



ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ  
ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ  
ΜΠΟΥΡΑΝΤΑ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΙΩΑΝΝΗΣ Ν. ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ  
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ

ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ

ΜΥΤΙΛΗΝΗ  
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2011

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
2. ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	3
3. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ- ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	4
3.1 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	4
3.1.1 Γεωλογική δομή της νήσου Λέσβου .....	5
3.1.2 Γεωλογία περιοχής Μυτιλήνης.....	6
3.1.3 Τεκτονική Λέσβου.....	8
3.1.4 Γεωτεκτονικό καθεστώς της περιοχής.....	9
3.1.5 Ιστορική σεισμικότητα της περιοχής Μυτιλήνης .....	10
3.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ.....	11
3.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΣΕ ΣΧΕΔΟΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ.	14
3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ .....	16
3.4.1 Δημιουργία Ψηφιακής Βάσης Δεδομένων .....	16
3.4.2 Μετρήσεις εδαφικού θορύβου.....	17
3.4.3 Παραγωγή δυναμικού χάρτη διαχείρισης σεισμικού κινδύνου .....	18
4. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ .....	19
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	21

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σεισμική δράση έχει σημαντικά αρνητικές επιπτώσεις στην υλικοτεχνική υποδομή και κατ' επέκταση στην κοινωνική και οικονομική ζωή. Στο οικονομικό κόστος που συνεπάγεται η ανακούφιση των πληγείσων περιοχών και η ανάταξη των ζημιών θα πρέπει να προστεθεί και η απώλεια εισοδήματος από συρρίκνωση της οικονομικής δραστηριότητας, η υστέρηση της παραγωγής και η απώλεια αγορών (προϊόντων και υπηρεσιών) σε ένα διεθνώς ολοένα και πιο ανταγωνιστικό οικονομικό περιβάλλον, γεγονός που κάνει επιτακτική την ανάγκη για μετρίαση των επιπτώσεων των σεισμικών καταστροφών.

Η χωροχρονική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση της αντισεισμικής θωράκισης και ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα των γεωεπιστημών, καθιστώντας επιτακτική την διεπιστημονική, πολυπαραμετρική προσέγγιση. Επιπροσθέτως, κατά τα τελευταία έτη αρκετοί σεισμοί μεσαίου και μεγάλου μεγέθους έπληξαν πυκνοκατοικημένες περιοχές ανά τον κόσμο, επιφέροντας βαρύτερες απώλειες σε ανθρώπινες ζωές, υλικούς και οικονομικούς πόρους (Ιαπωνία, Τουρκία, Ελλάδα), με πρόσφατο οδυνηρό παράδειγμα το σεισμό των Αθηνών.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.) στις 22/12/1989 με το 44/236 ψήφισμα αποφάσισε την ανάληψη διεθνούς πολυσχιδούς και συντονισμένης προσπάθειας για τη μετρίαση των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών με την ονομασία International Decade for the Natural Disasters Reduction (IDNDR) κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας του 20ου αιώνα. Η σπουδαιότητα της IDNDR έγκειται στο γεγονός ότι με έμφαση κατέδειξε το μέγεθος του προβλήματος των φυσικών καταστροφών σε παγκόσμια, περιφερειακή και τοπική κλίμακα. Το Μάιο του 1994, ο Ο.Η.Ε. διοργάνωσε στη Yokohama της Ιαπωνίας Παγκόσμιο Συνέδριο με θέμα: "Natural Disaster Reduction", στο οποίο εξετάστηκε η πορεία της IDNDR και προδιαγράφηκε το μέλλον της προσπάθειας αυτής για το υπόλοιπο της δεκαετίας (Yokohama Message, 27/05/1994). Στα πλαίσια της IDNDR, διοργανώθηκε στο Potsdam της Γερμανίας (Σεπτέμβριος 1998) Διεθνές Συνέδριο με κύριο θέμα: "Natural Hazard Early Warning".

Από τα προαναφερθέντα είναι πρόδηλο ότι η διεθνής επιστημονική κοινότητα καλείται να ανταποκριθεί στο επιτακτικό αίτημα για άμυνα και οχύρωση του πληθυσμού έναντι των φυσικών και κυρίως των σεισμικών καταστροφών και να συνεισφέρει στο στρατηγικό σχεδιασμό για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους,

όχι μόνον αναφορικά με την προστασία της ανθρώπινης ζωής, αλλά και όσον αφορά τις οικονομικές τους επιπτώσεις.

Το αντικείμενο της προτεινόμενης διδακτορικής διατριβής είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΣΠ) διαχείρισης κρίσης σε περίπτωση σεισμού με εφαρμογή στην πόλη της Μυτιλήνης. Η διαχείριση της σεισμικής κρίσης αφορά την αντιμετώπιση όλων των διαδικασιών που εμπλέκονται στις δύο χρονικές περιόδους που χαρακτηρίζουν ένα σεισμικό γεγονός, πριν και μετά το γεγονός. Ένα ΣΓΠ αντιμετώπισης σεισμικής κρίσης απαιτεί κατά τη διάρκεια του χρόνου που προηγείται ενός σεισμικού γεγονότος, να μπορεί να συλλέγει και να αξιολογεί σε σχεδόν πραγματικό χρόνο στοιχεία και πληροφορίες που αφορούν την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας, ώστε να είναι σε θέση να συνεισφέρει στη μείωση των επιπτώσεων ενός σεισμικού γεγονότος.

## **2. ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

Η περιοχή μελέτης συγκαταλέγεται μεταξύ των πλέον σεισμοπαθών του Ελληνικού χώρου. Υπενθυμίζεται ότι η σεισμική δραστηριότητα της τελευταίας δεκαετίας είχε σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην κοινωνική και οικονομική ζωή και στην υλικοτεχνική υποδομή της Ελλάδας. Να σημειωθεί, επίσης, ότι κατά την τουριστική περίοδο, ο πληθυσμός της υπό μελέτη περιοχής υπερδιπλασιάζεται. Στο οικονομικό κόστος που συνεπάγεται η ανακούφιση των πληγείσων περιοχών από ενδεχόμενη σεισμική καταστροφή και η ανάταξη των ζημιών, θα πρέπει να προστεθεί και η απώλεια εισοδήματος που θα προκύψει από τη συρρίκνωση του τουρισμού, πόρο από τον οποίο εξαρτάται σημαντικά η οικονομία της περιοχής μελέτης αλλά και της χώρας γενικότερα.

Η καινοτομία που εισάγει η προτεινόμενη διατριβή συνίσταται στην συνδυασμένη εφαρμογή προηγμένων σεισμολογικών και γεωπληροφοριακών μεθοδολογιών έρευνας. Όπως προαναφέρθηκε, η προτεινόμενη έρευνα αναμένεται να έχει αξιοσημείωτη θετική συμβολή:

- Στον εμπλουτισμό της εμπειρίας και στην προαγωγή της γνώσης σχετικά με τη διαχείριση σεισμικών φαινομένων

- Στην ανάπτυξη ασφαλέστερων κριτηρίων αξιολόγησης της χωρικής εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας.

Επίσης, η επιτυχής ολοκλήρωση της προτεινόμενης διδακτορικής διατριβής θα συμβάλλει στη βελτίωση των μεθοδολογιών και των εφαρμοζόμενων τεχνολογιών καθώς και στην πρόταση και ανάπτυξη νέων, υποδεικνύοντας την κατεύθυνση για την πραγματοποίηση ανάλογων ερευνητικών έργων, και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών γεωγραφικής πληροφορίας στη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου αλλά και των φυσικών καταστροφών γενικότερα.

### **3. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ- ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Για την εκπόνηση του προτεινόμενου έργου η συνολική ερευνητική δραστηριότητα αναλύεται σε επιμέρους ερευνητικά βήματα:

Βήμα 1: Διερεύνηση Γεωτεκτονικού Περιβάλλοντος και Σεισμικότητας.

Βήμα 2: Μετρήσεις πεδίου για την μελέτη της Σεισμικής Απόκρισης Εδαφών στο αστικό συγκρότημα της Πόλης της Μυτιλήνης

Βήμα 3: Ανάπτυξη δυναμικού ΣΓΠ για την Παρακολούθηση και τη σε σχεδόν πραγματικό χρόνο διαχείριση του Σεισμικού Κινδύνου και παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε δυναμικούς χάρτες. Εφαρμογή στο αστικό συγκρότημα της Πόλης της Μυτιλήνης.

Στην συνέχεια ακολουθεί η ενότητα που αναφέρεται στο γεωτεκτονικό περιβάλλον και τη σεισμικότητα της περιοχής μελέτης, και παρουσιάζεται για κάθε βήμα της διατριβής η μεθοδολογία που εφαρμόζεται σε διεθνές επιστημονικό επίπεδο.

#### **3.1 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Πρώτο βήμα της διατριβής αποτελεί η διερεύνηση γεωτεκτονικού περιβάλλοντος και σεισμικότητας της περιοχής μελέτης. Στην παρούσα ενότητα θα

επιχειρηθεί η αποτύπωση των βασικών δομών που παρουσιάζονται στο αστικό συγκρότημα της Μυτιλήνης. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το γεωλογικό, σεισμοτεκτονικό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής μελέτης όπως είναι γνωστό από προηγούμενες μελέτες και κυρίως από την Μικροζωνική Μελέτη της πόλης της Μυτιλήνης που εκπονήθηκε με επιστημονικό υπεύθυνο τον Μακρόπουλο (1998). Τα στοιχεία (δεδομένα) αυτής της ενότητας αποτελούν το βασικό ερμηνευτικό υπόβαθρο για την κατανόηση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν.

### **3.1.1 Γεωλογική δομή της νήσου Λέσβου**

Η Λέσβος είναι το τρίτο σε έκταση νησί του Αιγαίου και έχει έκταση 1630 km<sup>2</sup>. Βρίσκεται στο ανατολικό Αιγαίο πέλαγος, μεταξύ 390 Β πλάτους και 260 Δ μήκους. Το μέγιστο μήκος του νησιού, από Α προς Δ, είναι περίπου 70 km, ενώ το μέγιστο πλάτος του, από Β προς Ν, είναι περίπου 45 km. Οι κορυφές των ψηλότερων βουνών του φτάνουν τα 968m υψόμετρο (Λαμέρα, 2004).

Γεωλογικά αποτελεί ξεχωριστή ενότητα (ενότητα Λέσβου) του ελλαδικού χώρου αν και εντάσσεται πιθανώς στην Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη (Τσιώκος, 2003).

Η γνώση για τη γεωλογία της Λέσβου στηρίζεται στις εργασίες του Hecht (1972, 1974), ο οποίος συνέταξε και το γεωλογικό χάρτη του νησιού σε κλίμακα 1:50.000, και των Κατσιατάσου κ.α. (1982, 1986). Σύμφωνα με τους παραπάνω συγγραφείς το νησί δομείται από σχηματισμούς οι οποίοι ανήκουν σε τρεις ενότητες:

1. Την αυτόχθονη ενότητα των προαλπικών και αλπικών σχηματισμών
2. Την αλλόχθονη ενότητα των αλπικών σχηματισμών
3. Τη σειρά των μεταλπικών σχηματισμών

Από γεωτεχνικής πλευράς, τα γεωλογικά υλικά κατατάσσονται σε βράχους, ημιβράχους και εδάφη, ενώ, από σεισμικής πλευράς, τα γεωλογικά υλικά διακρίνονται σε σχηματισμούς σεισμικού υποβάθρου (bedrock) και σε υπερκείμενους χαλαρούς σχηματισμούς (overburden loose materials). Στην πρώτη κατηγορία (seismic bedrock), με ελαστική συμπεριφορά (μη μόνιμες παραμορφώσεις) κατά τη

διάδοση των σεισμικών κυμάτων και προκειμένου για τη στενή και ευρύτερη περιοχή της πόλης της Μυτιλήνης ανήκουν:

- Οι κάθε είδους και ηλικίας ασβεστολιθικοί σχηματισμοί
- Τα τμήματα των ηφαιστειακών πετρωμάτων που δεν έχουν υποστεί τη δράση των υδροθερμικών διαλυμάτων και επομένως, διατηρούν την αρχική βραχώδη δομή τους
- Οι σχιστόλιθοι σε υγιή κατάσταση

Όλοι οι υπόλοιποι γεωλογικοί σχηματισμοί, όπως:

- Τα εξαλλοιωμένα ηφαιστειακά πετρώματα
- Τα νεογενή ιζήματα (εκτός των μαργαϊκών ασβεστολίθων)
- Τα κορήματα
- Οι αλουβιακές αποθέσεις
- Οι ανθρωπογενείς αποθέσεις (επιχωματώσεις, μπάζα)

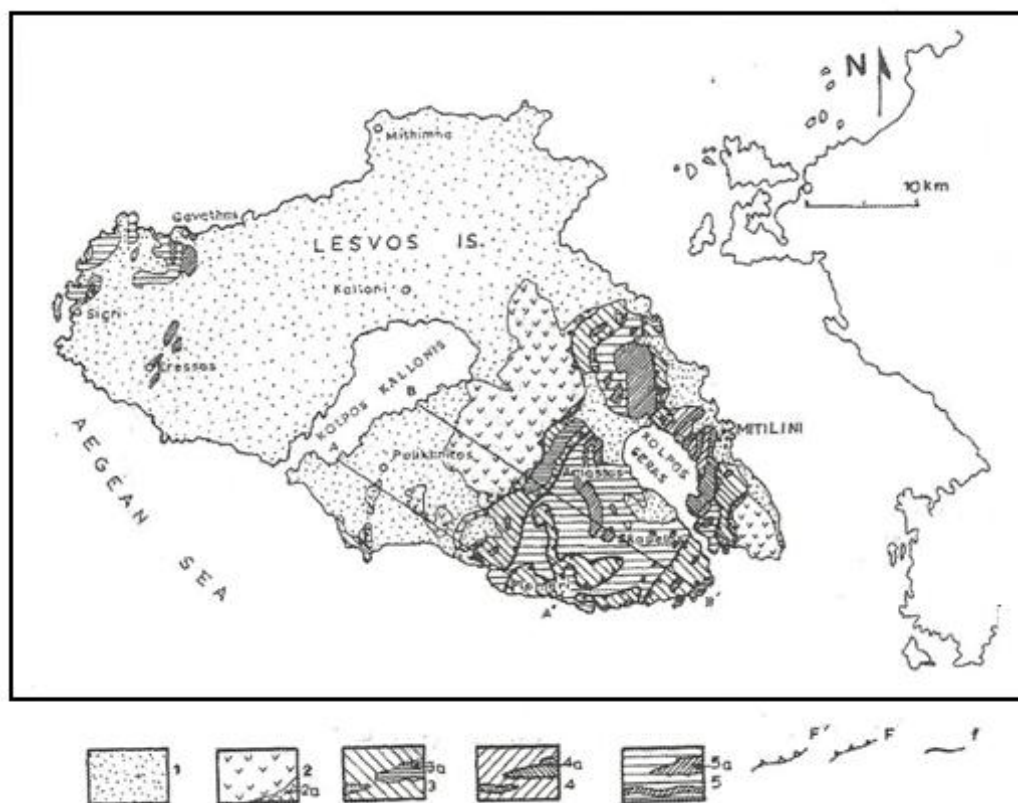
ανήκουν στην κατηγορία των υπερκείμενων χαλαρών σχηματισμών, με πλαστική συμπεριφορά (μόνιμες παραμορφώσεις) κατά τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων. (Μακρόπουλος, 1998)

### **3.1.2 Γεωλογία περιοχής Μυτιλήνης**

Οι αλπικοί σχηματισμοί της περιοχής Μυτιλήνης είναι Τριαδικής ηλικίας και αποτελούν την μετάβαση των σχηματισμών του Αν. Παλαιοζωικού. Πρόκειται για εναλλαγές σχιστολίθων, φυλλιτών, ψαμμιτών με ενδιαστρώσεις από ανθρακικά λατυποπαγή. Μέσα στους σχηματισμούς αυτούς εμφανίζονται ενδιαστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστολίθων, οι οποίοι αποκτούν σημαντικό πάχος στην περιοχή της Μυτιλήνης. Τα ανώτερα μέλη του σχηματισμού αυτού εμφανίζονται στην περιοχή της Μόριας και εκτείνονται μέχρι τον Κόλπο της Γέρας (Εικόνα 1).

Στην παράκτια περιοχή του ανατολικού τμήματος της Λέσβου (περιοχή Παμφίλιων – Αγ. Ιωάννη – Ακρωτήριο Αμαλής) οι Νεογενείς σχηματισμοί, είτε

βασαλτικές λάβες είτε κλαστικοί σχηματισμοί καλύπτουν μεγάλη έκταση. (Μακρόπουλος, 1998)



**Εικόνα 1:** Γεωλογικός Χάρτης της Λέσβου (1) Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμοί. (2) Περιδοτίτες και σερπεντινίτες. (2α) Αμφιβολίτες, αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι. (3) Τριαδικοί μεταβασίτες και μετακλαστικοί σχηματισμοί. (3α) Ενδιαστρώσεις κρυσταλλικών ανθρακικών πετρωμάτων. (4) Τριαδικοί σχιστόλιθοι και μεταψαμίτες. (4α) Ενδιαστρώσεις κρυσταλλικών ανθρακικών πετρωμάτων. (5) Νεοπαλαιοζωικοί σχιστόλιθοι και μετα-ψαμίτες. (5α) Ενδιαστρώσεις κρυσταλλικών ανθρακικών πετρωμάτων. F, F': Επώθηση. f: Τεκτονική επαφή (Katsikatsos et al, 1982).

Ο Hecht (1972) αναφέρει ότι οι λάβες στην περιοχή αυτή υπέρκεινται τοπικά των Νεογενών ιζημάτων και θεωρεί ότι είναι Πλειοκαινικής ηλικίας. Αντίθετα, οι Borsi et al. (1972), μετά από γεωχρονολόγησης που πραγματοποίησαν σε λάβα κοντά στα Πάμφυλλα της δίνουν ηλικία 15.5 εκ. χρόνων (Μ. Μειοκαινική).

Συνοπτικά, μπορεί να λεχθεί ότι οι βασάλτες στην περιοχή της Μυτιλήνης εμφανίζονται υποκείμενοι των Πλειοκαινικών ιζημάτων και σε ορισμένες περιπτώσεις σύγχρονοι με αυτά. Δεν φαίνεται οι βασάλτες αυτοί να διαπερνούν τα ιζήματα, πράγμα που συμβαίνει με του Προ-Νεογενείς σχηματισμούς.



Τα κλαστικά ιζήματα του Νεογενούς είναι λιμναίας φάσης και αποτελούνται κυρίως από μάργες και μαργαϊκούς ασβεστολίθους και κάποιες ενδιαστρώσεις ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Τα κροκαλοπαγή και οι ψαμμίτες εμφανίζονται κυρίως στα κατώτερα μέλη της σειράς και περιλαμβάνουν πολλές φορές και ολισθολίθους από προϋπάρχοντες σχηματισμούς. Τα μαργαϊκά πετρώματα (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι) επικρατούν στα ανώτερα τμήματα.

Σημαντική έκταση, κυρίως μέσα στην πόλη, καταλαμβάνουν οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί, κυρίως άργιλοι, άμμοι και κροκάλες, ιδιαίτερα στην παράκτια ζώνη. (Μακρόπουλος, 1998)

### **3.1.3 Τεκτονική Λέσβου**

Σύμφωνα με τους Μουντράκη et al. (1994), οι μεγάλες ρηξιγενείς γραμμές και μεγάλες τεκτονικές δομές (στο ΝΑ τμήμα του νησιού) είναι ρήγματα διευθύνσεως Α-Δ, που κλίνουν είτε προς Β. είτε προς Ν., κατακερματίζουν αλπικούς και μεταλπικούς σχηματισμούς και δημιουργούν τεκτονικά βυθίσματα, με σημαντικότερα τις λεκάνες της Μυτιλήνης και της Μόριας και τη μικρότερη λεκάνη της Λακέρδας.

Οι ρηξιγενείς δομές είναι αποτέλεσμα τριών διαδοχικών τεκτονικών φάσεων.

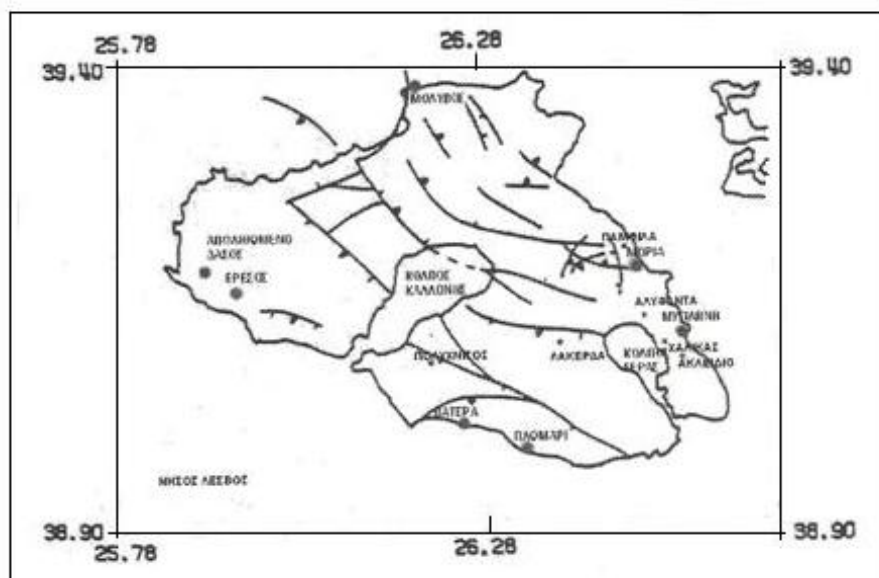
Η πρώτη φάση, δημιούργησε ρήγματα οριζόντιας ολισθήσεως, διευθύνσεως Α-Δ και, πιθανώς, συνδέεται με την δράση του νότιου κλάδου του οριζοντιολισθητικού ρήγματος της Ανατολίας.

Η δεύτερη φάση είναι εφελκυστική και προκάλεσε τα μεγάλα κανονικά ρήγματα, διευθύνσεως ΒΔ-ΝΑ και τα αριστερόστροφα οριζόντιας ολισθήσεως, διευθύνσεως ΒΒΔ-ΝΝΑ.

Η τρίτη φάση προκάλεσε κανονικά ρήγματα, διευθύνσεως Α-Δ και την επαναδραστηριοποίηση των παλαιότερων δομών. Η διεύθυνση του εφελκυσμο, στη διάρκεια της φάσης αυτής, είναι Β-Ν (ενεργό εφελκυστικό πεδίο για τον εσωτερικό χώρο του Αιγαίου).

Οι σημαντικότερες ρηξιγενείς δομές είναι τα ρήγματα Άνω Χάλικα, Κάτω Χάλικα, Μόριας, Ακλειδιού, Φάρου και Λακέρδας.

Ο τεκτονικός χάρτης της νήσου (Εικόνα 2), σαφώς υποδηλώνει αυξημένο σεισμικό δυναμικό. Η παρουσία ρηγμάτων και, γενικώς τεκτονικών ασυνεχειών στην περιοχή της πόλης της Μυτιλήνης είναι σημαντική.



Εικόνα 2: Ενεργές σεισμικές γραμμές της νήσου Λέσβου (Κατσικάτσος, 1982)

Η συνύπαρξη της αυτόχθονης ενότητας προαλπικών και αλπικών σχηματισμών με την αλλόχθονη ενότητα των αλπικών σχηματισμών και τη σειρά των μεταλπικών σχηματισμών δημιουργεί ένα πλαίσιο έντονης τεκτονικής δράσης που έχει επιδράσει στο σύνολο, σχεδόν, των γεωλογικών σχηματισμών. Την έντονη τεκτονική εικόνα συμπληρώνουν τα τεκτονικά καλύμματα και οι επωθήσεις, καθώς και το γεγονός των τριών τεκτονικών φάσεων, διαφορετικής ηλικίας. Από νεοτεκτονικής πλευράς, τα μεγάλα ρήγματα Α-Δ, με κλίση προς Β ή προς Ν έχουν κατακερματίσει το σύνολο αλπικών και μεταλπικών σχηματισμών, δημιουργώντας διαδοχικά τεκτονικά βυθίσματα. (Μακρόπουλος,1998; Fytikas et al.,1999; Koukouvelas and Aydin ,2002)

### 3.1.4 Γεωτεκτονικό καθεστώς της περιοχής

Η νήσος Λέσβος βρίσκεται στις ανατολικές Σποράδες του Αιγαίου Πελάγους και ανήκει στο παλαιό ηφαιστειακό τόξο που έδρασε κατά το Μέσο Μειόκαινο, πριν

από 15-19 εκατομμύρια χρόνια. Η σεισμικότητα της περιοχής είναι υψηλή και έχει πληγεί πολλές φορές στο παρελθόν από ισχυρούς καταστροφικούς σεισμούς, οι οποίοι έχουν τα επίκεντρά τους στο γειτονικό θαλάσσιο χώρο, καθώς και στις ακτές της Μικράς Ασίας.

Η τεκτονική εξέλιξη της νήσου Λέσβου επηρεάζεται από την ευρύτερη νεοτεκτονική εξέλιξη του Αιγαίου που άρχισε κατά τη διάρκεια του Ολιγοκαίνου (15 εκατομμύρια χρόνια περίπου), προκαλώντας μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις κυρίως στο Κρητικό Πέλαγος. Στην ανατολική περιοχή του Αιγαίου η διεύθυνση των εφελκυστικών τάσεων είναι BBA-NNΔ (Δελήμπασης και Δρακόπουλος, 1974; Δρακόπουλος και Δελήμπασης 1982), εκτός από ορισμένες περιοχές όπου παρατηρείται στροφή των αξόνων αυτών προς NA-BΔ (Δελήμπασης και Βούλγαρης, 1989). Οι εφελκυστικές τάσεις με διεύθυνση BBA-NNΔ είναι υπεύθυνες για τη γεωτεκτονική εξέλιξη της νήσου Λέσβου.

Από την τεκτονική ανάλυση των ρηγμάτων και των μικροδιαρρήξεων της νήσου Λέσβου (Κατσικάτσος, 1982), προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Στη Λέσβο απαντώνται τρία κύρια συστήματα διαρρήξεων με διευθύνσεις:
  - B 40° - 60° Δ
  - B 30° - 60° Δ
  - A – Δ
2. Το σύστημα BA-ΝΔ διευθύνσεως επικρατεί στο ΝΑ τμήμα του νησιού.
3. Οι διαρρήξεις ΒΔ-ΝΑ και Α-Δ διευθύνσεως παρουσιάζουν παράλληλη διάταξη με τις διευθύνσεις των ακτών του νησιού. Το γεγονός αυτό συνηγορεί στο ότι οι διαρρήξεις αυτές διαμόρφωσαν τις σημερινές ακτές.
4. Τα ρήγματα με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση είναι τα παλαιότερα.

### **3.1.5 Ιστορική σεισμικότητα της περιοχής Μυτιλήνης**

Σύμφωνα με τον Παπαζάχο (1989) ένας αποτελεσματικός τρόπος μελέτης της γεωγραφικής κατανομής της σεισμικότητας μιας περιοχής είναι ο χωρισμός της σε

σεισμικές ζώνες. Η σεισμικότητα του Αιγαίου είναι αποδεδειγμένα υψηλή και η Λέσβος ανήκει στο δυτικό τμήμα της ζώνης 14. Αυτό συνεπάγεται μεγάλη σεισμικότητα, ικανή να δώσει σεισμούς μεγέθους μέχρι 7.0 R. Τέτοιοι σεισμοί, έχουν γίνει δύο στη Λέσβο, ο ένας στις 7/3/1867 και ο άλλος στις 18/11/1919.

Η έρευνα σε ιστορικές πηγές έδειξε ότι σημαντικοί σεισμοί έπληξαν κατά καιρούς τη νήσο Λέσβο. Οι σημαντικότεροι ιστορικοί σεισμοί της Λέσβου για το χρονικό διάστημα από τους ιστορικούς χρόνους μέχρι το 1899 είναι οι:

- 231 π.Χ., Αρίσβη, Πύρρα (Λέσβος)
- 167 π.Χ., Άντισσα (Λέσβος)
- 1383 Αυγούστου 6, ξημερώματα, Μυτιλήνη
- 1754 Ιουνίου 12, Αιγαίο
- 1882 Απριλίου 1, Μεσότοπος Λέσβου
- 1889 Οκτωβρίου 26, 01:19, Χύδηρα (Λέσβος)

Όλοι οι σεισμοί της Μυτιλήνης που έγιναν στο διάστημα 1880-1899, στην πλειοψηφία τους έχουν μικρά μεγέθη, δείχνουν, όμως τη σεισμική εικόνα της περιοχής. Σύμφωνα με αυτή, στη Λέσβο, και κυρίως στην πρωτεύουσα Μυτιλήνη, συχνά γίνονται αισθητοί σεισμοί, είτε τοπικοί, είτε προερχόμενοι από σεισμογόνες εστίες από τη γειτονική περιοχή του κόλπου του Αδραμυτίου και της Περγάμου.

### **3.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ**

Το δεύτερο στάδιο της μεθοδολογίας αφορά τη λήψη μετρήσεων πεδίου για τη μελέτη της σεισμικής απόκρισης στο αστικό συγκρότημα της πόλης της Μυτιλήνης.

Η μελέτη της σεισμικής απόκρισης εδαφών στο αστικό συγκρότημα της πόλης της Μυτιλήνης θα πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο εδαφικού θορύβου (Nakamura). Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη τα τελευταία έτη και δεκάδες επιστημονικές εργασίες έχουν δημοσιευθεί διεθνώς αναφερόμενες σε αυτή. Πρώτος ο Omori (1907) παρατήρησε την αλληλεπίδραση εδαφικού θορύβου και γεωλογικών

συνθηκών. Το 1954 ο Kanai εισήγαγε την ιδέα της χρήσης του εδαφικού θορύβου για την εκτίμηση της σεισμικής ενίσχυσης που προκαλούν χαλαροί εδαφικοί σχηματισμοί, χρησιμοποιώντας δεδομένα των αναλογικών σειсмоγράφων της εποχής. Έκτοτε πολλές δημοσιεύσεις είχαν ως αντικείμενο τον έλεγχο της πρότασης του Kanai. Μετά τον σεισμό του Guerrero-Michoacan (1985), όπου έγινε φανερό πως η πληροφορία που παρείχε η απλή και χαμηλού κόστους καταγραφή του εδαφικού θορύβου ήταν συνεπής με εκείνη των παρατηρήσεων της ισχυρής εδαφικής κίνησης και μετά τη δημοσίευση πολλών μελετών που ασχολήθηκαν με την δυνατότητα της τεχνικής H/V να παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα για την εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης χαλαρών εδαφικών αποθέσεων, το ενδιαφέρον κορυφώθηκε στις αρχές της δεκαετίας 1990. (Singh et al, 1988; Yamanaka et al, 1994; Bour et al, 1998; Rodriguez and Midorikawa, 2002; Mirzaoglu and Dykmen, 2003, Moisiidi, 2009)

Η μεγάλη έμφαση που δόθηκε στις τοπικές επιδράσεις και στις μικροζωνικές μελέτες μετά τους καταστρεπτικούς σεισμούς του Μεξικό (1985), Spitak (1988), Loma Prieta (1989) και Kobe (1995) καθώς και ο περιορισμένος αριθμός διαθέσιμων μέσων και δεδομένων στις αναπτυσσόμενες χώρες ή χαμηλής σεισμικότητας περιοχές συνετέλεσαν στο να προσελκύσει πολλούς ερευνητές αυτή η εύχρηστη και χαμηλού κόστους τεχνική.

Το 1989 ο Nakamura αναζωογόνησε τη συγκεκριμένη ιδέα χρησιμοποιώντας ψηφιακά δεδομένα. Πρώτοι οι Field και Jacob (1993) και αργότερα οι Lachet και Bard (1994) προσέφεραν θεωρητική υποστήριξη, προσπαθώντας να υπολογίσουν την απόκριση οριζόντιων εδαφικών σχηματισμών και εξομοιώνοντας τον εδαφικό θόρυβο με τυχαία κατανομή σημειακών πηγών, με διαφορετικές συνθήκες εκπομπής. Βρέθηκε ότι το φάσμα των οριζόντιων συνιστωσών του εδαφικού θορύβου περιέχει την βασική συχνότητα συντονισμού της εδαφικής στήλης. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώθηκαν από πλήθος δημοσιεύσεων πειραματικών αποτελεσμάτων (π.χ. Field et al., 1990, 1992, 1993; Field and Jacob, 1994, 1995; Ohmachi, 1991; Lachet et al., 1994; Lermo et al., 1992; Mucciarelli and Monachesi, 1998; Fah et al., 1997; Bindi et al., 2000 κλπ).

Η μέθοδος αξιοποιεί τα δεδομένα εδαφικού θορύβου από ειδικούς ψηφιακούς σειсмоγράφους υψηλής ανάλυσης (24bits) και ευρείας φασματικής περιοχής λειτουργίας έτσι ώστε με κατάλληλη φασματική ανάλυση να διαπιστώνονται οι

συχνότητες συντονισμού και το επίπεδο ενίσχυσης των εδαφικών σχηματισμών από το υπόβαθρο έως την επιφάνεια (εμπειρική συνάρτηση μεταφοράς).

Επιπλέον εάν είναι γνωστή η ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων στο υπόβαθρο (μέσω γεωφυσικών διασκοπήσεων), είναι δυνατή και η εκτίμηση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης  $\alpha$  καθώς και του συντελεστή  $\gamma$  της μέγιστης οριζόντιας παραμόρφωσης των επιφανειακών σχηματισμών κατά τη διάρκεια ισχυρής σεισμικής δόνησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι ανάλογη μελέτη εδαφικού θορύβου έγινε πρόσφατα και στο Κολοσσαίο της Ρώμης (Nakamura et al., 2000).

Η μέθοδος θα αξιοποιήσει τα δεδομένα εδαφικού θορύβου από μετρήσεις στο αστικό συγκρότημα της πόλης της Μυτιλήνης με ειδικούς ψηφιακούς σειсмоγράφους υψηλής ανάλυσης και ευρείας φασματικής περιοχής λειτουργίας. Με κατάλληλη φασματική ανάλυση θα προκύψουν οι συχνότητες συντονισμού και το επίπεδο ενίσχυσης των εδαφικών σχηματισμών από το υπόβαθρο έως την επιφάνεια (εμπειρική συνάρτηση μεταφοράς). Το επίπεδο ενίσχυσης που υπολογίζεται με τον τρόπο αυτό, θεωρείται ως το ελάχιστο δυνατό συγκεκριμένης ζώνης συχνότητων. Επειδή η βασική ιδιοσυχνότητα συντονισμού εξαρτάται κυρίως από το βάθος των ιζημάτων έως το υπόβαθρο καθώς και την πυκνότητά τους, είναι δυνατή και η εκτίμηση αυτού του βάθους με σφάλμα της τάξης του 10% (Seht and Wohlenberg, 1999).

Μετά το αρχικό αυτό στάδιο βαθμονόμησης, θα πραγματοποιηθούν εκτεταμένες μετρήσεις μικροθορύβου σε πυκνό πλέγμα θέσεων στο αστικό συγκρότημα της πόλης της Μυτιλήνης. Με τον όρο ‘μικροθόρυβος’ εννοούμε τις συνεχείς ταλαντώσεις της επιφάνειας του εδάφους που παράγονται από φυσικές διαταραχές όπως ο άνεμος, η θάλασσα, τα κύματα, σεισμικές δονήσεις μικρού μεγέθους καθώς και από τεχνητές πηγές. Γενικά, τα δεδομένα μικροθορύβου χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θεμελιώδους συχνότητας των εδαφικών σχηματισμών με την τεχνική του φασματικού λόγου της οριζόντιας προς την κατακόρυφη συνιστώσα (Nogoshi and Igarashi 1971 και Nakamura 1989), η οποία και θα εφαρμοστεί στη συγκεκριμένη εργασία. Θα γίνει επεξεργασία των καταγραφών έτσι ώστε να εξαλειφθούν παράθυρα μικροθορύβου τα οποία προέρχονται από ανθρωπογενείς παράγοντες (Duval et al., 2003; Mucciarelli, 1998) και θα υπολογιστεί ο πειραματικός φασματικός λόγος της οριζόντιας προς την κατακόρυφη συνιστώσα. Με αυτόν τον τρόπο θα υπολογιστεί, σε κάθε θέση του

πλέγματος των μετρήσεων, η θεμελιώδης συχνότητα. Τέλος, θα παραχθεί χάρτης του κάθε πολεοδομικού συγκροτήματος, πάνω στον οποίο θα απεικονίζεται η μεταβολή της θεμελιώδους συχνότητας, η οποία θα πρέπει να αντανακλά τη γεωλογική δομή της περιοχής (π.χ. Yamanaka et al., 1994; Duval et al. 1995; Suzuki et al., 1995; Gaull et al., 1995; Field, 1996; Schenková and Zahraník, 1996; Fäh et al., 1997; Ibs-von Seth and Wohlenberg 1999; Jiménez et al., 2000; Delgado et al, 2000a; Delgado et al, 2000b; Bodin et al., 2001; Alfaro et al., 2001; Navarro et al., 2001; Duval et al., 2001; Woolery and Street, 2002, Sarris et al., 2010).

Στα πλαίσια της προτεινόμενης διατριβής θα χρησιμοποιηθεί κατάλληλο λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (EVG1-CT-2000-00026) για την επεξεργασία δεδομένων μικροθορύβου, αλλά και νέες τεχνικές ανάλυσης που αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο Γεωφυσικής και Σεισμολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης στο πλαίσιο εθνικών και ευρωπαϊκών ερευνητικών έργων (SERISK, TALOS, ARCHEMIDES II).

### **3.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΣΕ ΣΧΕΛΟΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ.**

Οι Ariki et al (2004) δημιούργησαν ένα σύστημα αξιολόγησης των καταστροφών που προκαλούνται από έναν σεισμό σε πραγματικό χρόνο (READY - REaltime Assessment of earthquake Disaster in Yokohama system). Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει ένα σύστημα σειсмоγράφων που συλλέγει λεπτομερείς πληροφορίες για το σεισμό και ένα σύστημα εκτίμησης των βλαβών που προκαλούνται από τον σεισμό και λειτουργεί σε συνδυασμό με το σύστημα σειсмоγράφων. Επιτρέπει ακριβή και σταθερή συλλογή δεδομένων: δεδομένα σεισμικής έντασης εντός 3 λεπτών, κατ' εκτίμηση πληροφορίες για τις βλάβες εντός 20 λεπτών και πληροφορίες για τις πραγματικές βλάβες στο δρόμο εντός 60 λεπτών. Αρχικά συνέθεσαν σεισμικά κύματα σε 150 σειсмоγραφικούς σταθμούς για συγκεκριμένους σειμούς. Στη συνέχεια, υπολόγισαν τις σεισμικές εντάσεις με τη βοήθεια του READY και τις εισήγαγαν σε ένα χάρτη για κάθε σεισμό. Έτσι με τη δημιουργία ενός shakemap

πρόβλεψαν τη ρευστοποίηση στην πόλη που προκλήθηκε από τους θεωρούμενους σεισμούς.

Στη συνέχεια έλαβαν χώρα κι άλλες προσπάθειες που στόχευαν στη συνεχή ανάπτυξη του συστήματος σεισμικών πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο (Final Technical Report, 2004-2006) Οι προσπάθειες αυτές οδήγησαν στην παραγωγή χαρτών με τις κατ' εκτίμηση εντάσεις ή τις παραμέτρους εδαφικής κίνησης (π.χ. επιταχύνσεις). Σήμερα, με την χρήση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, και των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) (Χατζόπουλος, 2006), παρέχεται η δυνατότητα να παράγονται ταχύτατες εκτιμήσεις σε απώλειες για διάφορα σενάρια, και μια πολύ βελτιωμένη ικανότητα χαρτογράφησης τους (Lang et al., 2008).

Σκοπός της τελικής φάσης της παρούσας ερευνητικής πρότασης είναι η ανάπτυξη `δυναμικού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ - GIS) για την παρακολούθηση και διαχείριση του σεισμικού κινδύνου το οποίο θα εδράζεται σε νέες μεθοδολογίες γρήγορης ανάλυσης σεισμικών καταγραφών ισχυρής κίνησης λαμβάνοντας υπόψην το ενεργειακό περιεχόμενο τους όπως αυτό αναλύεται με νέες τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας σεισμολογικού σήματος.

Θα αναπτυχθεί ένα ΣΓΠ το οποίο θα διαχειρίζεται όλα τα δεδομένα και θα κάνει όλες τις απαραίτητες επεξεργασίες για την παραγωγή του δυναμικού χάρτη επικινδυνότητας. Το ΣΓΠ θα βασισθεί σε χαρτογραφικό υπόβαθρο διανυσματικοποιημένων χαρτών της ΓΥΣ κλίμακας 1:5000 το οποίο θα συμπληρωθεί με πληροφορίες από δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης (Quick Bird). Το σύστημα θα περιλαμβάνει υψομετρικά δεδομένα από την ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών ώστε να δημιουργηθούν δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα του υψομέτρου, της κλίσης και του προσανατολισμού του εδάφους.

Εκτός των παραπάνω, οι ψηφιακές δορυφορικές εικόνες και τοπογραφικοί χάρτες θα αξιοποιηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθούν ψηφιακά υπόβαθρα των κύριων οδικών αρτηριών, με έμφαση τον πολεοδομικό ιστό της πόλης, καθώς και χάρτες των κύριων δημοσίων κτηρίων που βρίσκονται σε συγκεκριμένα πολεοδομικά τετράγωνα, εντός του πολεοδομικού ιστού της πόλης. Με τον τρόπο αυτό θα δημιουργηθούν ψηφιακά υπόβαθρα των κύριων οδικών αρτηριών με έμφαση τον πολεοδομικό ιστό της πόλης καθώς και υπόβαθρα των δημοσίων κτηρίων.

Το ΣΓΠ στη συνέχεια θα κάνει τη σύνθεση των πρωτογενών μετρήσεων που θα πραγματοποιηθούν στο αστικό συγκρότημα της πόλης της Μυτιλήνης. Ο



επιδιωκόμενος σκοπός είναι να αποτελέσει το ΣΓΠ ένα ισχυρό και αποτελεσματικό εργαλείο σε θέματα υποστηρικτικών δράσεων λήψης αποφάσεων σε περίπτωση σεισμού, και πολεοδομικού σχεδιασμού και για την ελαχιστοποίηση του σεισμικού κινδύνου.

Οι μετρήσεις που θα πραγματοποιηθούν θα εισαχθούν στη γεωγραφική βάση δεδομένων του ΣΓΠ. Από τις μετρήσεις μικροθορύβου θα δημιουργηθούν χάρτες της σεισμικής συχνότητας και ενίσχυσης των σεισμικών κυμάτων με γεωαναφορά στο υπόβαθρο του πολεοδομικού ιστού. Τα χαρτογραφικά δεδομένα (κύρια δημόσια κτίρια) θα συνοδεύονται από βάση πληροφοριών, η οποία θα είναι διαθέσιμη μέσω του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών, κάνοντας εφικτή την επιλεκτική, κατά κατηγορία, ανάκτηση πληροφορίας.

Στο τελικό στάδιο θα ολοκληρωθεί η λειτουργία του δυναμικού χάρτη επικινδυνότητας μέσω του ΣΓΠ (Vasilakos et al, 2007). Αυτό θα πραγματοποιηθεί με την ανάπτυξη μεθοδολογίας, η οποία θα χρησιμοποιεί την σε σχεδόν πραγματικό χρόνο καταγραφή της σεισμικής επιτάχυνσης σε βραχώδες υπόβαθρο και στη συνέχεια με τη χρήση κατάλληλων μετασχηματισμών (θα επιχειρηθεί η εφαρμογή της κλασσικής τεχνικής του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier αλλά και η δυνατότητα χρήσης τεχνικής κυματιδίων –wavelets) θα υπολογίζει τη χωρική κατανομή της σεισμικής επιτάχυνσης στο αστικό συγκρότημα της Μυτιλήνης λαμβάνοντας υπ' όψη τα φασματικά δεδομένα της χωρικής κατανομής της εδαφικής ενίσχυσης (Vallianatos, Hloupis, 2008; Hloupis et al, 2003; Hloupis et al, 2004).

Με άλλα λόγια, σκοπός αυτού του βήματος είναι η ρεαλιστική και σε σχεδόν πραγματικό χρόνο απεικόνιση της εδαφικής κίνησης (shakemap). Το ShakeMap αναπτύχθηκε αρχικά για τους σεισμούς στη νότια Καλιφόρνια ως τμήμα του προγράμματος TriNet, μιας κοινής προσπάθειας των U.S. Geological Survey (USGS), California Institute of Technology (Caltech), και California Geological Survey (CGS) (Wald, 1999).

### **3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ**

#### **3.4.1 Δημιουργία Ψηφιακής Βάσης Δεδομένων**

Το αρχικό στάδιο της μεθοδολογίας είναι η συγκρότηση της βάσης δεδομένων, δηλαδή η συλλογή όλων των στοιχείων που κρίνονται απαραίτητα για

την πληρέστερη ανάλυση της μελετουμένης περιοχής. Τα συγκεκριμένα στοιχεία πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ακριβή και ενημερωμένα, ώστε να περιγράφουν την πραγματική κατάσταση της περιοχής. Αφού έχουν συλλεχθεί τα απαιτούμενα στοιχεία, το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία της ψηφιακής βάσης δεδομένων.

Απαραίτητο στοιχείο της συγκεκριμένης διατριβής αποτελεί ο γεωλογικός χάρτης της πόλης της Μυτιλήνης, ο οποίος θα συνδράμει στον καθορισμό των σημείων που θα γίνουν οι μετρήσεις πεδίου για την μελέτη της σεισμικής απόκρισης. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά του γεωλογικού χάρτη της πόλης της Μυτιλήνης και ψηφιοποίηση της πόλης της Μυτιλήνης και της γύρω περιοχής. Η γεωαναφορά και ψηφιοποίηση του χάρτη έγινε με χρήση του προγράμματος ArcGIS. Στη συνέχεια το χαρτογραφικό υπόβαθρο εμπλουτίστηκε και με άλλα στοιχεία (οδικό δίκτυο της πόλης, περιοχές ρευστοποίησης, ρήγματα, ακτογραμμή, κτίρια εκπαίδευσης, κτίρια έκτακτης ανάγκης, ξενοδοχεία, συνοικίες, υπηρεσίες, οικοδομικά τετράγωνα). Τέλος, στις διασταυρώσεις (junctions) στο οδικό δίκτυο έγινε εισαγωγή υψομέτρων από τον χάρτη 1:500 (παλιό σχέδιο πόλης).

### **3.4.2 Μετρήσεις εδαφικού θορύβου**

Προκειμένου να δημιουργηθεί χάρτης κάθε πολεοδομικού συγκροτήματος πάνω στον οποίο θα απεικονίζεται η μεταβολή της θεμελιώδους συχνότητας θα πραγματοποιηθούν καταγραφές εδαφικού θορύβου στην πόλη της Μυτιλήνης. Στη συνέχεια αυτές οι καταγραφές θα αναλυθούν και θα υποστούν επεξεργασία έτσι ώστε να υπολογιστεί η θεμελιώδης συχνότητα και μια εκτίμηση της ενίσχυσης σε κάθε θέση του πλέγματος μετρήσεων.

Οι καταγραφές εδαφικού θορύβου είναι μια προσέγγιση που επιλέγεται για τους εξής λόγους:

- ✓ Ευκολία εφαρμογής ανεξαρτήτως χρόνου και χώρου.
- ✓ Απλή χρήση οργάνων για την καταγραφή των δεδομένων.
- ✓ Δεν δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα.

Λόγω αυτών των πλεονεκτημάτων, οι μέθοδοι που στηρίζονται στον εδαφικό θόρυβο χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε μικροζωνικές μελέτες. Οι βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των καταγραφών εδαφικού θορύβου και κατά συνέπεια για την εκτίμηση της επίδρασης της τοπικής επιφανειακής γεωλογίας στην σεισμική κίνηση είναι:

1. Τεχνική των απόλυτων φασμάτων (Μέθοδος Kanai)
2. Τεχνική Kagami (Τεχνική Τυπικού Φασματικού Λόγου SSR)
3. Τεχνική Nakamura ή HVSR (Τεχνική Φασματικού Λόγου οριζόντιας προς κατακόρυφη συνιστώσας H/V)
4. Τεχνική Αντιστροφής της Ταχύτητας των κυμάτων μέσω κατάλληλων σεισμικών διατάξεων και στη συνέχεια χρησιμοποίηση αριθμητικών μεθόδων για τη θεωρητική εκτίμηση της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών.

Οι τρεις πρώτες τεχνικές έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι παρέχουν άμεσα πληροφορίες για την εκτίμηση της θεμελιώδους ιδιοσυχνότητας της υπό μελέτη τοποθεσίας καθώς και μια σχετική εκτίμηση του πλάτους της εδαφικής ενίσχυσης. Η τέταρτη τεχνική είναι μια γεωφυσική μέθοδος, η οποία εκτός από τον υπολογισμό των προηγούμενων ποσοτήτων οδηγεί και σε έμμεσες πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην εδαφική κίνηση. Τέλος, όπως έχει προαναφερθεί, στη συγκεκριμένη διατριβή θα εφαρμοστεί η τρίτη τεχνική (Τεχνική Nakamura).

### **3.4.3 Παραγωγή δυναμικού χάρτη διαχείρισης σεισμικού κινδύνου**

Ο Τάταρης (2002) επιχείρησε να προσδιορίσει την επικινδυνότητα των κομβικών σημείων τμήματος της πόλης της Μυτιλήνης, στα οποία ενδέχεται να δημιουργηθούν προβλήματα βατότητας, από μερικές ή ολικές καταρρεύσεις κτιρίων και αφ' ετέρου η χάραξη διαδρομών ασφαλούς πρόσβασης ή απομάκρυνσης από πληγείσες περιοχές, κατά την εκδήλωση ενός σεισμικού φαινομένου. Η προτεινόμενη ερευνητική δράση επεκτείνει τη ανωτέρω προσέγγιση με τη δυνατότητα εφαρμογής

και σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (near real time). Αυτό θα επιτευχθεί με τη χρήση νέων μεθοδολογιών που θα λαμβάνουν υπόψη τη φασματική αποκριση στη σεισμική κίνηση των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Το ερευνητικό αποτέλεσμα θα συμβάλλει στην άμεση πληροφόρηση για τα σημεία της πόλης στα οποία αναμένουμε αυξημένες τιμές της εδαφικής κίνησης. Το ΓΠΣ που θα δημιουργηθεί είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως μέσο λήψης αποφάσεων (decision support systems).

Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η εξοικονόμηση χρόνου, ο οποίος μπορεί να αποδειχθεί πολύτιμος, σε παρόμοιες περιπτώσεις, για την άμεση και αποτελεσματική επέμβαση, σε πληγείσες από το σεισμό περιοχές.

#### **4. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ**

Σύμφωνα με τις εργασίες που έχουν προγραμματιστεί εκτιμούμε ότι μέχρι το τέλος του 2012 θα έχει ολοκληρωθεί το ερευνητικό μέρος καθώς και η συγγραφή της προτεινόμενης διδακτορικής διατριβής. Οι εργασίες που έχουν ολοκληρωθεί μέχρι τώρα συνοπτικά είναι οι εξής:

- Γεωαναφορά και ψηφιοποίηση του γεωλογικού χάρτη της πόλης της Μυτιλήνης.
- Συλλογή ψηφιακών δεδομένων για την περιοχή μελέτης και εμπλουτισμός του γεωλογικού χάρτη.
- Συλλογή δεδομένων για τη γεωλογία και τη σεισμικότητα της περιοχής ενδιαφέροντος.
- Μετακίνηση της υποψήφιας διδάκτορα στα Χανιά (Τ.Ε.Ι. Κρήτης) και εκπαίδευσή της όσον αφορά τη χρήση του λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία δεδομένων μικροθορύβου και νέων τεχνικών ανάλυσης.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται το χρονοδιάγραμμα των εργασιών, που έχει καταρτιστεί με εκτιμώμενο χρονικό ορίζοντα ολοκλήρωσης της διατριβής τα τέλη του 2012:

Τίτλος φάσης	ΕΤΟΣ											
	2010				2011				2012			
Παρακολούθηση βιβλιογραφίας												
Διερεύνηση γεωτεκτονικού περιβάλλοντος και σεισμικότητα												
Μελέτη της σεισμικής απόκρισης εδαφών στο αστικό συγκρότημα της πόλης της Μυτιλήνης												
Ανάπτυξη δυναμικού Σ.Γ.Π. για την παρακολούθηση και διαχείριση του σεισμικού κινδύνου												
Συγγραφή διατριβής												

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Κατσικάτσος Γ., Ματαράγκας Δ., Μιγκίρος Γ., Τριανταφύλλη Ε.** (1982), Γεωλογική Μελέτη Νήσου Λέσβου, Ι.Γ.Μ.Ε.
- **Λαμέρα Σοφία** (2004), «Ο Ιγκνιμβρίτης του Πολυχνίτου της Νήσου Λέσβου», Διδακτορική διατριβή, Επιβλέπων καθηγητής: Seymour K.St, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- **Παπαζάχος Βασίλειος, Παπαζάχου Κατερίνα** (1989), «Οι σεισμοί της Ελλάδας» εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- **Τάταρης Γεώργιος** (2002), «Αντισεισμικός Σχεδιασμός και Προστασία: Η χρήση των Σ.Γ.Π. στην ανάλυση της βατότητας οδών», Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Π.Σ.Ε. Περιβαλλοντικής Χαρτογραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- **Τσιώκος Λεωνίδας** (2003), «Μελέτη ενεργών ρηγμάτων της Νήσου Λέσβου και περιβαλλοντικές επιπτώσεις», Πτυχιακή εργασία, Επιβλέπων καθηγητής: Ζούρος Νικόλαος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος.
- **Χατζόπουλος Ιωάννης** (2006), Τοπογραφία, Εκδόσεις Β. Γκιούρδα, ISBN: 960-387-482-5, 900 σελίδες.
- Ερευνητικό Πρόγραμμα: «Αναλυτική Μικροζωνική Μελέτη της πόλεως της Μυτιλήνης της νήσου Λέσβου», Πρώτη εξαμηνιαία έκθεση προόδου, Επιστ. Υπεύθυνος: Καθηγητής Κ.Χ. Μακρόπουλος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής-Γεωθερμίας, Εργαστήριο Σεισμολογίας, Αθήνα 1998.
- Advanced techniques for SEismic RISK reduction in Mediterranean Archipelago Regions, EU COMMUNITY INITIATIVE PROGRAMME INTERREG III B ARCHIMED 2006-2007, (Coordinator Prof. F. Vallianatos, 1.352 KEuro)
- **Alfaro A., Pujades L. G., Goula X., Susagna T., Navarro M., Sanchez J., and Canas A.** 2001. “Preliminary map of soil’s predominant periods in Barcelona using Microtremors”, *Pure Appl. Geophys.*, 158, pp. 2499-2511.
- **Ariki F., Shima S. and Midorikawa S.** 2004. “Earthquake disaster prevention of Yokohama City” *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol. 4, No. 3 (Special Issue).

- **Bindi D., Parolai S., Spallarossa D. and Cattaneo M. 2000.** “Site effects by H/V ratio: Comparison of two different procedures” *Journ. of Earth. Engin., vol. 4, No 1(2000), pp. 97-113.*
- **Bodin P., Smith K., Horton S., and Hwang H. 2001.** “Microtremor observations of deep sediment resonance in metropolitan Memphis, Tennessee”, *Engineering Geology, 62, pp. 159-168.*
- **Borsi S., Ferrara G., Innocenti F., Mazzuoli K. 1972,** “Geochronology and petrology of recent volcanics in the eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesvos island)”, *Bull.36, pp. 473-496.*
- **Bour M., Fouissac D., Dominique P., Martin C., 1998.** “On the use of microtremor recordings in seismic microzonation”, *Soil Dyn. And Earthq. Eng. Vol. 17, pp.465-474.*
- **Delgado J., Lopez Casado C., Estevez A., Giner J., Cuenca A., and Molina, S. 2000-b.** “Mapping soft soils in the Segura river valley (SE Spain) a case study of microtremors as a exploration tool”, *J. Appl. Geophys., 45, pp. 19-32.*
- **Delibasis N.D. & Voulgaris N.S. 1989,** “Microseismic and seismotectonic study of the island of Lesbos”. *European Geothermal Update, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Seminar on the Results of the EC Geothermal Energy Research and Demonstration, Florence 27-30 April 1989, Edited by Louvrier K., Staroste E. and Garnish J.D. Kluwer Academic Publishers, pp. 474-481.*
- **Duval A.-M., Bard P.-Y., LeBrun B., Lacave-Lacher C., Riepl J., and Hatzfeld D., 2001-b.** «H/V technique for site response analysis. Synthesis of data from various surveys», *Boll. Goef. Teor. Appl., 42, pp. 267-281.*
- **Duval A.-M., Bard P.-Y., Meneroud J.-P., and Vidal, S. 1995.** “Usefulness of microtremor measurements for site effects”, *Proc. of 10th European Confer, Proc. of Earthquake Engineering, Vienna, Austria, pp. 521-528.*
- **Duval A.-M., Vidal, S., Meneroud J.-P., Singer A., DeSantis F., Ramos C., Romero G., Rodriguez R., Pernia A., Reyes N., and Griman C., 2001-a.** «Site effect determination with Microtremors», *Pure Appl. Geophys., 158 Caracas, Venezuela, pp. 2513-2523.*

- **F. Vallianatos and G. Hloupis**, “HVSR Technique Improvement Using Redundant Wavelet Transform” in *Increasing Seismic Safety by Combining Engineering Technologies and Seismological Data, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security* ISSN1874-6519, Springer Netherlands, 2008
- **Fäh D., Ruttener T., Noack T. and Kruspan P.** 1997. “Microzonation of the City of Basel” *Journal of Seismology*1, pp. 87-102.
- **Field E.H and Jacob K.H.** 1995. “A Comparison and Test of Various Site Response Estimation Techniques, Including Three That Are Not Reference Site Dependent” *Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 85, No.4, pp. 1127-1143.
- **Field E.H. and Jacob K.H.** 1993 “The Theoretical Response of Sedimentary Layers to Ambient Seismic Noise” *Geophys. Res. Let.*, vol. 20, pp. 2925-2928.
- **Field E.H. and Jacob K.H.** 1994. “A comparison and test of various site response estimation techniques, including three that are non referense-site dependent” *BSSA*, vol. 85, pp. 1127-1143, June 1994.
- **Field E.H., Hough S.E. and Jacob K.H.** 1990. “Using Microtremors to Assess Potential Earthquake Site Response: A Case Study in Flusing Meadows, New York City” *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 80, No. 6, pp. 1456-1480.
- **Field E.H., Jacob K.H. and Hough S.E.** 1992. “Earthquake Site Response Estimation: A Weak-Motion Case Study” *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 82, No. 6, pp.2283-2307.
- **Field, E.** 1996. “Spectral amplification in a sediment-filled valley exhibiting clear basin-edgeinduced waves”, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 86, pp. 991–1005.
- **Final Technical Report, Integrated Regional and Urban Seismic Monitoring** —Wasatch Front Area, Utah,and Adjacent Intermountain Seismic Belt, January 1, 2004–December 1, 2006
- **Fytikas M., Lombardi S., Papachristou M., Pavlides S., Zouros N. and Soulakelis N.**, 1999. “Investigation of the 1867 Lesbos (NE Aegean) earthquake fault pattern based on soil-gas geochemical data. *Tectonophysics* 308, pp. 249 -261.



- **Gaull B. A., Kagami H., and Taniguchi H. 1995.** “The Microzonation of Perth, Western Australia, Using Microtremor Spectral ratios”, *J. Earthq. Eng.*, 11, pp. 173-191.
- **Hecht J. ,1972,** “Zur Geologie von Sudost Lesbos (Griechenland)”. *Z. Deutsch Geol.* 123, pp. 423-432.
- **Hecht J., 1974a.** Geological map of Greece, 1:50000, Mithimna sheet. IGME.
- **Hecht J., 1974b.** Geological map of Greece, 1:50000, Polychnitos sheet. IGME.
- **Hloupis G, Moisiidi M, Vallianatos F., Stonham J., Makris J. and Triantis D.** “Application of CLEAN algorithm in incomplete microtremors recordings” in *Int. Conf. on MATHEMATICS AND COMPUTERS IN PHYSICS (MCP 2003)*
- **Hloupis G, Vallianatos F and Stonham J, 2004** “Stationarities vs., non-stationarities in HVSR technique” in *Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology*, pp. 697-702.
- **Ibs-von Seht M., and Wohlenberg J. 1999.** “Ambient noise Measurements used to map thickness of soft sediments”, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 89, pp. 250–259.
- **Kanai K. 1954.** “Measurements of Microtremors”. *Bulletin of earthquake research institute, Tokyo University*, 32, pp. 199-210.
- **Katsikatsos, G., Migiros, G., Triantaphyllis, M. and Mettos, A., 1986,** “Geological structure of internal Hellenides ( E. Thessaly- SW. Macedonia, Euboea- Attica- Northern Cyclades islands and Lesbos)”. *IGME. Geol. & Geoph. Res. Special Issue*, 191-212.
- **Koukouvelas I.K. and Aydin A., 2002.** “Fault structure and related basins of the North Aegean Sea and its surroundings. *Tectonics* 21, 0, 10, 1029, 2001TC901037.
- **Lachet C. and Bard P.Y 1994.** “Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura’s Technique” *J. Phys. Earth*, vol. 42, pp. 377-397.
- **Lang D, Molina-Palacios S, Lindholm C. 2008,** “Towards Near-Real-Time Damage Estimation Using a CSM-Based Tool for Seismic Risk Assessment”,

NORSAR, International Centre for Geohazards (ICG), Kjeller, Norway b  
Departamento de Ciencias del Mary Biología Aplicada, Universidad de  
Alicante, Alicante, Spain.

- **Lermo J., Francisco S. and Chavez-Garcia J.** 1992. “Site Effect Evaluation using microtremors: a review (abstract)” *EOS* 73, p. 352.
- **Magnetotellurics in the frontal part of the Hellenic Arc.** (*ARCHEMIDES Proect-II, Greek Ministry of Education, 2005-2006*), (Senior researcher, 50 KEuro).
- **Mirzaoglou M. and Dykmen U.** 2003. “Application of microtremors to seismic microzoning procedure”. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, Vol.6, No 3, pp. 143-156.
- **Moisidi Margarita,** 2009. “Geological geophysical and seismological investigations for earthquake hazard estimation in western Crete” PhD, Institute for the environment, Brunel University.
- **Mucciarelli M. and Monachesi G.** 1998. “A quick survey of local amplifications and their correlation with damage observed during the Umbro-Marchesan (Italy) earthquake of September 26, 1997” *Jour. of Earth. Engin.* vol. 2, No 2(1998), pp. 325-337.
- **Mucciarelli M.,** 1998 “Reliability and Applicability of Nakamura’s technique using Microtremors: An experimental approach”, *J. Earthq. Eng.*, 2, 625-638.
- **Nakamura Y.** 1989. “A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface” *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)*, vol. 30, No.1.
- **Nakamura Y., Gurler E-D., Saita J., Rovelli A. and Donati S.** 2000. “Vulnerability investigation of roman Collisseum using microtremor” *Proc. of WCEE 2000*.
- **Navarro M., Enomoto T., Sanchez F. J., Matsuda I., Iwatate T., Posadas A. M., Luzon F., and Seo K.** 2001. “Surface soil effects study using short-period Microtremors observations in Almeria City, Southern Spain”, *Pure Appl. Geophys.*, 158, pp. 2481-2497.

- **Nogoshi, M. and Igarashi, T.** (1971), “On the Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2) (in Japanese with English abstract)”, *Jour. Seism. Soc. Japan*, 24, pp. 26-40.
- **Ohmachi T., Nakamura Y. and Toshinawa T.** 1991. “Ground Motion Characteristics in the San Francisco Bay Area detected by Microtremor Measurements” *Proc. 2<sup>nd</sup>. Int. Conf. On Recent Adv. In Geot. Earth. Eng. And Soil Dyn., 11-15 March, ST. Louis, Missouri*, pp. 1643-1648.
- **Omori, F.** 1907. “Notes on the Valparaiso and Aleutian earthquakes of August 17, 1906”, *Bulletin of the Imperial Earthquake Investigating Committee*, vol. 1, pp. 75–113.
- **Rodriguez V.H.S. and Midorikawa S.** 2002, “Applicability of the H/V spectral ratio of microtremors in assessing site effects on seismic motion”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, pp. 261-279.
- **Sarris A., Loupasakis C., Soupios P., Trigkas V., Vallianatos F.,** 2010 “Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: application to Chania City, Crete Island, Greece”, *Nat. Hazards*, 54, pp. 395-412.
- **Seht M. and Wohlenberg J.** 1999. “Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments” *BSSA vol. 89, No 1*, pp. 250-259.
- **Singh S.K., Mena E, Castro R.** 1988. “Some aspects of source characteristics of the 19 September 1985 Michoacan Earthquake and ground motion amplification in the near Mexico City from strong motion data”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 78, No.2, pp. 451-477.
- **TALOS:** Ολοκληρωμένο Σύστημα Παρακολούθησης & Διαχείρισης σεισμικού κινδύνου στο μέτωπο του ελληνικού τόξου. Εφαρμογή στις πόλεις Χανίων & Ηρακλείου, ΓΓΕΤ – Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Κρήτης 2000-2006.
- **Vallianatos F., Hloupis G.,** 2008. «HVSr technique improvement using Redundant Wavelet Transform», in *Increasing Seismic Safety by combining Engineering Technologies and Seismological Data*, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security ISSN1874-6519, Springer Netherlands, 2008.

- **Vasilakos Christos, Kalabokidis Kostas, Hatzopoulos John, Kallos George and Matsinos Yiannis.** 2007, “Integrating new methods and tools in fire danger rating”, *International Journal of Wildland Fire*, 2007, 16, pp. 306–316, [www.publish.csiro.au/journals/ijwf](http://www.publish.csiro.au/journals/ijwf).
- **Wald, D. W, Quitariano, V., Heaton, T. H., Kanamori, H., Scrivner, C. W., and Worden, C. B.** 1999 “TriNet “ShakeMaps”’: Rapid Generation of Peak Ground Motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California,” *Earthquake Spectra* 15(3), pp. 537–555.
- **Woolery E. W., and Street R.,** 2002. “3D near-surface soil response from H/V ambient-noise ratios”, *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 22, pp. 865-876.
- **Yamanaka H., Takemura M., Ishida H., and Niwa M.** 1994. “Characteristics of Long-Period microtremors and their applicability in exploration of deep sediments”, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84, pp. 1831-1841.