη περιοχή ένας εξίσου ισχυρός σεισμός πλήττει την δεύτερη περιοχή. Το ποσοστό συσχέτισης των δύο αυτών περιοχών είναι 92,57%.



(Σχήμα 3.2)

Στον χάρτη αυτό φαίνονται οι δύο περιοχές, με την υψηλότερη συσχέτιση 92,57%, ως γραμμοσκιασμένα ορθογώνια, το ορθογώνιο με τις διακεκομμένες γραμμές είναι

η περιοχή 1 όπου έχουμε το πρώτο σεισμικό γεγονός ενώ η περιοχή 2 είναι αυτή με τη συνεχή γραμμή

3.2.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η Αραβική τεκτονική πλακά που συγκρούεται με το τέμαχος του Ιράν (που είναι τμήμα της Ευρασιατικής τεκτονικής πλάκας) και το ωθεί προς τα βόρεια με αποτέλεσμα το ίδιο το τέμαχος να έχει σχετική κίνηση προς τα βόρεια-βορειοανατολικά.

Η περιοχή 1 που προέκυψε από το πρόγραμμα αντιστοιχεί στο Δυτικό άκρο της περιοχής της οροσειράς Alborz με τα ανάστροφα ρήγματα ενώ η περιοχή 2 αντιστοιχεί στο Νότιο άκρο της περιοχής της οροσειράς Sistan με τα ρήματα οριζόντιας μετατόπισης όπως φαίνεται και στους χάρτες των Σχημάτων 3.1 και 3.2.

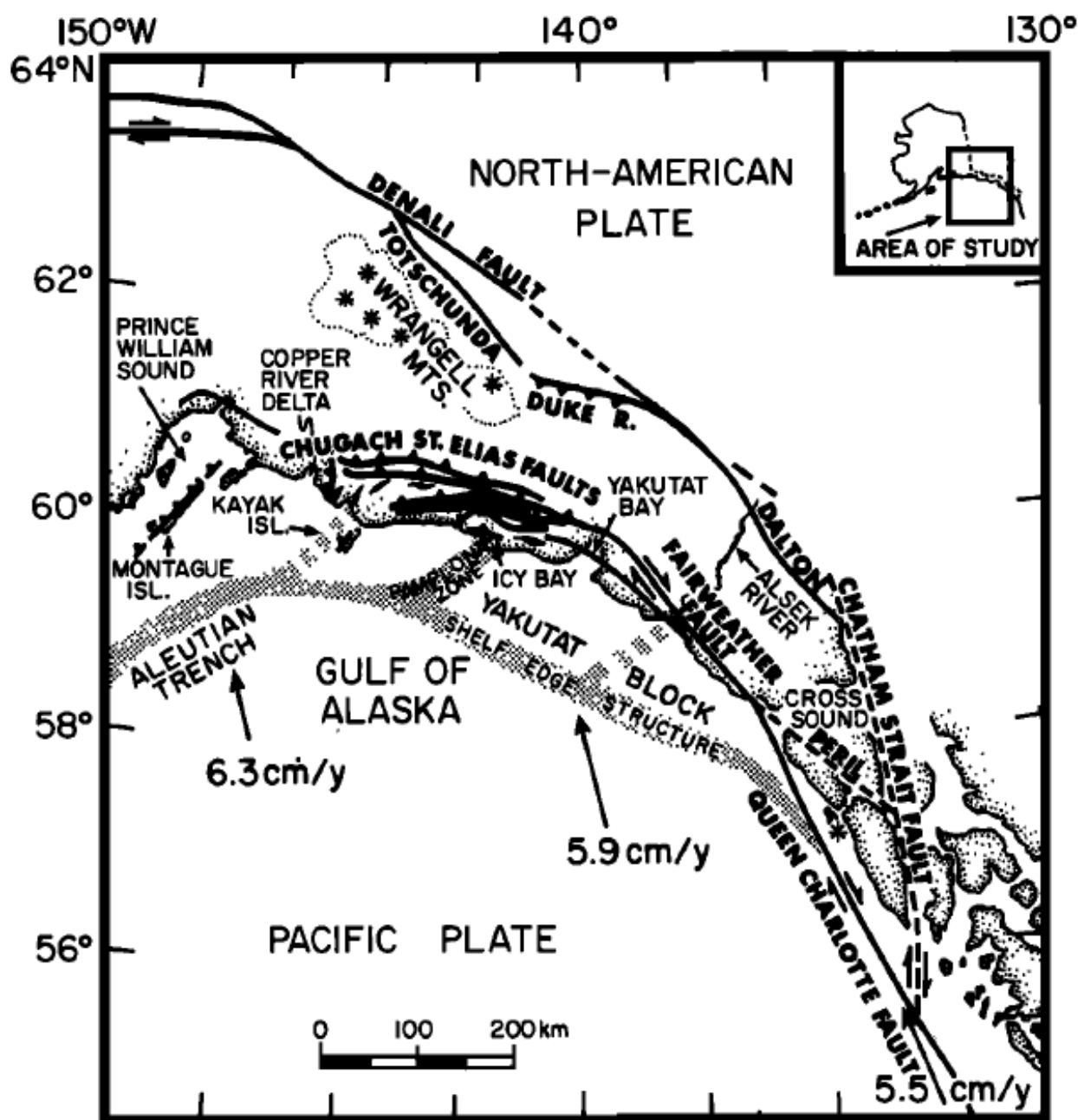
3.3 Κεντρική Αλάσκα με Βορειοδυτικές ακτές Καναδά

3.3.1 Γεωδυναμικά στοιχεία της περιοχής

Η περιοχή της Αλάσκα και της δυτικής ακτής της Βόρειας Αμερικής είναι η ζώνη που συγκλίνουν ο ωκεάνιος φλοιός της τεκτονικής πλάκας του Ειρηνικού ωκεανού με τον ηπειρωτικό φλοιό της πλάκας της Βόρειας Αμερικής. Ο κόλπος της Αλάσκα λοιπόν τεκτονικά είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα αλλά και πιο δυσνόητα τεκτονικά φαινόμενα του βόρειου Ειρηνικού. Φαίνεται ότι σε αυτή την περιοχή η σύγκλιση των πλακών συνοδεύεται μια ασυνήθιστη επέκταση του φλοιού και με μια ορογενετική δράση με όρη που φτάνουν σε ύψος τα 6 km και όχι με μια απλή ζώνη διείσδυσης.

Η σύγκλιση της πλάκας του Βόρειου Ειρηνικού με την Βόρεια Αμερική είναι συνεχόμενη τουλάχιστον από το Μειόκαινο και πιστεύεται ότι η ζώνη Benioff βρίσκεται σε βάθος περίπου 100 km και πως η σχετική κίνηση της πλάκας του Ειρηνικού είναι προς τα βορειοανατολικά με ταχύτητα περίπου 5.9mm/yr (Σχήμα 3.3). Παράλληλα με τις ακτές λοιπόν της Αλάσκα στο μικροτέμαχος γνωστό με την ονομασία Yakataga δρουν ανάστροφα ρήγματα είναι το σημείο βύθισης της πλάκας του Ειρηνικού κάτω από την Βόρεια Αμερική. Ενώ αντίθετα στο εσωτερικό της ζώνης αυτής δρουν κυρίως ρήγματα μετασχηματισμού. Και οι δύο αυτές ζώνες είναι υπεύθυνες για ισχυρούς σεισμούς όπως για παράδειγμα τον σεισμό της 27^{ης} Μαρτίου του 1964 με μέγεθος 9.2 M και διάρκεια περίπου ~240 sec ένας από τους ισχυρότερους σεισμούς παγκοσμίως.

Στη κεντρική περιοχή της Αλάσκα δρουν επίσης ρήγματα μετασχηματισμού παράλληλα με τις ακτές αλλά με μικρότερη δράση που τα τελευταία 80 χρόνια έχουν δώσει μερικούς ισχυρούς σεισμούς με μέγεθος ≥ 6 . Αυτή η χαμηλή σεισμικότητα οφείλεται στα μικρά επίπεδα ολίσθησης που παρατηρείται στα ρήγματα αυτά με μέγιστες ταχύτητες 2mm/yr και δράση κατά την διάρκεια του Τεταρτογενούς.



(Σχήμα 3.3) Στο χάρτη αυτό φαίνονται τα ρήγματα στην περιοχή της Αλάσκα και του Καναδά και το τέμαχος Yakutat που βυθίζεται κάτω από την Βόρεια Αμερική [Perez O. J. and Jacob K.H. 1980]

3.3.2 Αποτελέσματα προγράμματος

Με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2 εισάγονται τα δεδομένα και οι συντεταγμένες των δύο υπό μελέτη περιοχών στο πρόγραμμα οι οποίες είναι οι εξής:

1. 54° ως 67° γεωγραφικό πλάτος -160° ως -140° γεωγραφικό μήκος
2. 40° ως 62° γεωγραφικό πλάτος -138° ως -120° γεωγραφικό μήκος

Το ελάχιστο μέγεθος σεισμού που χρησιμοποιήθηκε από τον κατάλογο και για αυτήν την περιοχή είναι 6 M και με μέγιστο εστιακό βάθος 100km ελάχιστος χρόνος συσχέτισης εκατό μέρες και ελάχιστο χρόνο μεταξύ δύο γεγονότων στην ίδια περιοχή είναι τριακόσιες μέρες. Το πρόγραμμα έχει επιλεγεί να επαναλάβει την διαδικασία 100.000 φορές πάλι ώστε να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Με την λειτουργία του προγράμματος λοιπόν, το ζεύγος περιοχών που φαίνεται να έχει την καλύτερη δυνατή σεισμική συσχέτιση και παρουσιάζεται παρακάτω στο χάρτη της (Σχήμα 3.4) έχει τις εξής συντεταγμένες:

- 62° ως 65.10° γεωγραφικό πλάτος -147° ως -156° γεωγραφικό μήκος με τους εξής σεισμούς:

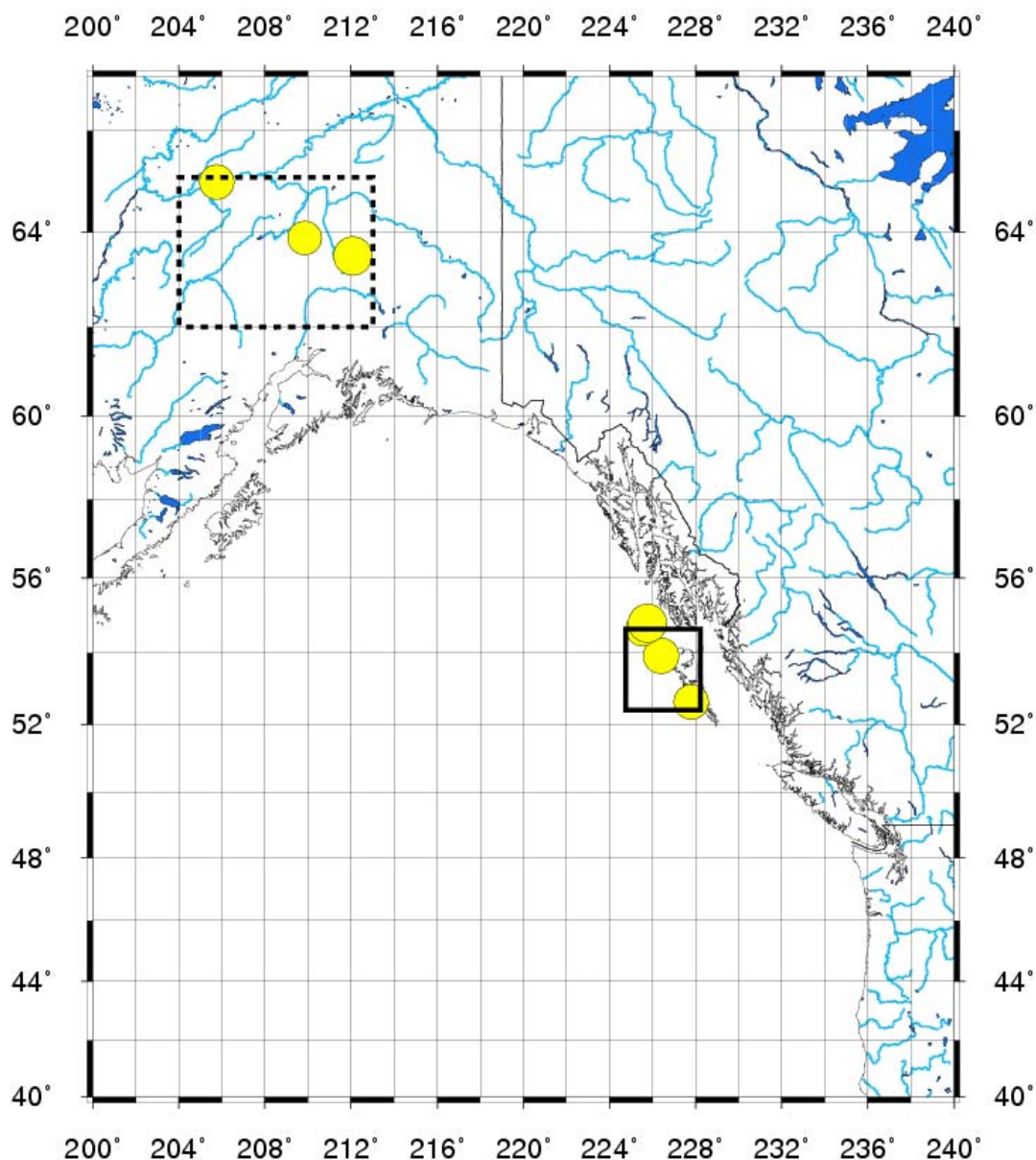
year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
2000	2	3	10	24	59	6.1	65.01	-154.24	7
2000	11	29	10	35	48	6.0	63.88	-150.15	22
2002	10	23	11	27	19	6.7	63.51	-147.91	4

- 52.40° ως 54.70° γεωγραφικό πλάτος -131.7865° ως -135.2530° γεωγραφικό μήκος με τους εξής σεισμούς:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
2001	2	17	20	11	30	6.2	53.92	-133.61	20
2001	10	12	5	2	34	6.1	52.63	-132.20	20

2003	7	12	23	1	38	6.0	54.65	-134.47	20
------	---	----	----	---	----	-----	-------	---------	----

Το ποσοστό συσχέτισης για τις δύο αυτές περιοχές είναι αρκετά υψηλό και αγγίζει το 99,13% με χρόνο συσχέτισης τριακόσιες μέρες, δηλαδή αφού γίνει σεισμός στην πρώτη περιοχή έχουμε τη γένεση ενός εξίσου ισχυρού σεισμού στην δεύτερη περιοχή μετά από τριακόσιες εξήντα μέρες.



(Σχήμα 3.4) Στον χάρτη αυτό φαίνονται οι δύο περιοχές, με την υψηλότερη συσχέτιση 99,13%, ως γραμμοσκιασμένα ορθογώνια, το ορθογώνιο με τις διακεκομμένες γραμμές είναι η περιοχή 1 όπου έχουμε το πρώτο σεισμικό γεγονός ενώ η περιοχή 2 είναι αυτή με τη συνεχή γραμμή

3.3.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Όπως γίνεται φανερό από τη μελέτη και των δύο χαρτών τα επίκεντρα των σεισμών των δύο περιοχών που φαίνεται να συσχετίζονται βρίσκονται πάνω σε ρήγματα μετασχηματισμού. Πιο αναλυτικά στην περιοχή 1 δρα το ρήγμα Denali (Σχήμα 3.3) που όπως προαναφέρθηκε πρόκειται για ρήγμα μετασχηματισμού με μέτρια σεισμική δράση και σχετική ταχύτητα κίνησης 2mm/yr. Στην περιοχή 2 δρα το ρήγμα Queen Charlotte (Σχήμα 3.3) το οποίο είναι κι αυτό ρήγμα μετασχηματισμού με μεγαλύτερη δράση απ' ότι το ρήγμα Denali με ταχύτητα 5.5mm/yr.

3.4 Κεντρική Ιταλία με τις Δαλματικές ακτές

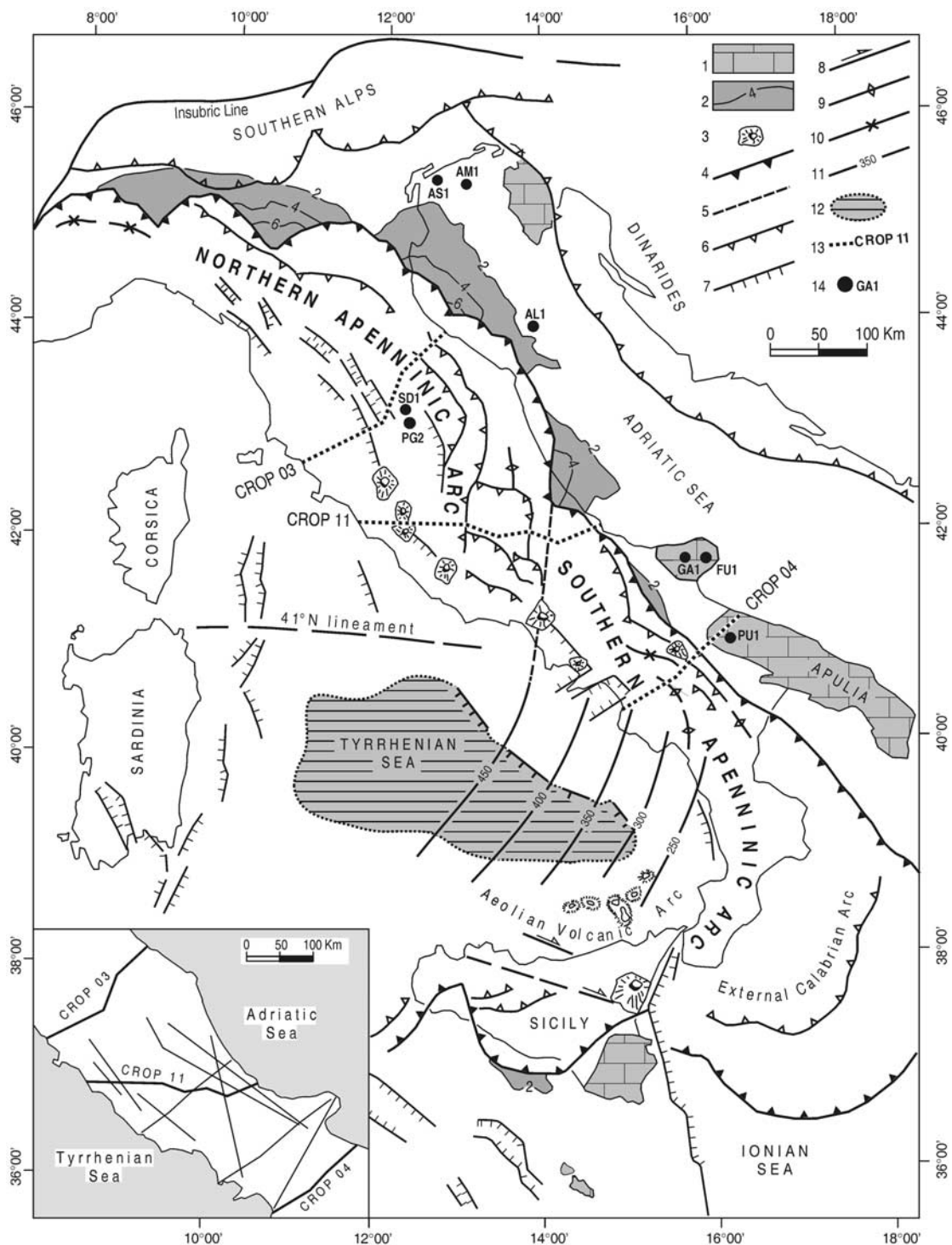
3.4.1 Γεωδυναμικά στοιχεία της περιοχής

Η επόμενη περιοχή μελέτης βρίσκεται στην ευρύτερη γειτονία της Ελλάδας και αφορά την Ιταλία και την περιοχή των Βαλκανίων.

Πιο αναλυτικά το Βόρειο τμήμα της Ιταλικής χερσονήσου χαρακτηρίζεται από εφελκύστηκες τάσεις κατά μήκος του άξονα της οροσειράς των Απένινων συνοδευόμενη από διείσδυση της πλάκας όπου το δυτικό τμήμα της χερσονήσου επωθείται πάνω στο ανατολικό (πάνω στην μικροπλάκα της Απούλια) δημιουργώντας έτσι ένα ανώμαλο ανάγλυφο όπου το δυτικό τμήμα της χερσονήσου ανυψώνεται και το ανατολικό βυθίζεται. Αυτές οι εφελκύστηκες και συμπιεστικές τάσεις ευθύνονται για μεγάλους σεισμούς από κανονικά ρήγματα με παράταξη Βορειοδυτικά-Νοτιοανατολικά. Στη μεριά των Βαλκανίων τώρα τα περισσότερα σεισμικά γεγονότα συμβαίνουν κατά μήκος των εξωτερικών Διναρίδων Όρεων τα οποία επιπέδουν την Απούλια μικροπλάκα η οποία είναι ουσιαστικά σαν μια σφήνα μεταξύ της Ιταλικής και Βαλκανικής χερσονήσου.

Τα παραπάνω αποτελούν μέρος του γενικότερου γεωδυναμικού καθεστώτος της Μεσογείου όπου η Αφρικανική τεκτονική πλάκα βυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική προκαλώντας την γνωστή Αλπική ορογένεση.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην περιοχή μελέτης επικρατούν τόσο εφελκύστηκες όσο και συμπιεστικές τάσεις και επομένως υπάρχουν και τα τρία είδη διαρρήξεων κανονικά ρήγματα ανάστροφα και οριζόντιας μετατόπισης όπως φαίνεται και στον χάρτη της εικόνας 3.5. Ρήγματα τα οποία γεννούν σεισμούς μεγέθη όχι μεγαλύτερα του 7 Μ οι οποίοι όμως είναι αρκετά καταστροφικοί όπως ο πιο πρόσφατος σεισμός στην περιοχή που έγινε στις 6-4-2009 στην περιοχή της L' Aquila με μέγεθος 6.3 που άφησε πίσω του 308 νεκρούς και ισοπέδωσε ουσιαστικά το μεγαλύτερο μέρος της πόλης.



(Σχήμα 3.5) Στο χάρτη αυτό φαίνεται η τεκτονική δομή της χερσονήσου της Ιταλίας τα σύμβολα επάνω δεξιά είναι: 1 προ Πλειοκαινική ηφαιστιότητα 2 ισοβαθύς σε km της βάσης του Πλειο-Πλειστοκαίνου 3 Τεταρτογενής ηφαιστιότητα 4 εφίπευση 5 όριο μεταξύ Βόρειου τεμάχους και Νότιου 6 επώθηση 7 κανονικά ρήγματα 8 ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης 9 άξονας αντίκλινου 10 άξονας σύγκλινου 11 ζώνη Benioff 12 τάφρος Τυρινίας θάλασσας 13 προφίλ crop 14 σημεία αναφοράς. [Patacca et.al. 2008]

3.4.2 Αποτελέσματα προγράμματος

Επιλέγοντας στο πρόγραμμα τις περιοχές μελέτης με τον τρόπο που αναφέραμε παραπάνω οι οποίες είναι οι εξής δύο:

1. 37° ως 49° γεωγραφικό πλάτος και 10° ως 15° γεωγραφικό μήκος
2. 42° ως 49° γεωγραφικό πλάτος και 15° ως 20° γεωγραφικό μήκος

Το ελάχιστο μέγεθος σεισμού που χρησιμοποιήθηκε από τον κατάλογο και για αυτήν την περιοχή είναι 5 M και με μέγιστο εστιακό βάθος 100km ελάχιστος χρόνος συσχέτισης εκατό μέρες και ελάχιστο χρόνο μεταξύ δύο γεγονότων στην ίδια περιοχή είναι τριακόσιες μέρες. Το πρόγραμμα έχει επιλεγεί να επαναλάβει την διαδικασία 100.000 φορές πάλι ώστε να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Με την λειτουργία του προγράμματος λοιπόν, το ζεύγος περιοχών που φαίνεται να έχει την καλύτερη δυνατή σεισμική συσχέτιση και παρουσιάζεται παρακάτω στο χάρτη της (εικόνας 3,6) έχει τις εξής συντεταγμένες:

- 40.71777° ως 45.36504° γεωγραφικό πλάτος και 13.20175° ως 14.14392° γεωγραφικό μήκος με τους εξής σεισμούς:

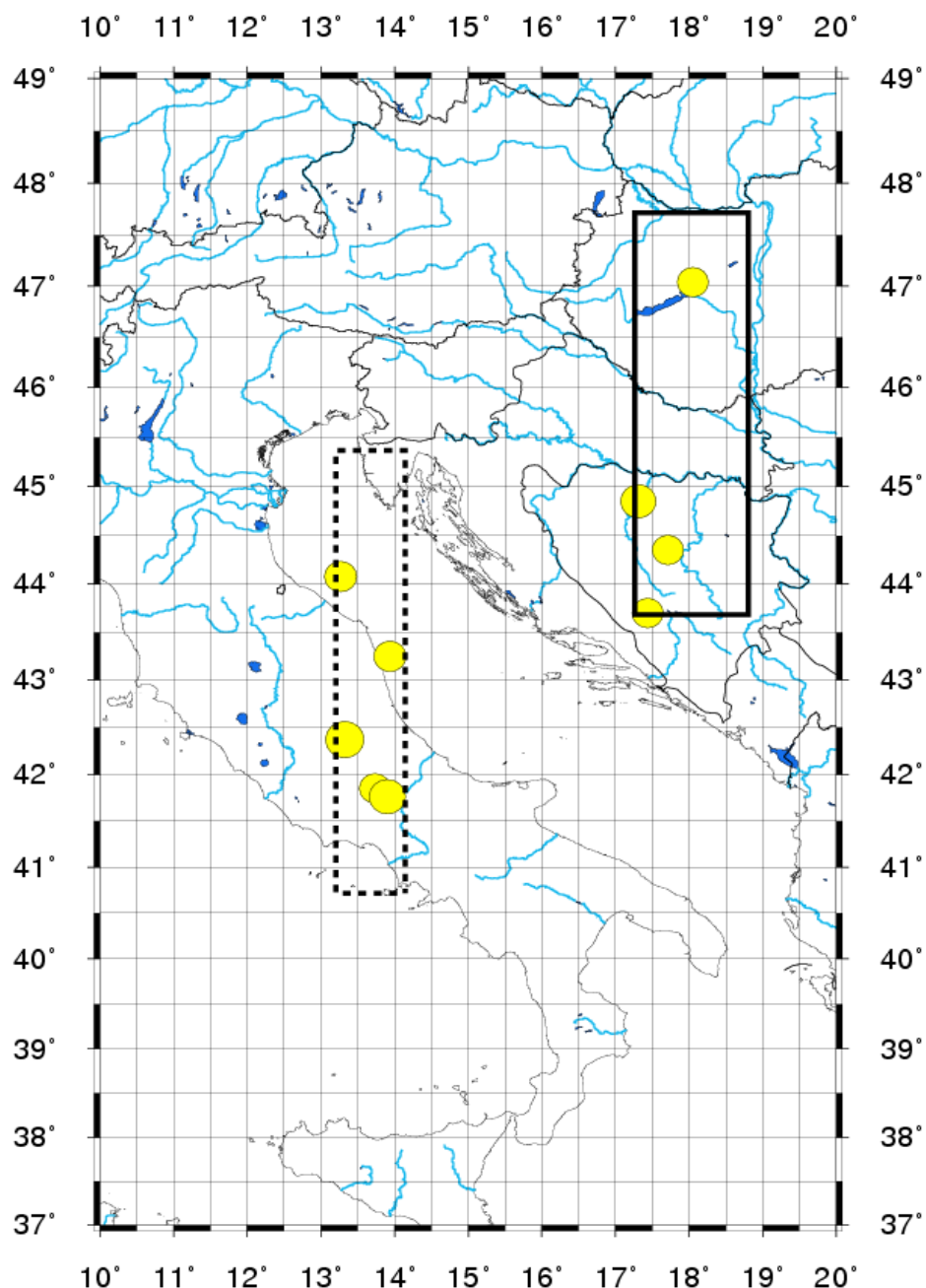
year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1973	7	3	16	10	12	5.3	44.08	13.27	47
1980	6	14	20	56	50	5.0	41.85	13.73	8
1984	5	7	17	49	41	6.0	41.76	13.90	10
1987	7	3	10	21	57	5.3	43.25	13.94	12
2009	4	6	1	32	41	6.3	42.37	13.32	2

- 43.68549° ως 47.71796° γεωγραφικό πλάτος και 17.263260° ως 18.805930° γεωγραφικό μήκος με τους εξής σεισμούς:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1974	6	20	9	28	33	5.1	44.35	17.71	33
1981	8	13	2	58	11	5.8	44.85	17.31	15
1985	8	15	4	28	46	5.0	47.04	18.05	10

1988	8	23	17	38	47	5.0	43.70	17.44	10
------	---	----	----	----	----	-----	-------	-------	----

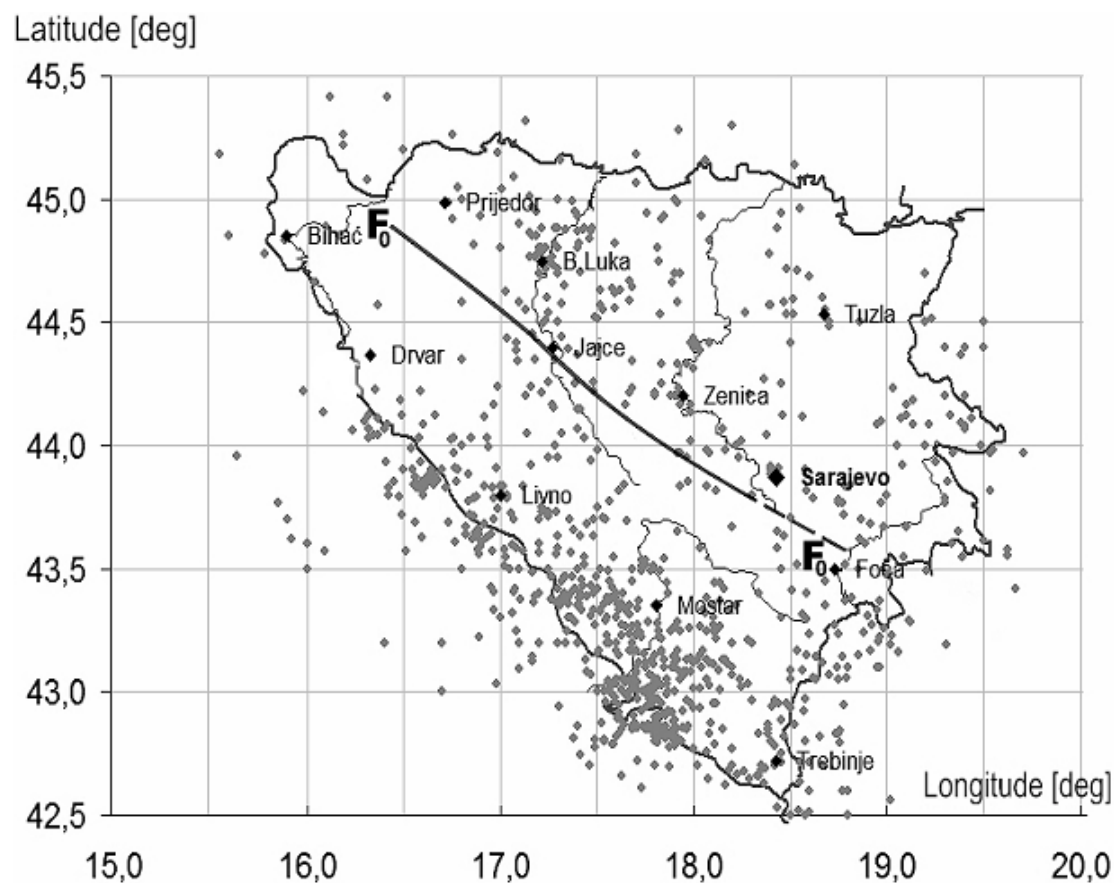
Το ποσοστό συσχέτισης για τις δύο αυτές περιοχές είναι αρκετά μεγάλο και αγκίζει το 98,01% με μέσο χρόνο συσχέτισης τις τετρακόσες είκοσι μέρες.



(Σχήμα 3.6) Στον χάρτη αυτό φαίνονται οι δύο περιοχές, με την υψηλότερη συσχέτιση 98,01%, ως γραμμοσκιασμένα ορθογώνια, το ορθογώνιο με τις διακεκομμένες γραμμές είναι η περιοχή 1 όπου έχουμε το πρώτο σεισμικό γεγονός ενώ η περιοχή 2 είναι αυτή με τη συνεχή γραμμή

3.4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Παρατηρούμε ότι οι σεισμοί στην περιοχή 2 των Βαλκανίων συγκεντρώνονται στην περιοχή της Βοσνίας Ερζεγοβίνης γύρο από ένα μεγάλο σε μήκος χορογραφημένο ρήγμα όπως φαίνεται στην Σχήμα 3,7 ενώ στην περιοχή 1 της Ιταλίας συγκεντρώνονται τόσο στον άξονα της οροσειράς των Απένινων όσο και κατά μήκος των ακτών της Αδριατικής.



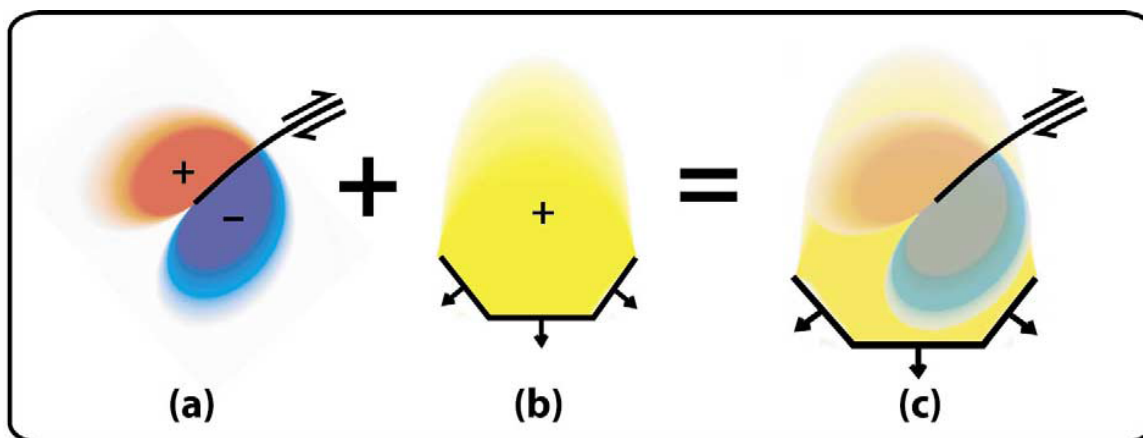
(Σχήμα 3.7) Στο χάρτη φαίνονται η κατανομή των επικέντρων των σεισμών με μέγεθος 2.7 M και το ρήγμα F₀-F₀[Omerbashich M. and Sijaric G. 2006]

3.5 Πελοπόννησος με Βόρεια Τουρκία

3.5.1 Γεωδυναμικά στοιχεία της περιοχής

Η επόμενη περιοχή μελέτης που παρουσιάζεται είναι η περιοχή του Αιγαίου και της Τουρκίας. Στην περιοχή του Αιγαίου και του Ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας δρουν δύο διαφορετικοί μηχανισμοί κίνησης (Εικόνα 3.8):

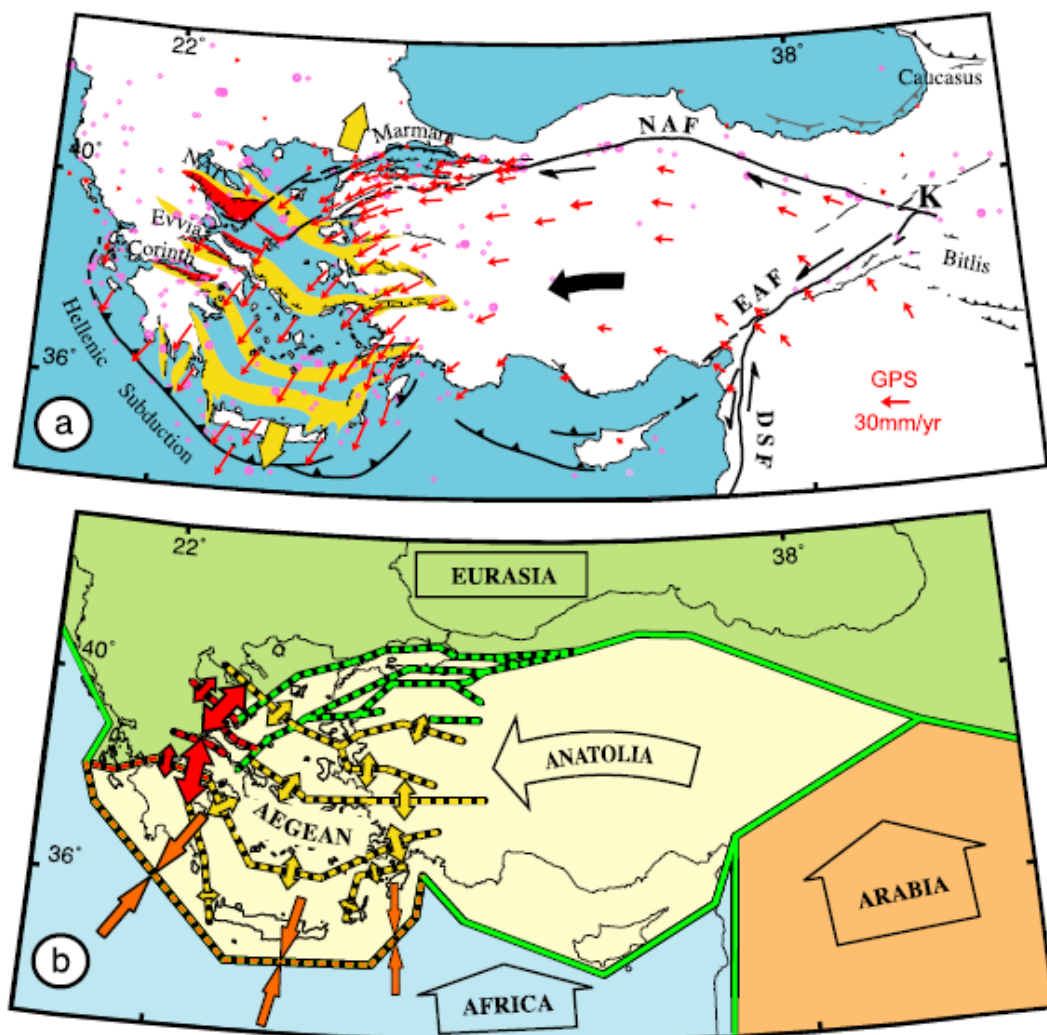
1. Το ρήγμα της Ανατολίας είναι οριζόντιας μετατόπισης δεξιόστροφο ρήγμα με μήκος 1600 km και έχει δώσει πολλούς μεγάλους καταστροφικούς και φονικούς σεισμούς (καθώς περίπου είκοσι εκατομμύρια άνθρωποι ζουν γύρω από την περιοχή του ρήγματος) τον τελευταίο αιώνα. Επομένως έχουμε εφελκυσμό στο βορειοδυτικό τμήμα δηλαδή στο βόρειο Αιγαίο και στην κεντρική Ελλάδα και συμπίεση στο νοτιοδυτικό τμήμα δηλαδή στο νότιο Αιγαίο (Σχήμα 3.8a).



(Σχήμα 3.8) α)Εφελκυστικές(+) και συμπιεστικές(-) τάσεις λόγω δράσης ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης β)Εφελκυστικές (+) τάσεις λόγω της ζώνης σύγκλισης δύο πλακών γ)Αποτέλεσμα συμβολής και των δυο αυτών μηχανισμών. (Armijo et al., 2003)

2. Λόγω της σύγκλισης της Ευρασιατικής με την Αφρικανική πλάκα παρατηρούμε εφελκυστικές τάσεις στην περιοχή πίσω από το τόξο σύγκλισης (σχήμα 3.8b).

Το αποτέλεσμα που παίρνουμε από τη συμβολή των δυο διαφορετικών κινήσεων και τάσεων είναι να παρατηρούνται εφελκυστηκές τάσεις σε όλη την περιοχή του Αιγαίου (Σχήμα 3.8c&3.9) ενώ οι αναμενόμενες θα ήταν συμπιεστικές στο νότιο Αιγαίο αν είχαμε μόνο την δράση του ρήγματος της Ανατολίας NAF. Οι εφελκυστηκές τάσεις είναι μεγαλύτερες στην περιοχή της κεντρικής Ελλάδας (Σχήμα 3.9b κόκκινα βέλοι), ενώ στην περιοχή του νοτίου Αιγαίου οι εφελκυστηκές τάσεις είναι μικρότερες (Σχήμα 3.9b κίτρινα βέλοι) λόγω της ύπαρξης των συμπιεστικών τάσεων που είναι αντίθετες. Επομένως οι εφελκυστηκές υπερνικούν τις συμπιεστικές τάσεις αλλά έχουν μικρότερες τιμές απ' ότι στην κεντρική Ελλάδα που δρουν μόνο εφελκυστηκές τάσεις.



(Σχήμα 3.9) α) Δράση ρήγματος NAF & ζώνη σύγκλισης Ευρασίας-Αφρικής β) Έντονες εφελκυστικές τάσεις στην κεντρική Ελλάδα και μικρότερης κλίμακας στην περιοχή του Αιγαίου. (Flerit et al., 2004)

3.5.2 Αποτελέσματα προγράμματος

Επιλέγοντας στο πρόγραμμα τις περιοχές μελέτης με τον τρόπο που αναφέραμε παραπάνω οι οποίες είναι οι εξής δύο:

1. 34° ως 42° γεωγραφικό πλάτος και 19° ως 26° γεωγραφικό μήκος
2. 34° ως 42° γεωγραφικό πλάτος και 26° ως 35° γεωγραφικό μήκος

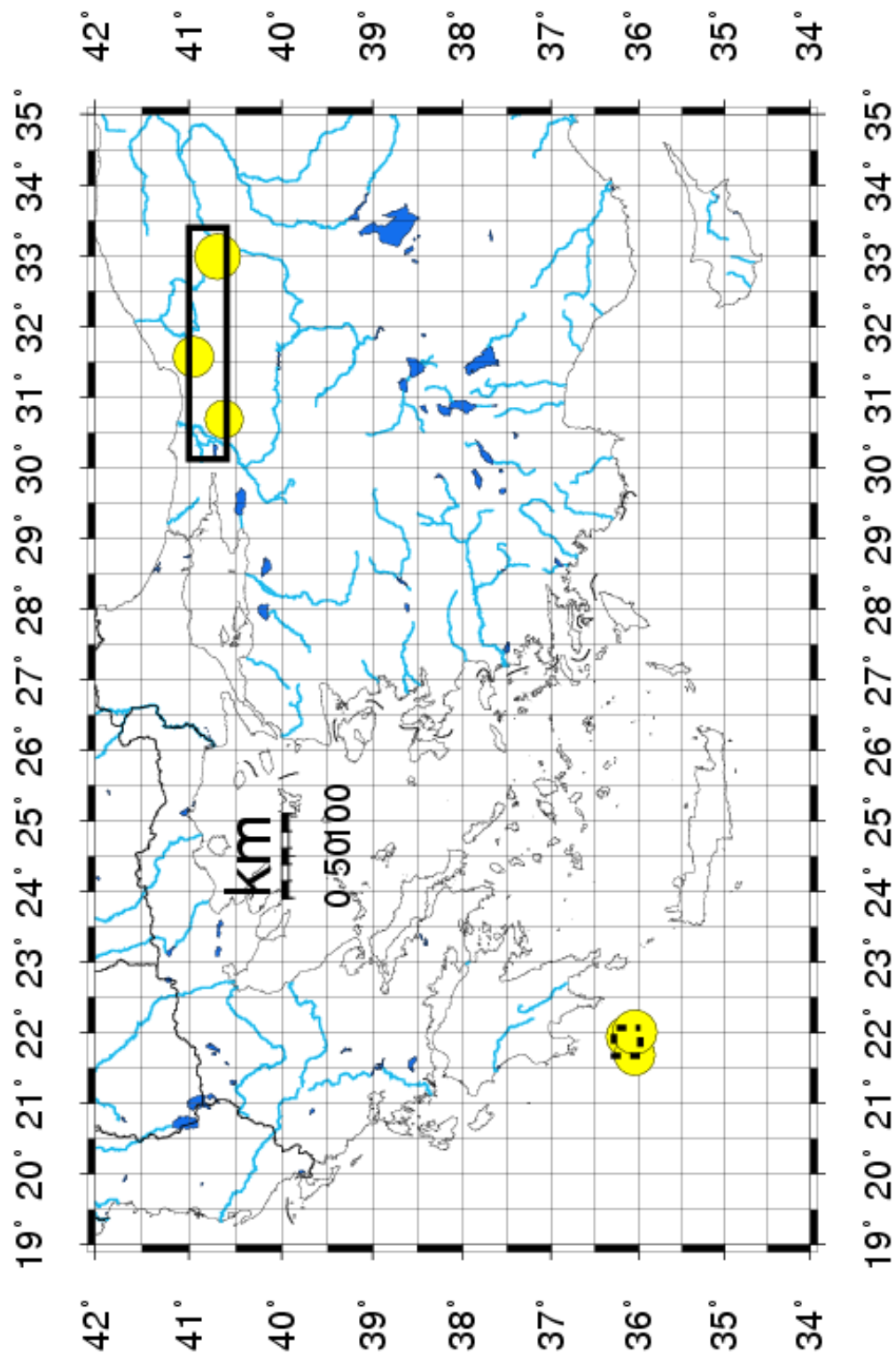
Το ελάχιστο μέγεθος σεισμού που χρησιμοποιήθηκε από τον κατάλογο και για αυτήν την περιοχή είναι και πάλι 5 M και με μέγιστο εστιακό βάθος 100km ελάχιστος χρόνος συσχέτισης εκατό μέρες και ελάχιστο χρόνο μεταξύ δύο γεγονότων στην ίδια περιοχή είναι τριακόσιες μέρες. Το πρόγραμμα έχει επιλεγεί να επαναλάβει την διαδικασία 100.000 φορές πάλι ώστε να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Με την λειτουργία του προγράμματος λοιπόν, το ζεύγος περιοχών που φαίνεται να έχει την καλύτερη δυνατή σεισμική συσχέτιση και παρουσιάζεται παρακάτω στο χάρτη της (Σχήμα 3,6) έχει τις εξής συντεταγμένες:

- 35.97559° ως 36.28267° γεωγραφικό πλάτος και 21.67659° ως 22.06724° γεωγραφικό μήκος, στην περιοχή αυτή λοιπόν έχουν συμβεί τα εξής σεισμικά γεγονότα:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1998	4	29	3	30	39	5.5	36.14	21.94	33
1999	4	17	8	17	58	5.4	36.04	21.68	40
2000	5	24	5	40	37	5.9	36.04	22.01	33

- 40.596° ως 41° γεωγραφικό πλάτος και 30.1256° ως 33.4° γεωγραφικό μήκος, σε αυτήν τη 2^η περιοχή λοιπόν έχουν συμβεί τα εξής σεισμικά γεγονότα:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1999	8	17	3	14	00	5.1	40.62	30.69	10
2000	6	6	2	41	49	6.1	40.69	32.99	10
2001	8	26	0	41	13	5.4	40.95	31.57	7



(Σχήμα 3.10) Στον χάρτη αυτό φαίνονται οι δύο περιοχές, με την υψηλότερη συσχέτιση 99,73%, ως γραμμοσκιασμένα ορθογώνια, το ορθογώνιο με τις διακεκομμένες γραμμές είναι η περιοχή 1 όπου έχουμε το πρώτο σεισμικό γεγονός ενώ η περιοχή 2 είναι αυτή με τη συνεχή γραμμή

Το ποσοστό συσχέτισης των δύο αυτών περιοχών είναι αρκετά υψηλό και φτάνει το 99,73% με μέσο χρόνο συσχέτισης τις τετρακόσιες εξήντα μέρες και γίνεται φανερό από την λίστα των σεισμών ότι τυγχάνει να συμβούν δύο σεισμικά γεγονότα στην περιοχή 1 χωρίς να έχει συμβεί το αντίστοιχο στην περιοχή 2 γιατί έχει μεγάλο χρόνο συσχέτισης .

3.5.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

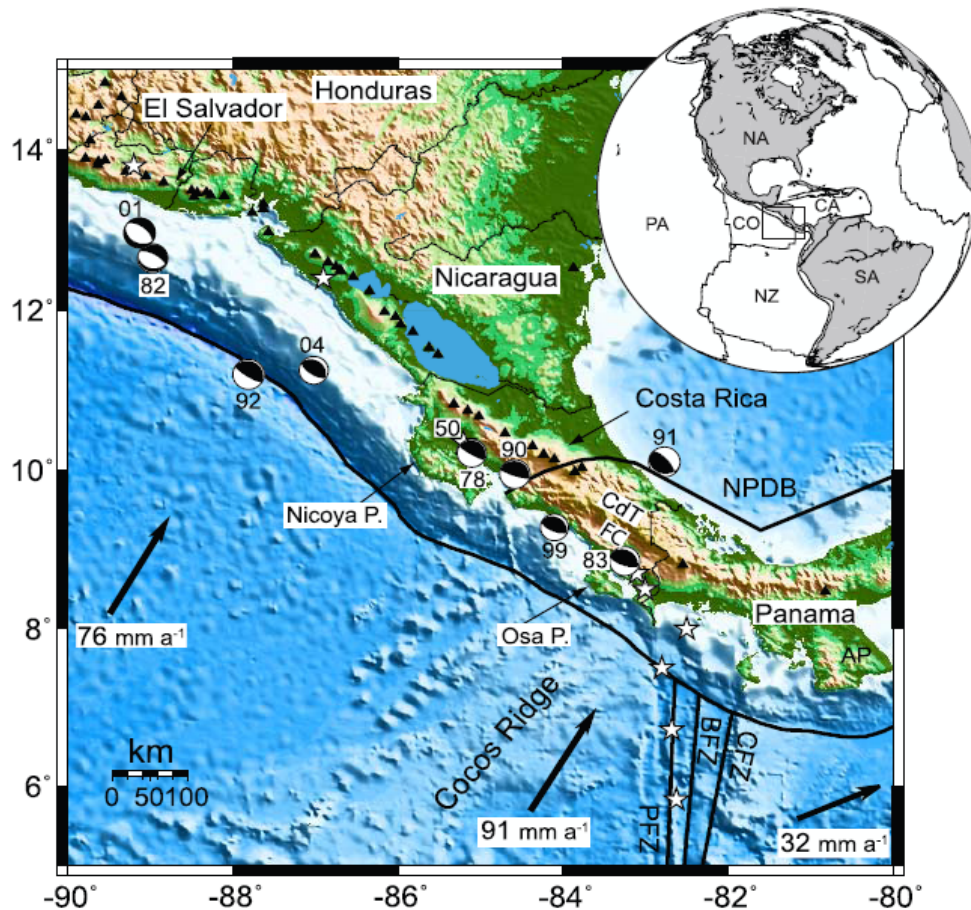
Όπως γίνεται φανερό από το χάρτη του Σχήματος 3.10 η περιοχή 1 βρίσκεται νότια της Πελοποννήσου κατά μήκος της ζώνης βύθισης της Αφρικανικής τεκτονικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική (Σχήμα 3.9) τα ρήγματα της περιοχής είναι κατά κύριο λόγο ανάστροφα ρήγματα και παρατηρούνται συμπιεστικές τάσεις. Ενώ η περιοχή 2 βρίσκεται στα Βόρεια παράλια της Τουρκίας με τη Μαύρη θάλασσα όπου δρα το ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας (NAF) πού όπως αναφέρθηκε είναι ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης και ευθύνεται για τις συμπιεστικές δυνάμεις που ασκούνται στην περιοχή του Αιγαίου (Σχήμα 3.8).

3.6 Κεντρική Αμερική- Καραϊβική

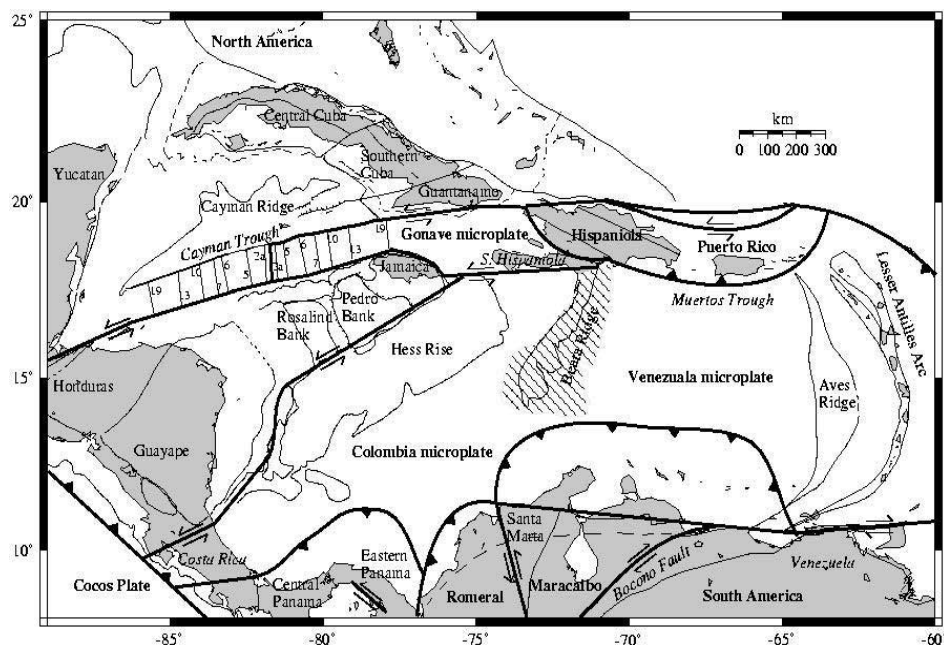
3.6.1 Γεωδυναμικά στοιχεία της περιοχής

Η περιοχή της Κεντρικής Αμερικής και της καραϊβικής απαρτίζεται από πέντε τεκτονικές πλάκες: της Βόρειας Αμερικής, της Νότιας Αμερικής, της Καραϊβικής, του Νάζκα και της πλάκας Κόκο η οποία βυθίζεται κάτω από την πλάκα της Καραϊβικής πτυχώνοντας και ανυψώνοντας την πλάκα της Καραϊβικής στη ζώνη σύγκλισης δημιουργώντας έτσι την Χερσόνησο που ενώνει την Βόρεια με την Νότια Αμερική και με τη ζώνη Benioff να εκτείνεται κάτω από τη Νικαράγουα και την Κόστα Ρίκα. Τα ρήγματα της περιοχής είναι ανάστροφα, όπως προκύπτει και από τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών της περιοχής(σχήμα 3.11) λόγω των συμπιεστικών τάσεων που επικρατούν στην περιοχή.

Ενώ στην τεκτονική πλάκα της Καραϊβικής, εκτός από τα ανάστροφα ρήγματα στη ζώνη σύγκλισης με την πλάκα Κόκο που αναφέρθηκαν παραπάνω, το Βόρειο και Νότιο τμήμα της πλάκας οριοθετούνται από ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, αριστερόστροφα στο Βόρειο και δεξιόστροφα στο Νότιο. Στο Νότιο τμήμα επίσης υπάρχουν και ανάστροφα ρήγματα λόγω της βύθισης της πλάκας της Καραϊβικής κάτω από την πλάκα της Νότιας Αμερικής.



(Σχήμα 3.11) Στο χάρτη αυτό φαίνεται η ζώνη σύγκλισης και οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών που δηλώνουν την δράση συμπιεστικών τάσεων και ανάστροφον ρηγμάτων (LaFemina et al. 2009)



(Σχήμα 3.12) Τεκτονική πλάκα Καραϊβικής όπου φαίνονται τα ανάστροφα ρήγματα λόγω σύγκλισης με την πλάκα Κόκο και την πλάκα της νότιας Αμερικής και τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης στο βόρειο και νότιο τμήμα [Jackson et al. 2002]

3.6.2 Αποτελέσματα προγράμματος

Οι δύο περιοχές της μελέτης για εύρεση συσχέτισης με τη χρήση του προγράμματος ήταν στην περιοχή της κεντρικής Αμερικής και της Καραϊβικής είναι οι εξής:

1. 5° ως 20° γεωγραφικό πλάτος και -100° ως -80° γεωγραφικό μήκος
2. 10° ως 25° γεωγραφικό πλάτος και -79° ως -57° γεωγραφικό μήκος

Το ελάχιστο μέγεθος σεισμού που χρησιμοποιήθηκε από τον κατάλογο και για αυτήν τις περιοχές αυτές είναι και πάλι 6 M και με μέγιστο εστιακό βάθος 100km ελάχιστος χρόνος συσχέτισης εκατό μέρες και ελάχιστο χρόνο μεταξύ δύο γεγονότων στην ίδια περιοχή είναι τριακόσιες μέρες. Το πρόγραμμα έχει επιλεγεί να επαναλάβει την διαδικασία 100.000 φορές πάλι ώστε να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Με την λειτουργία του προγράμματος λοιπόν, το ζεύγος περιοχών που φαίνεται να έχει την καλύτερη δυνατή σεισμική συσχέτιση και παρουσιάζεται παρακάτω στο χάρτη της (εικόνας 3,13) έχει τις εξής συντεταγμένες:

- 12.3416° ως 14.4271° γεωγραφικό πλάτος και -87.4792° ως -83.4221° γεωγραφικό μήκος, στην περιοχή αυτή λοιπόν έχουν συμβεί τα εξής σεισμικά γεγονότα:

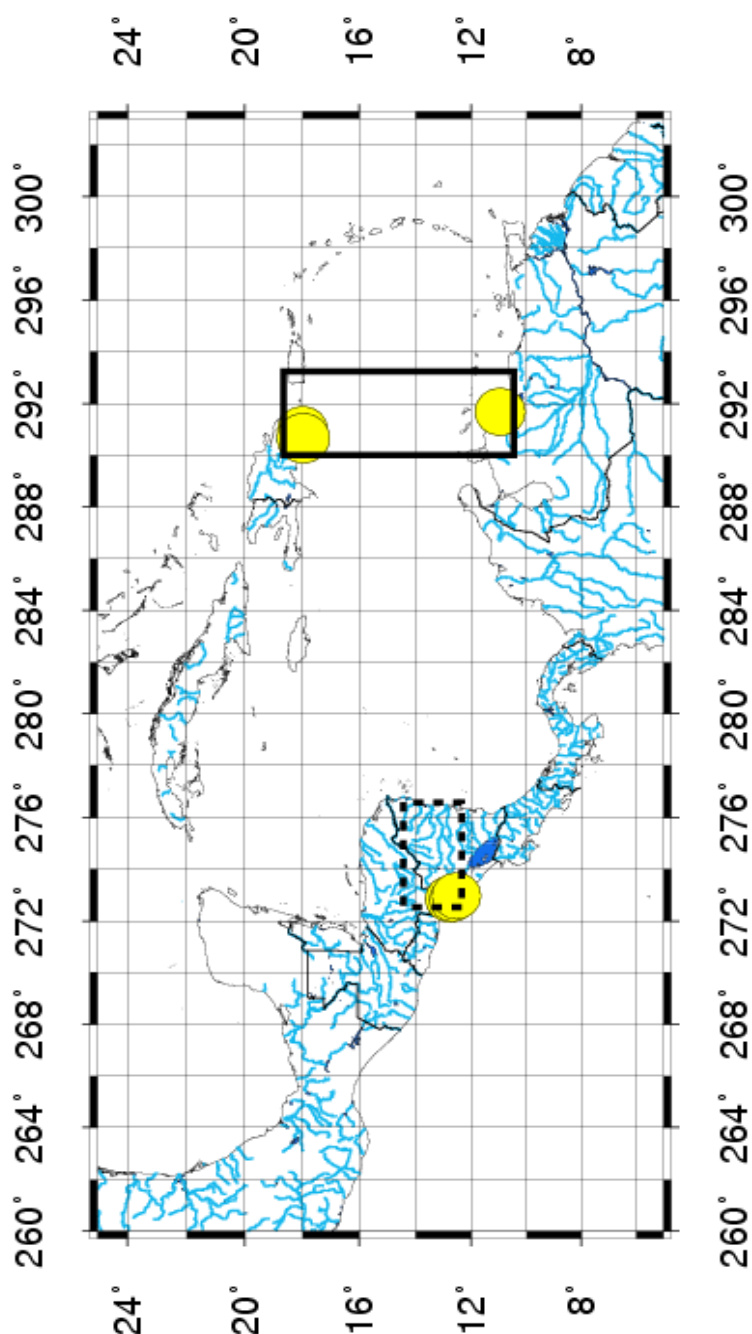
year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1978	5	31	1	7	22	6.3	12.77	-87.16	76
1983	7	18	12	52	43	6.0	12.67	-87.18	86
1987	11	17	3	40	8	6.2	12.53	-87.03	76

- 10.4383° ως 18.6532° γεωγραφικό πλάτος και -70.0° ως -68.0° γεωγραφικό μήκος, σε αυτήν τη 2^η περιοχή λοιπόν έχουν συμβεί τα εξής σεισμικά γεγονότα:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1979	3	23	19	32	31	6.4	17.99	-69.04	80
1984	6	24	11	17	11	6.7	17.98	-69.34	23

1989	4	30	8	22	54	6.4	10.96	-68.32	20
------	---	----	---	----	----	-----	-------	--------	----

Το ποσοστό συσχέτισης των δύο αυτών περιοχών είναι 93,42% με μέσο χρόνο συσχέτισης τις τετρακόσιες μέρες.

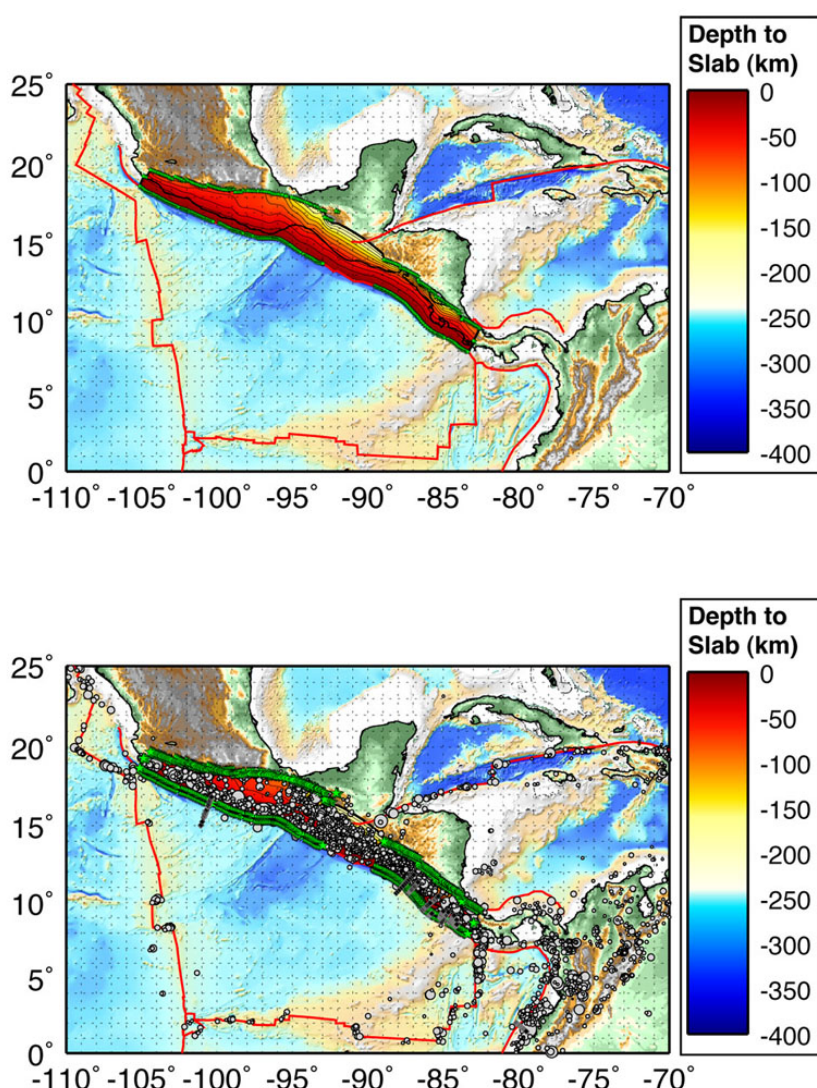


(Σχήμα 3.13) Στον χάρτη αυτό φαίνονται οι δύο περιοχές, με την υψηλότερη συσχέτιση 93,42%, ως γραμμοσκιασμένα ορθογώνια, το ορθογώνιο με τις διακεκομμένες γραμμές είναι η περιοχή 1 όπου έχουμε το πρώτο σεισμικό γεγονός ενώ η περιοχή 2 είναι αυτή με τη συνεχή γραμμή

3.6.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Όπως γίνεται φανερό από το χάρτη του Σχήματος 3.13 η περιοχή 1 βρίσκεται πάνω από τη ζώνη Benioff (Σχήμα 3.14), από την βύθιση της πλάκας Κόκο κάτω από την πλάκα της Καραϊβικής, και έτσι εξηγείται και το μεγάλο εστιακό βάθος $> 60\text{km}$ των σεισμών της περιοχής.

Η περιοχή 2 κατά το ήμισυ βρίσκεται πάνω στα δεξιόστροφα ρήγματα του βόρειου τμήματος της πλάκας της Καραϊβικής ενώ η υπόλοιπη περιοχή βρίσκεται στα αριστερόστροφα ρήγματα του νότιου τμήματος, η περιοχή 2 ουσιαστικά ενώνει το βόρειο και νότιο άκρο της πλάκας της Καραϊβικής.



(Σχήμα 3.14) α) Ζώνη Benioff της πλάκας Κόκο κάτω από την Καραϊβική με διαβάθμιση βάθους. β) κατανομή των επικέντρων των σεισμών κατά μήκος της ζώνης Benioff. [USGS]

3.7 Περιοχές με μικρότερο ποσοστό συσχέτισης

Παρόλο που το ελάχιστο επιθυμητό ποσοστό συσχέτισης για την εργασία αυτή είναι το 90% στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται δύο ζεύγη περιοχών με ποσοστό συσχέτισης που κυμαίνεται μεταξύ ~84-85% και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον κυρίως λόγω της γεωτεκτονικής τους θέσης.

3.7.1 Κίνα- Κιργιστάν

Η περιοχή της Κίνας είναι μία από τις πιο ενεργές σεισμικά περιοχές στον πλανήτη και αυτό λόγω της σύγκρουσης του ηπειρωτικού φλοιού της τεκτονικής πλάκας της Ινδίας με τον ηπειρωτικό φλοιό της Ευρασιατικής, δημιουργώντας την υψηλότερη οροσειρά στον κόσμο τα Ιμαλάια, μέρος της Αλπικής ορογένεσης. Από την σύγκλιση των δύο πλακών και την βίαιη ανύψωση του φλοιού έχουν δημιουργηθεί τρεις ζώνες δράσης παράλληλες μεταξύ τους η πρώτη βρίσκεται στα σύνορα Κίνας-Νεπάλ-Ινδίας η δεύτερη στην κεντρική Κίνα και η Τρίτη στα σύνορα με το Κιργιστάν και την Μογγολία. Οι δύο περιοχές που επιλέχθηκαν για μελέτη ήταν οι εξής:

1. 36° ως 50° γεωγραφικό πλάτος και 60° ως 100° γεωγραφικό μήκος
2. 20° ως 35° γεωγραφικό πλάτος και 60° ως 100° γεωγραφικό μήκος

Το ελάχιστο μέγεθος σεισμού που χρησιμοποιήθηκε από τον κατάλογο και για αυτήν τις περιοχές αυτές είναι και πάλι 6 Μ και με μέγιστο εστιακό βάθος 100km ελάχιστος χρόνος συσχέτισης εκατό μέρες και ελάχιστο χρόνο μεταξύ δύο γεγονότων στην ίδια περιοχή είναι τριακόσιες μέρες. Το πρόγραμμα έχει επιλεγεί να επαναλάβει την διαδικασία 100.000 φορές πάλι ώστε να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Με την λειτουργία του προγράμματος λοιπόν, το ζεύγος περιοχών που φαίνεται να έχει την καλύτερη δυνατή σεισμική συσχέτιση και παρουσιάζεται παρακάτω στο χάρτη της (εικόνας 3,15) έχει τις εξής συντεταγμένες:

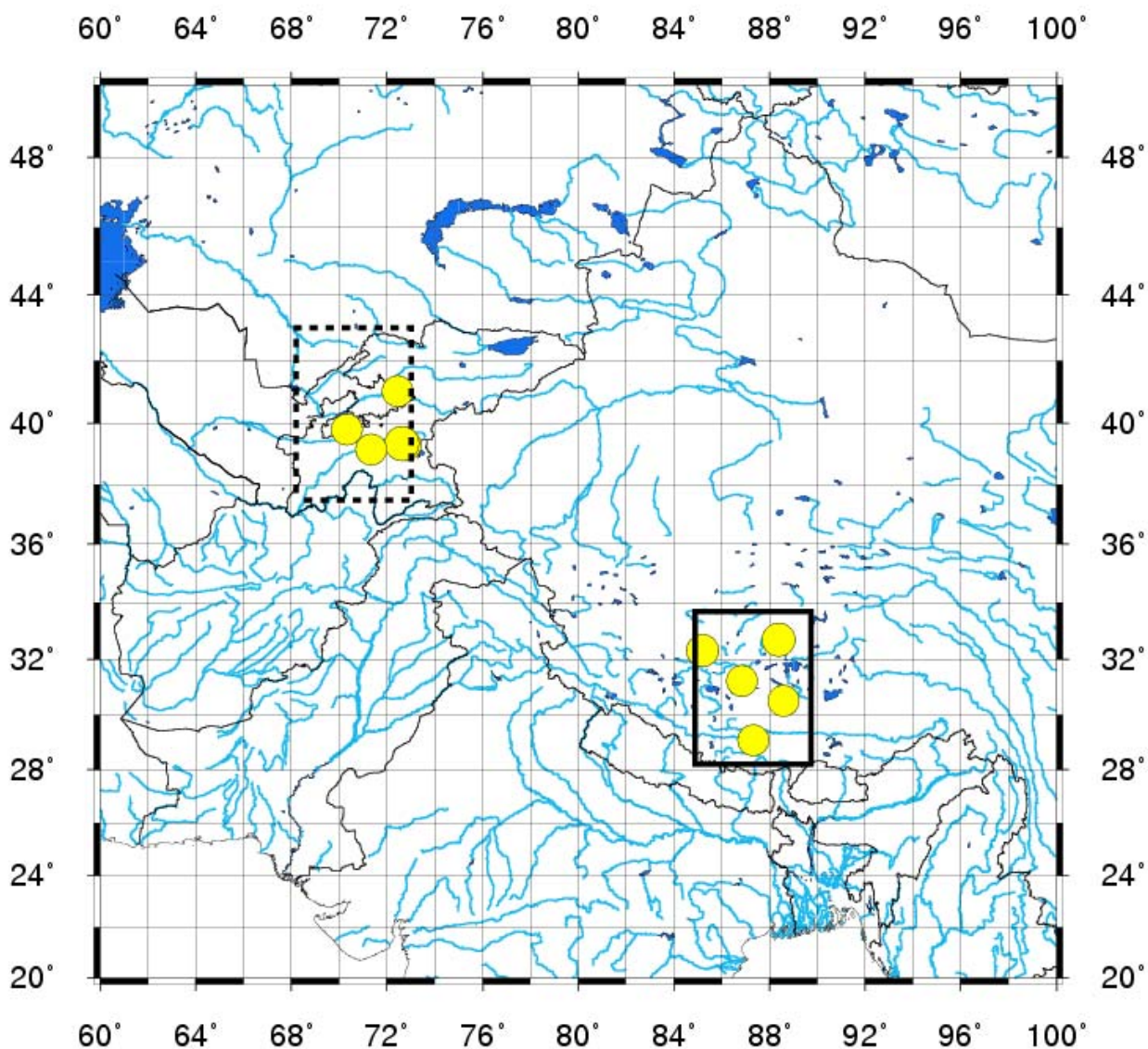
- 37.4723° ως 45.3090° γεωγραφικό πλάτος και 66.1902° ως 73.0076° γεωγραφικό μήκος, σε αυτήν τη 2^η περιοχή λοιπόν έχουν συμβεί τα εξής σεισμικά γεγονότα:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1976	7	28	18	24	28	6.1	39.29	72.79	50
1978	11	1	19	48	28	6.8	39.35	72.61	40
1984	10	26	20	22	21	6.2	39.15	71.33	33
1992	5	15	8	8	2.	6.2	41.02	72.43	49
2007	1	8	17	21	49	6.1	39.80	70.31	16

- 28.2° ως 33.6751° γεωγραφικό πλάτος και 84.8846° ως 89.7406° γεωγραφικό μήκος, στην περιοχή αυτή λοιπόν έχουν συμβεί τα εξής σεισμικά γεγονότα:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1977	11	18	5	20	11	6.5	32.69	88.39	33
1980	2	22	3	2	47	6.2	30.51	88.58	33
1986	6	20	17	12	46	6.1	31.24	86.85	33
1993	3	20	14	51	59	6.2	29.08	87.33	12.0
2008	1	9	8	26	45	6.4	32.31	85.20	10

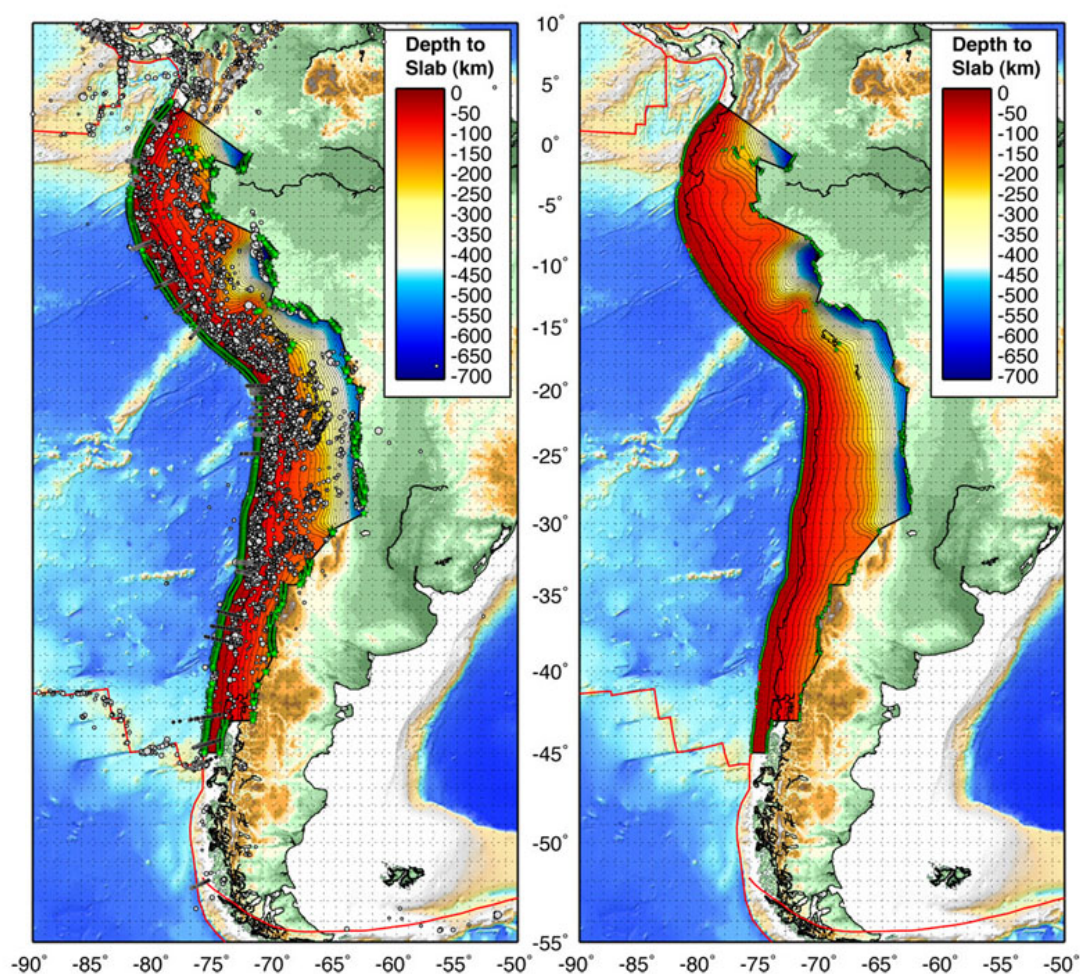
Το ποσοστό συσχέτισης των δύο αυτών περιοχών είναι 85,19% με μέσο χρόνο συσχέτισης τις τετρακόσιες εξήντα μέρες.



(Σχήμα 3.15) Στον χάρτη αυτό φαίνονται οι δύο περιοχές, με την υψηλότερη συσχέτιση 85,19%, ως γραμμοσκιασμένα ορθογώνια, το ορθογώνιο με τις διακεκομμένες γραμμές είναι η περιοχή 1 όπου έχουμε το πρώτο σεισμικό γεγονός ενώ η περιοχή 2 είναι αυτή με τη συνεχή γραμμή

3.7.2 Χιλή-Νάζκα

Κατά μήκος των ακτών της Χιλής ο ηπειρωτικός φλοιός της τεκτονικής πλάκας της Νότιας Αμερικής συγκλίνει με τον ωκεάνιο φλοιό της τεκτονικής πλάκας Νάζκα (Σχήμα 3.16) η οποία βυθίζεται κάτω από την πρώτη. Προκαλώντας ισχυρούς σεισμούς που συγκαταλέγονται στους ισχυρότερους σεισμούς παγκοσμίως όπως αυτός στις 22-5-1960 με μέγεθος 9.5 M αλλά και ο πιο πρόσφατος 27-2-2010 με μέγεθος 8.8 M.



(Σχήμα 3.16). α) κατανομή των επικέντρων των σεισμών κατά μήκος της ζώνης Benioff. β) Ζώνη Benioff του ωκεάνιου φλοιού της πλάκας Νάζκα κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό της πλάκας της Νότιας Αμερικής με διαβάθμιση βάθους [USGS]

Οι δύο περιοχές που επιλέχθηκαν για μελέτη ήταν οι εξής:

1. -43° ως -5° γεωγραφικό πλάτος και -120° ως -100° γεωγραφικό μήκος
2. -35° ως 0° γεωγραφικό πλάτος και -80° ως -60° γεωγραφικό μήκος

Το ελάχιστο μέγεθος σεισμού που χρησιμοποιήθηκε από τον κατάλογο και για αυτήν τις περιοχές αυτές είναι και πάλι 6 M και με μέγιστο εστιακό βάθος 100km ελάχιστος χρόνος συσχέτισης εκατό μέρες και ελάχιστο χρόνο μεταξύ δύο γεγονότων στην ίδια περιοχή είναι τριακόσιες μέρες. Το πρόγραμμα έχει επιλεγεί να επαναλάβει την διαδικασία 100.000 φορές πάλι ώστε να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Με την λειτουργία του προγράμματος λοιπόν, το ζεύγος περιοχών που φαίνεται να έχει την καλύτερη δυνατή σεισμική συσχέτιση και παρουσιάζεται παρακάτω στο χάρτη της (εικόνας 3,17) έχει τις εξής συντεταγμένες:

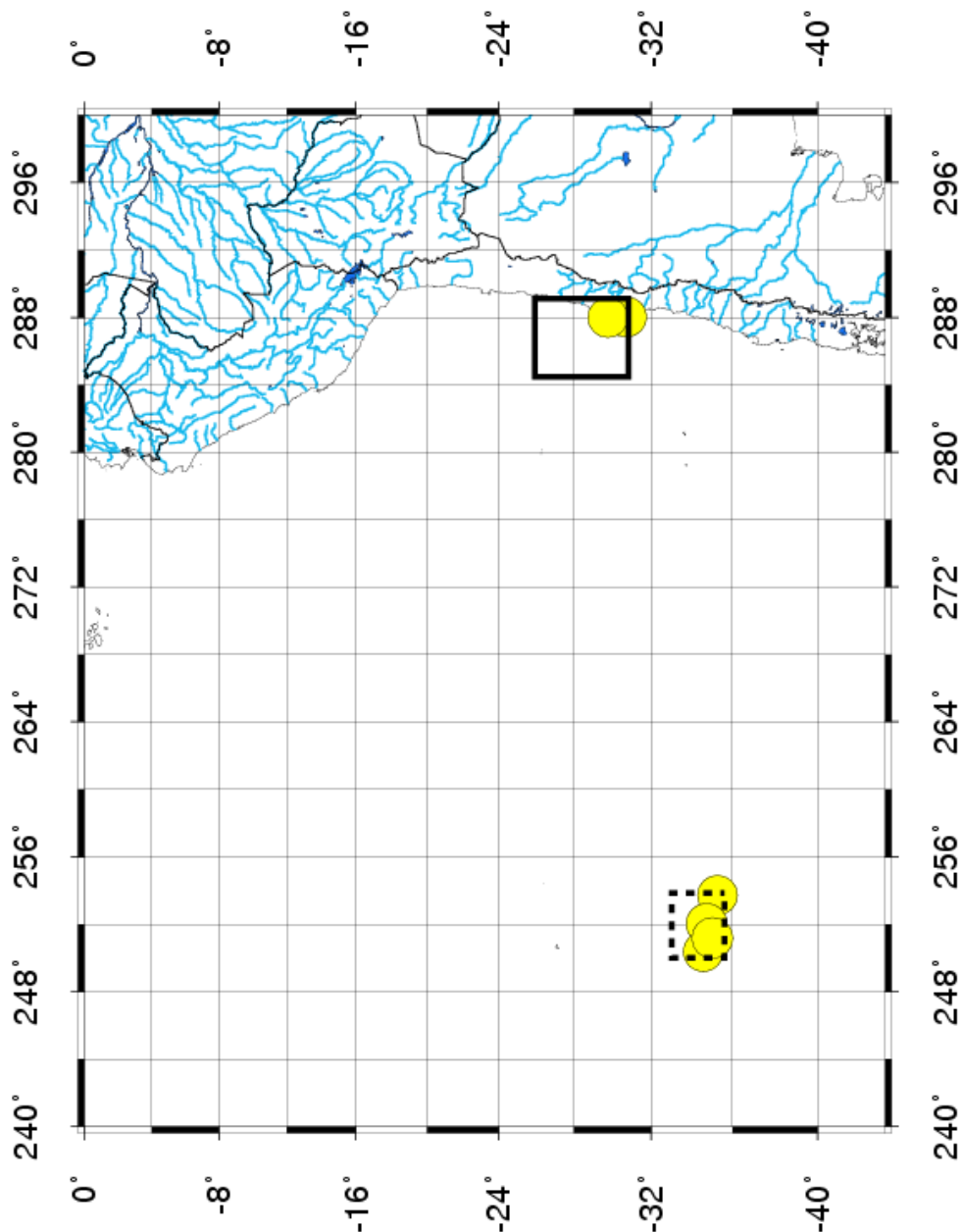
- -35.6303° ως -33.0455° γεωγραφικό πλάτος και -109.9933° ως -106.1591° γεωγραφικό μήκος, στην περιοχή αυτή λοιπόν έχουν συμβεί τα εξής σεισμικά γεγονότα:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1995	10	12	23	41	45	6.0	-35.29	-106.27	8
1998	9	14	4	43	28	6.1	-34.75	-107.98	10
2000	10	25	5	26	38	6.0	-34.60	-109.65	10
2007	4	13	18	24	19	6.1	-35.05	-108.84	10

- -30.8520° ως -25.9153° γεωγραφικό πλάτος και -75.5408° ως -71.9045° γεωγραφικό μήκος, σε αυτήν τη 2^η περιοχή λοιπόν έχουν συμβεί τα εξής σεισμικά γεγονότα:

year	month	day	hour	Min.	sec	M	latitude	longitude	Depth km
1997	7	21	23	19	39	6.0	-30.33	-71.92	33
1999	9	29	18	1	31	6.0	-30.74	-71.99	33
2006	4	15	23	50	14	6.0	-29.77	-72.00	19

Το ποσοστό συσχέτισης των δύο αυτών περιοχών είναι 83,99% με μέσο χρόνο συσχέτισης τις τετρακόσιες μέρες.



(Σχήμα 3.17) Στον χάρτη αυτό φαίνονται οι δύο περιοχές, με την υψηλότερη συσχέτιση 83,99%, ως γραμμοσκιασμένα ορθογώνια, το ορθογώνιο με τις διακεκομμένες γραμμές είναι η περιοχή 1 όπου έχουμε το πρώτο σεισμικό γεγονός ενώ η περιοχή 2 είναι αυτή με τη συνεχή γραμμή

Κεφάλαιο 4^ο

Συμπεράσματα

4.1 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας από την μελέτη των παραπάνω χαρτών μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

α) Από όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι τα ζεύγη περιοχών που τείνουν να εμφανίζουν μεγαλύτερο ποσοστό συσχέτισης είναι αυτά που έχουν λιγότερους σεισμούς ανά περιοχή και συγκεκριμένα τρεις με τέσσερις σεισμούς σε κάθε περιοχή. Και αυτό γιατί όσο μικρότερο είναι το δείγμα των σεισμών που πρέπει να συσχετίσουμε τόσο πιο εύκολο είναι να βρούμε τελικά μια γραμμική σχέση μεταξύ τους ώστε να αντιστοιχίσουμε π.χ. τους τρεις σεισμούς μιας περιοχής με τους τρεις μιας άλλης. Αλλά από την άλλη αν το δείγμα δεν είναι αντιπροσωπευτικό π.χ. μικρότερο του τρία, υπάρχει πιθανότητα το αποτέλεσμα να είναι πλασματικό. Για το λόγο αυτό οι περιοχές μελέτης πρέπει να έχουν ένα μέσο αριθμό σεισμών. Σύμφωνα με τα παραπάνω το ζεύγος περιοχών με το πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα είναι αυτό της Κεντρικής Ιταλίας με των δαλματικών ακτών γιατί έχουμε τουλάχιστον τέσσερις σεισμούς η καθεμία και εμφανίζουν ποσοστό συσχέτισης 98,01%.

β) Στην κάθε περιοχή μπορεί οι σεισμοί να προκαλούνται από διαφορετικό τύπο διάρρηξης απ' ότι στην αντίστοιχη με την οποία υπάρχει συσχέτιση. Υπάγονται όμως στο ίδιο γεωδυναμικό καθεστώς για παράδειγμα στην περιοχή Νότια της Πελοποννήσου η σεισμικότητα οφείλεται σε ανάστροφα ρήγματα ενώ στην Βόρεια Τουρκία οφείλεται στο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης παρόλα αυτά όμως ανήκουν στο ίδιο γεωδυναμικό σύστημα που το ένα σύστημα διάρρηξης ωθεί τις τάσεις του προς το άλλο.

γ) Το μέγεθος των σεισμών των περιοχών που συσχετίζονται δεν ξεπερνά το 7 Μ ακόμη και σε περιοχές στις οποίες έχουν συμβεί και ισχυρότεροι του 7Μ σεισμοί.

Συνοψίζοντας η μέθοδος της συσχέτισης ανήκει στον κλάδο της Στατιστικής επιστήμης και βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς. Όπως κάθε μέθοδο της Στατιστικής επιστήμης έτσι κι αυτή κρύβει πάντα την πιθανότητα του σφάλματος και της

παραπλάνησης μέσω των αριθμών γιατί δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι ο πλανήτης Γη ,και το σύμπαν ολόκληρο, δεν μπορεί να περιγραφεί ως ένα απλό γραμμικό σύστημα αλλά είναι κάτι πολύ πιο πολύπλοκο. Για το λόγο αυτό πρέπει να διατηρείται κάθε επιφύλαξη ως προς τα αποτελέσματα των στατιστικών μεθόδων.

Βιβλιογραφία

- Armijo R. et al. (2003), Linear elastic fracture mechanics explains the past and the present evolution of the Aegean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 217, 85-95.
- Bucci D. Di, Ravaglia A., Seno S., Toscani G., Fracassi U., and Valensise G. (2006), Seismotectonics of the southern Apennines and Adriatic foreland: Insights on active regional E-W shear zones from analogue modeling, *Tectonics*, 25, TC4015, doi:10.1029/2005TC001898.
- Chiarabba C., et al. (2009), The 2009 L'Aquila (central Italy) M6.3 earthquake: Main shock and aftershocks, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L18308, doi:10.1029/2009GL039627.
- Console R., Murru M., Falcone G., and Catalli F. (2008), Stress interaction effect on the occurrence probability of characteristic earthquakes in Central Apennines, *J. Geophys. Res.*, 113, B08313, doi:10.1029/2007JB005418.
- Cormier M. H., Seeber L., McHugh C. M. G., Polonia A. Cagatay, O. Emre N., Gasperini L., Gorur N., Bortoluzzi G., Bonatti E., Ryan W. B. F., and Newman K. R. (2006) North Anatolian Fault in the Gulf of Izmit (Turkey): Rapid vertical motion in response to minor bends of a nonvertical continental transform, *J. Geophys. Res.*, VOL. 111, B04102, doi:10.1029/2005JB003633.
- Donovan, Stephen K. and Jackson, Trevor, A. (1994): *Caribbean Geology – An Introduction*. The University of the West Indies Publishers Association, Jamaica, 289p
- Flerit F. et al. (2004), The mechanical interaction between the propagating North Anatolian Fault and the back-arc extension in the Aegean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 224, 347–362.
- Jackson, Trevor, A. ed. (2002): *Caribbean Geology into the Third Millennium – transactions of the Fifteenth Caribbean Geological Conference*. University of the West Indies Press, 279p.
- LaFemina P., Dixon T. H., Govers R., Norabuena E., Turner H., Saballos A., Mattioli G., Protti M., Strauch W. (2009) Fore-arc

motion and Cocos Ridge collision in Central America, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 10, Q05S14, doi:10.1029/2008GC002181.

- Liu M. and Yang Y. (2005), Contrasting seismicity between the north China and south China blocks: Kinematics and geodynamics, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12310, doi:10.1029/2005GL023048.
- Meyer B. and Le Dortz K. (2007), Strike-slip kinematics in Central and Eastern Iran: Estimating fault slip-rates averaged over the Holocene, *Tectonics*, 26, TC5009, doi:10.1029/2006TC002073.
- Nyst & Thatcher (2004), New constraints on the active tectonic deformation of the Aegean. *J. Geophys. Res.*, 109, B11406, doi: 10.1029/2003 JB002830.
- Omerbashich M. and Sijaric G. (2006), Seismotectonics of Bosnia-overview. *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol.3, No.2 (142), 17-29.
- Papazachos B. C., Karakaisis G. F., Papadimitriou E. E., Papaioannou CH. A. (1997), The regional time and magnitude predictable model and its application to the Alpine-Himalayan belt, *Tectonophysics*, 271: 295-323.
- Papazachos B. C., Papadimitriou E. E., Karakaisis G. F., Panagiotopoulos CH. A. (1997), Long-term Earthquake Prediction in the Circum-Pacific Convergent Belt, *Pure appl. Geophys.* 149: 173-217
- Patacca E., Scandone P., Di Luzio E., Cavinato G. P., and Parotto M. (2008), Structural architecture of the central Apennines: Interpretation of the CROP 11 seismic profile from the Adriatic coast to the orographic divide, *Tectonics*, 27, TC3006, doi:10.1029/2005TC001917.
- Perez, O., and K. Jacob (1980) , Tectonic model and seismic potential of the eastern gulf of Alaska and Yakataga seismic gap, *J. Geophys. Res.*, 85(B12), 7132-7150.
- Sella, G. F., Dixon T. H., and Mao A. (2002), REVEL:A model for recent plate velocities from space geodesy, *J. Geophys. Res.*, 107(B4), 2081, doi:10.1029/2000JB000033.

- Shaw M. and Pysklywec R. (2007), Anomalous uplift of the Apennines and subsidence of the Adriatic: The result of active mantle flow?, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L04311, doi:10.1029/2006GL028337.
- Tassara, A., H.-J. Gotze, S. Schmidt, and R. Hackney (2006), Three-dimensional density model of the Nazca plate and the Andean continental margin, *J. Geophys. Res.*, 111, B09404, doi:10.1029/2005JB003976.
- Taylor J. R. (1982), *An Introduction to Error Analysis: The study of uncertainties in Physical Measurements*. University Science Books Oxford University Press.
- Thompson S. C., Weldon R. J., Rubin C. M., Abdrakhmatov K., Molnar P., and Berger G. W. (2002), Late Quaternary slip rates across the central Tien Shan, Kyrgyzstan, central Asia, , 107, 2203, doi:10.1029/2001JB000596.
- Vernant Ph., Nilforoushan F., Hatzfeld D., Abassi M. R., Vigny C., Masson F., Nankali H., Martinod J., Ashtiani A., Bayer R., Tavakoli F., and Chery J. (2004), Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and Northern Oman, *Geophys.J. Int.*, 157, 381 – 398.
- Zaliapin I. and Keilis-Borok V.(2002), Premonitory spreading of seismicity over the faults' network in southern California: Precursor Accord, *J. Geophys. Res.*, VOL. 107, NO. B10, 2221, doi:10.1029/2000JB000034.
- <http://earthquake.usgs.gov/>