Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες και Ραδόνιο Περιβάλλοντος από Γεω-συστήματα Μακράς Μνήμης: Τηλεανίχνευση, Χάος, Αυτο-οργάνωση και Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων.

1.Περίγραμμα

Το ερευνητικό έργο στο συγκεκριμένο εδάφιο αναφέρεται στη διαρκή τηλεανιχνευόμενη καταγραφή Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου του Περιβάλλοντος που εκπέμπονται από Γεω-συστήματα μακράς μνήμης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων συστήματων είναι τα φρακταλικά-χαοτικά Γεω-συστήματα κατά τη διάρκεια προετοιμασίας και εξέλιξης σεισμικών γεγονότων και τα Βιο-συστήματα κατά τη διάρκεια επιληπτικών κρίσεων και καρδιακών προσβολών. Επί του παρόντος η έρευνα του συγκεκριμένου εδαφίου έχει περιορισθεί μόνο στα προσεισμικά Γεω-συστήματα. Τα συστήματα αυτά ανήκουν στο ευρύτερο επιστημονικό πεδίο των φυσικών καταστροφών (natural disasters) μαζί με αυτά των πυρκαγιών, τσουνάμι, πυρηνικών ατυχημάτων και των συναφών. Υπό την έννοια αυτή, τα τηλεανιχνευόμενα Περιβαλλοντικά Γεω-συστήματα που εκπέμπουν Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες και Ραδόνιο έχουν άμεση αναφορά και στόχο τον Άνθρωπο. Δεδομένου ότι οι Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες και το Ραδόνιο Περιβάλλοντος ανήκουν στην Εφαρμοσμένη Φυσική Ακτινοβολιών, συμπεραίνεται ότι το συγκεκριμένο εδάφιο αναφέρεται στην Εφαρμοσμένη Φυσική Ακτινοβολιών στο Περιβάλλον και στον Άνθρωπο.

Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι η τηλεανιχνευόμενη καταγραφή Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου από Γεω-συστήματα, έχει σαφώς συσχετισθεί με τις διαδικασίες τάσης, συμπίεσης και παραμόρφωσης των συστημάτων αυτών, δηλαδή αυτές της δημιουργίας και εξέλιξης σεισμών. Οι σχετιζόμενες εκπεμπόμενες Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες του Περιβάλλοντος καλύπτουν ευρύ φάσμα συχνοτήτων, από εξαιρετικά χαμηλές τιμές (VLF-Very Low Frequencies), έως πολύ υψηλές τιμές (VHF-Very High Frequencies), παρουσιάζουν δε ιδιάζουσα συμπεριφορά, κατά τη φάση που τα λιθοσφαιρικά Γεω-συστήματα βρίσκονται σε κρίσιμη κατάσταση. Σύμφωνα με τα δεδομένα της τελευταίας πενταετίας, έχει αποδειχθεί ότι και οι διαταραχές του Ραδονίου Περιβάλλοντος παρουσιάζουν ιδιάζουσα συμπεριφορά, μάλιστα με πολλά κοινά σημεία με αυτήν των Ηλεκτρομαγνητικών Διαταραχών.

Τα αντικείμενα του επιστημονικού έργου του παρόντος εδαφίου είναι τα κάτωθι:

1. Η διαρκής τηλεανίχνευση διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος (διαφόρων συχνοτήτων).
2. Η διαρκής τηλεανίχνευση διαταραχών Ραδονίου Περιβάλλοντος στο έδαφος.
3. Η συντήρηση, αναβάθμιση, επέκταση του ήδη υπάρχοντος δικτύου τηλεανιχνευόμενων διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου Περιβάλλοντος.
4. Η ανάλυση των δεδομένων με χρήση των παρακάτω μεθόδων ανίχνευσης φρακταλικής-χαοτικής συμπεριφοράς και μακράς μνήμης των Γεω-συστημάτων εκπομπής:

   (1) Ανάλυση χρονικής εξέλιξης παραμέτρων νόμου δύναμης (power-law) τύπου

   I. Κυλιόμενου Παραθύρου (sliding-gliding window)

   II. Συνεχών μη επικαλυπτόμενων παραθύρων (lumping)

   (2) Ανάλυση χρονικής εξέλιξης δείκτη Hurst μέσω

   I. Ανάλυσης κλιμακούμενου εύρους (rescaled range) (R/S)

   II. Ανάλυσης μήκους τραχύτητας (roughness-length) ($R-L$)

   III. Ανάλυσης βαριογράμματος (Variogram)

   και αυτά με τύπο

   I. Κυλιόμενου Παραθύρου (sliding-gliding window)

   II. Συνεχών μη επικαλυπτόμενων παραθύρων (lumping)

   (3) Ανάλυση χρονικής εξέλιξης χαοτικής αυτοσυσχέτισης μέσω της τεχνικής DFA (Detrended Fluctuation Analysis) με τύπο

   I. Κυλιόμενου Παραθύρου (sliding-gliding window)

   II. Συνεχών μη επικαλυπτόμενων παραθύρων (lumping)

   (4) Ανάλυση χρονικής εξέλιξης συμβολικής δυναμικής μέσω των παρακάτω δεικτών αυτο-οργάνωσης χρονοσειρών:

   I. Εντροπία Shannon

   II. Εντροπία Shannon ανά γράμμα

   III. Εντροπία υπό συνθήκη (conditional entropy)

IV. Εντροπία υπό συνθήκη ανά γράμμα

V. Κανονικοποιημένη εντροπία

VI. Κανονικοποιημένη εντροπία ανά γράμμα

VII. Εντροπία Tsallis

VIII. Εντροπία Tsallis ανά γράμμα

IX. Προσεγγιστική εντροπία (approximate entropy)

X. Προσεγγιστική εντροπία ανά γράμμα

και τα παραπάνω με τύπο

I. Κυλιόμενου Παραθύρου (sliding-gliding window)

II. Συνεχών μη επικαλυπτόμενων παραθύρων (lumping)

5. Η ανάλυση του παραπάνω υπο-εδαφίου με χρήση εντροπίας κβαντισμένων σημάτων (σημάτων στάθμης).
6. Η συσχέτιση των αναλύσεων των υπο-εδαφίων 3 & 4 με τις διαδικασίες μακράς μνήμης Γεω-συστημάτων και η ανάπτυξη σχετικών φυσικών και μαθηματικών προτύπων.

Οι άμεσοι στόχοι του παρόντος έργου είναι οι κάτωθι:

1. Η επέκταση της υπάρχουσας γνώσης δημιουργίας διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου από Γεω-συστήματα
2. Η διερεύνηση και ερμηνεία συσχετίσεων διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου από Γεω-συστήματα με τις διαδικασίες γένεσης σεισμών και τη, συνακόλουθη, προστασία του Ανθρώπου.

Η ερευνητική μεθοδολογία περιλαμβάνει:

1. Τη συντήρηση και επέκταση υπάρχοντος δικτύου τηλεανίχνευσης διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου Περιβάλλοντος από Γεω-συστήματα
2. Την εγκατάσταση νέων σταθμών
3. Τη βελτίωση του δικτύου μέσω εγκατάστασης πιλοτικών σταθμών τηλεανίχνευσης διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου

από Γεω-συστήματα

I. μέσω αύξησης του ρυθμού δειγματοληψίας (άνω των 100 δειγμάτων ανά sec)

II. βελτίωσης των καταγραφέων δεδομένων (data loggers) (άνω των 28 ημερών με 12Χ86400 δεδομένα ανά ημέρα)

4. Την εισαγωγή νέων μεθοδολογιών για την ανάλυση των καταγραφών διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου από Γεω-συστήματα
5. Την αυτοματοποίηση μερικών ή όλων των τεχνικών ανάλυσης (analysis on-the go)

Είναι σημαντικό εδώ να τονιστεί ότι το παρόν έργο πρόκειται να επεκταθεί στα εδάφια

1. των βιο-συστημάτων επιληπτικών κρίσεων,
2. της προετοιμασίας εγκεφαλικών επεισοδίων και
3. της προετοιμασίας καρδιακών προσβολών.

Τα τελευταία ανήκουν στο αντικείμενο της βιοπληροφορικής

Το παρόν έργο βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Ήδη έχει οδηγήσει στο σχηματισμό ομάδας εντός του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων του ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ. Ερευνητικά υπεύθυνος είναι ο γράφοντας. Το δίκτυο τηλεανίχνευσης διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου από Γεω-συστήματα αποτελεί τμήμα υλικοτεχνικής υποδομής του Θεσμοθετημένου Εργαστηρίου του Τομέα ΜΗΤ ου Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων του ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ. Οι τεχνικές επίσης αποτελούν αντικείμενο αποστολής του άνωθι εργαστηρίου.

Παρακάτω αναλύονται τα μέχρι τώρα αποτελέσματα στο πεδίο εφαρμογής των Γεω-συστημάτων μακράς μνήμης κατά τη διάρκεια προετοιμασίας σεισμών.

2.Εισαγωγή:

2.1. Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες και Ραδόνιο Περιβάλλοντος από Γεω-

συστήματα Μακράς Μνήμης: Τηλεανίχνευση

2.1.1.Γενικά

Η τηλεανίχνευση, άλλως αποκαλούμενη και τηλεμετρία, είναι η επιστήμη της πληροφορικής που ασχολείται με την ανίχνευση από μακρυά (remote sensing) και τη μεταφορά δεδομένων από ένα σταθμό ανίχνευσης, καταγραφής και μέτρησης προς έναν κεντρικό σταθμό. Οι σταθμοί ανίχνευσης, καταγραφής και μέτρησης μπορεί να είναι σταθμοί μετεωρολογικοί, σεισμολογικοί, θερμοκήπια ή γενικά κάθε σταθμός που ανιχνεύει και μετρά αναλογικές πληροφορίες και αυτές αποστέλλονται σε ένα κεντρικό σταθμό για περαιτέρω επεξεργασία και αξιοποίηση.

Η τηλεανίχνευση μπορεί να χωρισθεί σε δυο μεγάλες κατηγορίες. Πρώτη κατηγορία είναι η τηλεανίχνευση πραγματικού χρόνου (real time) όπου τα δεδομένα που λαμβάνονται στο σταθμό μέτρησης καταγράφονται ταυτόχρονα και στον κεντρικό σταθμό με αποτέλεσμα ο κεντρικός σταθμός να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο τις μεταβολές των φυσικών παραμέτρων που διαβάζονται από το σταθμό μέτρησης. Δεύτερη κατηγορία είναι η συλλογή και μετέπειτα αποστολή στον κεντρικό σταθμό. Τα δεδομένα που λαμβάνονται στο σταθμό μέτρησης αποθηκεύονται στην μνήμη ενός ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger). Ο κεντρικός σταθμός σε τακτά χρονικά διαστήματα επικοινωνεί μέσω δικτύου ψηφιακών επικοινωνιών με το σταθμό μέτρησης και καθοδηγεί το καταγραφικό του σταθμού να του στείλει τα δεδομένα μετά από την τελευταία επικοινωνία.

Στην πρώτη περίπτωση τηλεμετρήσεων επιβάλλεται η χρησιμοποίηση μισθωμένου κυκλώματος τηλεφωνίας το οποίο κοστίζει ακριβά για απόσταση άνω των 250 km . Υπάρχει βεβαίως και η λύση της ασύρματης επικοινωνίας αλλά υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω. Στην δεύτερη περίπτωση τηλεμετρήσεων το κόστος περιορίζεται στην κανονική χρέωση χρήσης απλού επιλεγόμενου αστικού ή υπεραστικού δικτύου. Η κατηγορία αυτή της τηλεανίχνευσης χρησιμοποιείται όταν ο όγκος των πληροφοριών ημερησίως δεν είναι μεγάλος. Έτσι το κόστος λειτουργίας είναι μικρότερο και από το κόστος συντήρησης ενός ασυρματικού δικτύου. Επισημαίνεται ότι στη δεύτερη κατηγορία μετρήσεων υπάγονται οι περισσότερες εφαρμογές της τηλεανίχνευσης όπως για παράδειγμα οι μετεωρολογικές

και σεισμολογικές μετρήσεις, οι μετρήσεις ατμοσφαιρικών ρύπων και ραδιενέργειας κ.τ.ο.

Είναι σημαντικό να τονισθεί εδώ ότι οι επιθυμητές συνθήκες λειτουργίας δεν είναι πάντα άριστες. Για παράδειγμα υπάρχει πιθανότητα στα επιθυμητά σημεία εγκατάστασης σταθμών πεδίου, να μην υπάρχει το ενσύρματο δίκτυο ψηφιακών επικοινωνιών ή ακόμη και ηλεκτρισμός. Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται η λειτουργία του σταθμού τηλεανίχνευσης να γίνεται με όσο το δυνατό μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και ασυρματικά. Πρέπει δηλαδή να προσαρμόζεται η εγκατάσταση και λειτουργία το σταθμού τηλεανίχνευσης στις συνθήκες της κάθε περιοχής. Πρέπει επίσης να τονισθεί ότι συνήθως απαιτούνται σταθμοί μετρήσεων σε περισσότερα σε διάσπαρτα σημεία. Τα δεδομένα από όλους τους σταθμούς πρέπει να συγκεντρωθούν σε ένα και μόνο σταθμό ο οποίος αποκαλείται κεντρικός σταθμός.

Παρακάτω γίνεται ειδική αναφορά στη δεύτερη κατηγορία τηλεανίχνευσης, δηλαδή αυτής με τη χρήση ψηφιακών συστημάτων καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers).

2.1.2.Τεχνική τηλεμετρίας με χρήση ψηφιακών συστημάτων καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers)

Όπως ήδη αναφέρθηκε, στις εφαρμογές της τηλεανίχνευσης με χρήση ψηφιακών συστημάτων καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers), λαμβάνονται αρχικά οι μετρήσεις των αναλογικών σημάτων, στη συνέχεια αυτές αποθηκεύονται στα ψηφιακά αποθηκευτικά μέσα και τελικά γίνεται η μεταφορά τους στον κεντρικό σταθμό. Βασική συνθήκη είναι η ορθή λήψη των μετρήσεων, επομένως θα πρέπει οι αισθητήρες (sensors) που μετατρέπουν τις αναλογικές πληροφορίες των φυσικών παραμέτρων σε ηλεκτρικό σήμα να μη δίνουν εσφαλμένες μετρήσεις. Η ψηφιοποίηση των αναλογικών μετρήσεων, από την άλλη πλευρά, καθορίζεται από το πρόγραμμα που είναι φορτωμένο στο ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger). Τα συστήματα που έχουν την ονομασία dataloggers περιέχουν μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), μνήμη RAM για την αποθήκευση προγραμμάτων, δεδομένων κ.τ.λ. και μνήμη ROM όπου είναι αποθηκευμένο το λειτουργικό πρόγραμμα. Δομικό στοιχείο των ψηφιακών συστημάτων καταγραφής και

αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers) είναι ο μετατροπέας του αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (A/D converter). Ο αναλογικοψηφιακός μετατροπέας (A/D converter) αποτελεί τη διασύνδεση (interface) μεταξύ του αισθητήρα και του υπολογιστή. Η ορθή λειτουργία του αναλογικοψηφιακού μετατροπέα (A/D converter) εξασφαλίζει το μικρότερο πιθανό λάθος στις μετρήσεις.

Τα ψηφιακά συστήματα ψηφιακών καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers) που χρησιμοποιούνται στους σταθμούς μέτρησης, πρέπει να εκτελούν διάφορες εργασίες ταυτόχρονα έτσι ώστε κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας με τον κεντρικό σταθμό για τη μεταφορά των δεδομένων να καθίσταται δυνατή η ταυτόχρονη αποθήκευση πληροφοριών από τους αισθητήρες. Επισημαίνεται ότι η επικοινωνία των ψηφιακών συστημάτων καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers) γίνεται με modem ή με περιφερειακές μονάδες αποθήκευσης, μέσω σειριακής πόρτας. Ο κεντρικός σταθμός είναι ο αποδέκτης των πληροφοριών από όλους τους σταθμούς μέτρησης και συνήθως αποτελείται από ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή (με δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου όγκου πληροφοριών), ένα modem και μία τηλεφωνική γραμμή για την επικοινωνία με τους σταθμούς μέτρησης. Ο κεντρικός σταθμός πρέπει να είναι εφοδιασμένος με κατάλληλο λογισμικό ώστε να κάνει αυτόματα την περισυλλογή των δεδομένων από τους σταθμούς μέτρησης καθώς και να εξασφαλίζει την ορθή μεταφορά τους από αυτούς. Το λογισμικό του κεντρικού σταθμού πρέπει να έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξασφαλίζει την επικοινωνία με τον σταθμό μέτρησης και τη μεταφορά των δεδομένων με επιτυχία. Απαραίτητη είναι η συνένωση των αρχείων των δεδομένων που έχουν αποθηκευτεί. Η διαδικασία αυτή είναι και η πιο σημαντική διότι δημιουργεί ένα τελικό αρχείο όπου βρίσκονται όλες οι μετρήσεις όλων των σταθμών μέτρησης μαζί με την ημερομηνία και το χρόνο μέτρησης. Το πρόγραμμα λοιπόν πρέπει να είναι ικανό να ξεχωρίζει τις πληροφορίες της αυτής χρονικής στιγμής που ελήφθησαν από τους σταθμούς μέτρησης, διότι μερικοί μπορεί να μην λειτουργούσαν σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα ή από λάθος κατά την επικοινωνία να έχουν αποστείλειι το ίδιο πακέτο δεδομένων. Σημαντικό για τον χρήστη της όλης διάταξης είναι να μπορεί να συγκρίνει μετρήσεις που έγιναν από διάφορους σταθμούς την ίδια χρονική στιγμή. Ο καλύτερος τρόπος είναι μέσω της γραφικής τους απεικόνισης στην οθόνη του υπολογιστή ή σε καταγραφικό. Απαιτείται επομένως και εξειδικευμένο λογισμικό το οποίο θα είναι εξειδικευμένο στην πυκνότητα του δικτύου τηλεανίχνευσης και στο σύνολο των ημερησίων καταγραφών από κάθε σταθμό πεδίου. Είναι

απαραίτητο επίσης το λογισμικό να παρέχει δυνατότητα επιλεκτικής αναπαράστασης δεδομένων από επιλεγμένους σταθμούς και όλα αυτά με δυναμική προσέγγιση.

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω μπορεί να υποστηριχθεί ότι ξεκινώντας τη δημιουργία ενός δικτύου τηλεανίχνευσης θα πρέπει να εξασφαλισθεί το μικρότερο δυνατό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας και με την προϋπόθεση ότι αυτό θα λειτουργήσει και κάτω από αντίξοες συνθήκες. Βασικός παράγοντας για τη διαμόρφωση του δικτύου είναι ο όγκος της μεταφερόμενης πληροφορίας και η απόσταση μεταξύ των σταθμών. Αν η μεταφορά των δεδομένων γίνει μέσω μισθωμένης τηλεφωνικής γραμμής, η συντήρηση του διαύλου επιβαρύνει τον τηλεφωνικό πάροχο, αλλά υπάρχει χρέωση ανάλογα με το χρόνο χρήσης των κυκλωμάτων. Αν η μεταφορά γίνει μέσω ασυρματικού δικτύου, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας επιβαρύνει το χρήστη του δικτύου. Για αυτό το λόγο συνήθως χρησιμοποιούνται ενδιάμεσοι σταθμοί. Στους ενδιάμεσους σταθμούς, η σύνδεση τους με τους σταθμούς μέτρησης είναι με το επιλεγόμενο δίκτυο, ο ρόλος των οποίων είναι κυρίως η ελάττωση του τηλεφωνικού κόστους. Δεδομένου ότι η σύνδεση ενδιάμεσου σταθμού με μερικούς τοπικούς σταθμούς γίνεται με την χρησιμοποίηση αστικού επιλεγόμενου δικτύου σε χαμηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, ο ενδιάμεσος σταθμός μετά από τη διαχείριση των πληροφοριών μπορεί να τις αποστείλει στον κεντρικό σταθμό με μεγάλη ταχύτητα και συμπίεση δεδομένων, ελαττώνοντας κατά αυτό τον τρόπο την υπεραστική χρέωση.

2.2. Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες και Ραδόνιο Περιβάλλοντος από Γεω-συστήματα Μακράς Μνήμης: Χάος, Αυτο-οργάνωση και Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων

Είναι αποδεκτό ότι πρόδρομα ηλεκτρομαγνητικά σήματα ανιχνεύονται πριν από σεισμούς σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι για την παρατήρηση προδρόμων φαινομένων σεισμού. Η πρώτη μέθοδος είναι η άμεση παρατήρηση των ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών από τη λιθόσφαιρα. Αυτό είναι βασισμένο στο γεγονός ότι φυσικές εκπομπές ακτινοβολίας λαμβάνουν χώρα στα υποκέντρα των σεισμών, λόγω τεκτονικών αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της φάσης προετοιμασιών τους. Η δεύτερη μέθοδος είναι η έμμεση ανίχνευση των σεισμικών αποτελεσμάτων που πραγματοποιούνται με μορφή ανωμαλίας διάδοσης προϋπαρχόντων δομών αποστολής σημάτων. Αυτό είναι βασισμένο στο γεγονός ότι

υπάρχουν ανωμαλίες στην ατμόσφαιρα και την ιονόσφαιρα λόγω σεισμικότητας, πράγμα που οδηγεί στην παραγωγή μιας ανωμαλίας διάδοσης με χαρακτηριστικά ανιχνευόμενου σήματος. Δεδομένου ότι ένας σεισμός είναι μια ξαφνική μηχανική αποτυχία του ετερογενούς φλοιού της γης, είναι λογικό να αναμένεται ότι η προπαρασκευαστική διαδικασία του συνοδεύεται από εκφάνσεις σε διάφορες κλίμακες, ενδεχομένως ανιχνεύσιμες πριν από την τελική καταστροφή. Δεδομένου ότι η διάδοση ρωγμών είναι ο βασικός μηχανισμός της αποτυχίας του υλικού, η εξέλιξη ρωγμών πριν από τους σεισμούς μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη σεισμικά προκληθείσα αποτυχία του υλικού. Κατά τη διάρκεια της διάδοσης ρωγμών, οι επιφάνειες πρόσφατα δημιουργημένων μικρο-ρωγμών καθίστανται ηλεκτρικά δίπολα λόγω έντονου διαχωρισμού που προκαλείται από τη ρήξη των διατομικών (ιοντικών) δεσμών. Η κίνηση μιας ρωγμής κυβερνάται από δυναμική αστάθεια. Αυτή η αστάθεια προκαλεί ταλαντώσεις στην ταχύτητα και τη δομή της στην επιφάνεια της ρωγμής. Ο μηχανισμός αστάθειας είναι αυτός της τοπικής διακλάδωσης όπου μια κατάσταση πολυ-ρωγμών διαμορφώνεται από επαναλαμβανόμενες μικρές ρωγμές. Λόγω της ισχυρής δόνησης των τοίχων των ρωγμών στο στάδιο της αστάθειας, το υλικό συμπεριφέρεται ως αποδοτικός ηλεκτρομαγνητικός εκπομπός. Αυτές οι ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές θεωρούνται ως πρόδρομα φαινόμενα γενικευμένης καταστροφής και είναι ανιχνεύσιμα και εργαστηριακά αλλά και σε γεωλογική κλίμακα. Σαφείς ανωμαλίες Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος συχνοτήτων kHz - MHz έχουν ανιχνευθεί κατά τη διάρκεια περιόδων που κυμαίνονται από μερικές ημέρες έως μερικές ώρες πριν από καταστρεπτικούς σεισμούς.

Πιο συγκεκριμένα, όταν ένα ετερογενές υλικό παραμορφώνεται, η προσέγγιση της μακροθραύσης χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση μικρορωγμών (micro-cracks). Οι μικρορωγμές παράγουν ακουστικές και ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές, από χαμηλές (VLF) έως υψηλές (VHF) συχνότητες, που αποτελούν πρόδρομα φαινόμενα της θραύσης. Τα πρόδρομα αυτά φαινόμενα είναι ανιχνεύσιμα στο εργαστήριο και τη γεωφυσική κλίμακα. Βασικό εργαλείο για τον εντοπισμό των μικρορωγμών που εμφανίζονται πριν από τη θραύση των πετρωμάτων είναι η καταγραφή από επίγειους σταθμούς πεδίου της επαγωγικής ηλεκτρομαγνητικής εκπομπής εύρους συχνοτήτων VLF-VHF. Οι Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες του παραπάνω εύρους συχνοτήτων εκπέμπονται με πρόδρομο χρόνο που κυμαίνεται από μερικές εβδομάδες έως ώρες. Η ανίχνευση ιχνών μακράς μνήμης και αυτο-οργανωσης στις καταγραφόμενες διαταραχές

Ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών τους αποτελεί σημαντικό στοιχείο στην αποκρυπτογράφηση των διαδικασιών που οδηγούν στη μη αντιστρεπτή κατάρρευση των υλικών και, τελικά, τη θραύση. Σήμερα (2017) επικρατεί η άποψη ότι η προετοιμασία της θραύσης και η κατάρρευση των Γεω-συστημάτων προ σεισμών, ακολουθεί *δυναμική κρίσιμου σημείου,* εκδηλώνεται δηλαδή εφόσον συγκεκριμένες παράμετροι φθάσουν σε κρισιμότητα. Η στατιστική ανάλυση των χρονοσειρών διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος με χρήση μεθόδων fractals, τεχνικών ελέγχου μακράς μνήμης και εντροπικών μεθόδων (βλ. Εδάφιο **1**), έχει οδηγήσει στη διατύπωση σειράς κριτηρίων που υποδεικνύουν τη λανθάνουσα κρίσιμη συμπεριφορά.

Εκτός από τις διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος οι έντονες χρονικές μεταβολές των συγκεντρώσεων ενεργότητας του Ραδονίου Περιβάλλοντος (^{222}Rn) έχουν επίσης προταθεί ως πρόδρομα φαινόμενα ισχυρών σεισμών καθώς επίσης για την ανίχνευση της κυκλοφορίας ρευστών της γης, για τη μελέτη του φυσικού εξαερισμού σπηλαίων καθώς και για την ανίχνευση ηφαιστειακής δραστηριότητας. Η ανίχνευση του Ραδονίου Περιβάλλοντος γίνεται κυρίως από τις διασπάσεις α (^{222}Rn προς ^{218}Po και ^{214}Po σε ^{210}Pb), λόγω των οποίων καθίσταται δυνατή η ανίχνευσή του ακόμη και σε πολύ μικρά επίπεδα (της τάξης των 10^{-10} ppb). Οι μετρήσεις έχουν διεξαχθεί κατά βάση με παθητικές-ολοκληρωτικές τεχνικές (δεν απαιτείται χρήση ρεύματος, το αποτέλεσμα παρέχεται εντός ευρέων χρονικών διαστημάτων) ή (κατά την τελευταία πενταετία) με ενεργητικές τεχνικές (απαιτείται χρήση ρεύματος, το αποτέλεσμα παρέχεται άμεσα). Σχετικές μελέτες έχουν αναφερθεί στο εδαφικό αέριο σε υπόγεια ύδατα ή στην ατμόσφαιρα υπόγειων σηράγγων. Επίσης, μελέτες έχουν διεξαχθεί για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της υψηλής εκροής (exhalation) ραδονίου από το έδαφος και της εφαρμογής μηχανικών τάσεων (stress) σε δείγματα πετρωμάτων ή σχετικά πιο πρόσφατα, στην περιοχή μιας τεχνητής λίμνης. Πρέπει όμως να τονισθεί, ότι η σχέση ανάμεσα στην άσκηση μηχανικών τάσεων και την αυξημένη εκροή ραδονίου είναι λίγο κατανοητή. Ως εκ τούτου, απαιτούνται εξειδικευμένες μετρήσεις, ειδικά κοντά σε ηφαιστειογενείς ή σεισμογενείς περιοχές.

Είναι σαφές ότι η μελέτη Γεω-συστημάτων προ σεισμών απαιτεί πολυδιαστατική προσέγγιση. Στα πλαίσια των δεδομένων οικονομικών δυνατοτήτων που έχουν υπάρξει μέχρι σήμερα, το ερευνητικό έργο του παρόντος εδαφίου έχει τέτοια προσέγγιση.

Μέχρι στιγμής έχει πραγματοποιηθεί ανεξάρτητη αλλά και συσχετισμένη μελέτη προσεισμικών διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος και Ραδονίου Περιβάλλοντος. Έχουν συλλέγει και συλλέγονται διαρκώς διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου Περιβάλλοντος με στόχο την επέκταση και τη θεμελίωση της γνώσης στο εδάφιο αυτό.

Στη διαδικασία της ανάλυσης προσεισμικών διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου Περιβάλλοντος αναδύονται ορισμένα ιδιαίτερα κρίσιμα ερωτήματα τα οποία, επί του παρόντος, παραμένουν ανοικτά*:*

1. *Πως διακρίνεται μια ανωμαλία από το θόρυβο εντός του οποίου είναι εμβαπτισμένη;*

2. *Η καταγραφή μιας ανωμαλίας, με όρους fractals, μακράς μνήμης και αυτο-οργάνωσης, σημαίνει de-facto ότι το Γεω-σύστημα που την εξέπεμψε είναι προσεισμικό;*

3. *Είναι αναπόφευκτη η έλευση ενός σεισμού μετά την καταγραφή μιας ανωμαλίας προσεισμικού Γεω-συστήματος;*

4. *Σε ποιο στάδιο της προετοιμασίας κατάρρευσης ενός προσεισμικού Γεω-συστήματος εκπέμπονται ακολουθιακά τα προσεισμικά σήματα ραδονίου και τα Ηλεκτρομαγνητικά σήματα ULF, MHz και kHz;*

Παρακάτω αναλύονται τα άνωθι ερωτήματα σε μερική έκταση:

1. *Πως διακρίνεται μια ανωμαλία από το θόρυβο εντός του οποίου είναι εμβαπτισμένη;*

Εξ' ορισμού, μία ανωμαλία σε μια χρονοσειρά σημαίνει διαφοροποίηση των δομικών χαρακτηριστικών της χρονοσειράς σε σύγκριση με εκείνα του υποβάθρου. Ποσότητες που βασίζονται στην έννοια της εντροπίας μπορούν να διαπιστώσουν διαφοροποίηση στην οργάνωση των δεδομένων της χρονοσειράς. Από τη φύση του το σεισμικό γεγονός είναι αποτέλεσμα οργάνωσης των μικρο-μονάδων θραύσης του προσεισμικού Γεω-συστήματος, δηλαδή των μικρο-ρωγμών. Αναμένεται συνεπώς ότι ένα σήμα που εκπέμπεται από ένα προσεισμικό Γεω-σύστημα θα διέπεται από χαμηλή εντροπία, δηλαδή υψηλή οργάνωση, υψηλή προβλεπτικότητα, μικρή πολυπλοκότητα και μεγάλη συμπιεστότητα. Αντίθετα, τα χαρακτηριστικά του υπόβαθρου προσεγγίζουν εκείνα του θορύβου, έτσι το υπόβαθρο της καταγραφής χαρακτηρίζεται από χαμηλή οργάνωση, χαμηλή προβλεπτικότητα, μεγάλη πολυπλοκότητα και χαμηλή δυνατότητα συμπίεσης.

Συνεπώς, με τη χρησιμοποίηση εντροπικών ποσοτήτων ή μέτρων από τη θεωρία της πληροφορίας είναι δυνατό να διακριθεί μια αναδυθείσα ανωμαλία από το υπόβαθρο. Η βιβλιογραφία έχει αναδείξει το γεγονός ότι δεν υπάρχει άριστη ποσότητα για τη διάκριση μιας ανωμαλίας από το θόρυβο. Συνεπώς, μια ενδελεχής μελέτη επιβάλει τη χρησιμοποίηση διαφόρων ποσοτήτων και την περαιτέρω διαπίστωση της σύγκλισης ή μη των αποτελεσμάτων. Μέχρι στιγμής έχει αποκτηθεί αρκετή εμπειρία στο πεδίο αυτό και τα μέχρι τώρα δημοσιευμένα αποτελέσματα το αποδεικνύουν. Με περαιτέρω προσπάθεια αναμένεται ότι η διάκριση μιας ανωμαλίας από το υπόβαθρο θα γίνεται με τρόπο επιστημονικά απόλυτα επαρκή.

2. *Η καταγραφή μιας ανωμαλίας, με όρους fractals, μακράς μνήμης και αυτο-οργάνωσης, σημαίνει de-facto ότι το Γεω-σύστημα που την εξέπεμψε είναι προσεισμικό;*

Η διάκριση μιας ανωμαλίας Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας ή Ραδονίου από το υπόβαθρο, μέσω ανίχνευσης χαρακτηριστικών fractals, μακράς μνήμης και αυτο-οργάνωσης, αποτελούν αξιοσημείωτες ενδείξεις, αλλά δεν εξασφαλίζουν a-priori την προσεισμικότητα του συσχετιζόμενου Γεω-συστήματος. Για παράδειγμα, άλλα φυσικά φαινόμενα, όπως οι μαγνητικές καταιγίδες και η ηλιακή δραστηριότητα επάγουν επίσης ανωμαλίες στις Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες Περιβάλλοντος με υψηλή οργάνωση και χαμηλή πολυπλοκότητα και αυτό, διότι και αυτά τα φαινόμενα είναι κρίσιμα. Συνεπώς, *η παρουσία υψηλής οργάνωσης και χαμηλής πολυπλοκότητας* σε μια ανωμαλία Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολίών ή Ραδονίου Περιβάλλοντος *είναι αναγκαία* αλλά *όχι ικανή συνθήκη* ώστε να καθοριστεί με σαφή επιστημονικά κριτήρια ότι το Γεω-σύστηματα που την εξέπεμψε είναι προσεισμικό. Σύγχρονες μελέτες έχουν αποδείξει ότι οι κρίσιμες διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας συχνότητας MHz, συσχετίζονται με κρίσιμες διαταραχές Ραδονίου εδαφικού αερίου και μάλιστα και οι δύο τύπου διαταραχές εμπεριέχουν παρόμοια ίχνη και αντιστοιχούν σε κοντινές φάσεις εξέλιξης του κρίσιμου Γεω-συστήματος.

Πάντως, σε κάθε περίπτωση ανίχνευσης ανωμαλίας πρέπει να αποκλειστεί η σύνδεσή της με άλλες φυσικές πηγές. Στα πλαίσια του παρόντος έργου επιδιώκεται η διατύπωση νέων κριτηρίων για την ασφαλέστερη υπό συζήτηση διάκριση.

3. *Είναι αναπόφευκτη η έλευση ενός σεισμού μετά την καταγραφή μιας ανωμαλίας προσεισμικού Γεω-συστήματος;*

Δεν υπάρχει σαφής απάντηση σε αυτό το ερώτημα με αυστηρά επιστημονικά κριτήρια. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων η έλευση ενός μεγάλου σεισμού συνοδεύεται από μια δραστική ελάττωση του δείκτη b του νόμου Gutenberg-Richter. Υπενθυμίζεται, ότι ο εν λόγω νόμος, περιγράφει τη συχνότητα εμφάνισης σεισμών συναρτήσει του μεγέθους των. Η δραστική ελάττωση του δείκτη αυτού απεικονίζει τη σχετική αύξηση των μεγαλύτερων σεισμικών γεγονότων, ως προς τα μικρά, καθώς ένα σημαντικό σεισμικό γεγονός προσεγγίζεται. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου μειώνεται δραστικά η παράμετρος b χωρίς να εμφανισθεί σεισμός. Το ίδιο συμβαίνει και με τις διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας και Ραδονίου προσεισμικών Γεω-συστημάτων. Όταν όμως μια διαταραχή δεν ακολουθείται από γεγονός αποχαρακτηρίζεται ως προσεισμική. Εν τέλει, το σχετικό ερώτημα παραμένει ανοικτό.

4. *Σε ποιο στάδιο της προετοιμασίας κατάρρευσης ενός προσεισμικού Γεω-συστήματος εκπέμπονται ακολουθιακά τα προσεισμικά σήματα ραδονίου και τα Ηλεκτρομαγνητικά σήματα ULF, MHz και kHz;*

Αυτό είναι ένα κομβικό ερώτημα χωρίς όμως σαφή απάντηση σε όρους επιστήμης μέχρι σήμερα. Παρ'όλα αυτά, υπάρχουν πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα από Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες Περιβάλλοντος συχνοτήτων MHz και kHz και από το Ραδόνιο του εδαφικού αερίου. Είναι πολύ σημαντικό να τονισθεί ότι ο μέσος προς μικρός πρόδρομος χρόνος εμφάνισής τους, αιτιολογημένα τα συνδέει με τα καταληκτικά κρίσιμα στάδια της τελικής κατάρρευσης ενός προσεισμικού Γεω-συστήματος. Η μέχρι σήμερα προσέγγιση του θέματος, έχει οδηγήσει στην επιστημονική παραδοχή που αναλύεται παρακάτω.

Είναι αποδεκτό ότι κατά μήκος ενός ρήγματος αναπτύσσεται μια ακολουθία μεγάλων και σκληρών δομών που υπέχουν θέση κλείθρων. Οι δομές αυτές (τραχύτητες-asperities) εμποδίζουν τη σχετική ολίσθηση των δύο πλευρών του ρήγματος και συνεπώς παρεμποδίζουν την κατάρρευση του Γεω-συστήματος, δηλαδή την εκδήλωση του σεισμού. Η σπονδυλική στήλη των asperities είναι εμβαπτισμένη σε ένα έντονα ετερογενές υλικό όχι μόνο ως προς τη φύση του αλλά κυρίως ως προς την κατανομή των ορίων θραύσεως των υλικών που το συνιστούν. Υπό αυτό το πρίσμα, οι Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες Περιβάλλοντος συχνοτήτων MHz και kHz και το Ραδόνιο του εδαφικού αερίου, εκπέμπονται αρχικά κατά τη θραύση του ετερογενούς υλικού του Γεω-συστήματος που περιβάλλει την οικογένεια των asperities. Σε αυτή τη φάση τα εκπεμπόμενα σήματα εκδηλώνουν κύρια συμπεριφορά αντι-εμμονής (anti-

persistency). Σε αυτή τη φάση, η θραύση ξεκινά από μια υπο-περιοχή του Γεω-συστήματος που έχει το μικρότερο όριο θραύσης και συνεχίζεται έως να συναντήσει περιοχή μεγαλύτερου ορίου θραύσεως οπότε και σταματά. Αυτό συνεχίζεται για την υπό-περιοχή με το αμέσως επόμενο όριο θραύσης μέχρι την επόμενη παύση κ.ο.κ Η φυσική της συμπεριφοράς αντι-εμμονής, σε αυτή τη φάση, υποδηλώνει ότι οι θραύσεις, συνεπώς και οι τάσεις, έχουν συγκεντρωθεί κατά μήκος της σπονδυλικής των asperities. Έχει, δηλαδή, αρχίσει *η πολιορκία των asperities από το πεδίο των τάσεων. Αυτό όμως δε σημαίνει ότι οι asperities θα σπάσουν.* Η θραύση θα εμφανισθεί όταν το ετερογενές μέσο δε μπορεί να απορροφήσει την ενέργεια της ταλάντωσης των asperities και, συνακόλουθα, ξεκινήσει η ολίσθηση της μίας κλείθρας σε σχέση με την άλλη. Τότε πλέον δεν είναι δυνατή η αντιστροφή του φαινομένου το οποίο πλέον, εκδηλώνει μεγάλη μνήμη και οδηγείται κλιμακωτά προς την κατάρρευση, δηλαδή το σεισμό. Σε αυτή την τελική φάση οι Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες συχνοτήτων MHz και kHz και το Ραδόνιο του εδαφικού αερίου, εκδηλώνουν κύρια συμπεριφορά εμμονής (persistency) με κυριότερο αποτύπωμα (footprint) την εναλλαγή εμμονής και αντι-εμμονής. Από εκεί και πέρα, η έλευση του σεισμού είναι αναπόφευκτη. Οι παραπάνω φάσεις συνοδεύονται από έντονα φαινόμενα αυτο-ομοιότητας (self-affinity, self-similarity), μακράς μνήμης (long-memory) και αυτό-οργάνωσης (self-organisation). Η τεκμηρίωση των παραπάνω προτάσεων, επιβάλλει την περαιτέρω επαλήθευση από προσεχή σεισμικά γεγονότα. Τα τελευταίο είναι ένας από τους βασικούς στόχοι του έργου του συγκεκριμένου εδαφίου.

Από τα παραπάνω καθίσταται εμφανές, ότι, αφενός μεν, η εγκατάσταση σταθμών ταυτόχρονης συλλογής καταγραφών των μεταβολών των διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος συχνοτήτων MHz και kHz και του Περιβαλλοντικού Ραδονίου του εδαφικού αερίου από συγκεκριμένες περιοχές - στόχους (με έμφαση στις σεισμογενείς περιοχές), αφετέρου δε, η πολυποίκιλη στατιστική ανάλυση των σχετικών χρονοσειρών, μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα χρήσιμη στον τομέα της μελέτης και ερμηνείας εκπομπών πρόδρομων φαινομένων κατάρρευσης Γεω-συστημάτων.

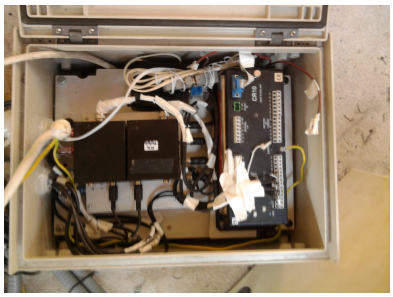
3.Υλικά και Μέθοδος:

3.1.Εξοπλισμός

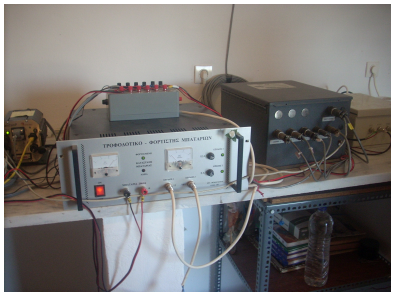
Σχετικά με την καταγραφή Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών συχνοτήτων MHz και kHz υπάρχει σημαντική υλικοτεχνική υποδομή η οποία αποτελεί το προϊόν συσσωρευμένης έρευνας στο σχετικό χώρο. Συγκεκριμένα, από το 1991 έως το 1996 στην περιοχή της Κρήτης, εγκαταστάθηκε και λειτουργούσε αδιαλείπτως δίκτυο τηλεανίχνευσης και τηλεανίχνευσης προσεισμικών ηλεκτροτελλουρικών και διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος. Έχοντας την εμπειρία λειτουργίας πέντε ετών του δικτύου τηλεανίχνευσης της Κρήτης, από το 1997 ξεκίνησε η επέκταση του δικτύου τηλεανίχνευσης στην Ηπειρωτική Ελλάδα κάνοντας χρήση του τηλεμετρικού δικτύου του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Το τηλεμετρικό δίκτυο αυτό αποτελείτο από 17 αναλογικούς (VCO) σταθμούς πεδίου που κατέγραφαν τους σεισμούς και μετέφεραν τις σεισμολογικές πληροφορίες με τηλεμετρία πραγματικού χρόνου (real time telemetry), χρησιμοποιώντας μισθωμένα κυκλώματα ΟΤΕ. Για τις ανάγκες της επέκτασης σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε νέα δομή για το τηλεμετρικό δίκτυο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου μετατρέποντας το σε ψηφιακό. Το υλοποιηθέν ψηφιακό τηλεμετρικό δίκτυο, χαρακτηρίζεται ως Πολυδύναμο Τηλεμετρικό Ψηφιακό Δίκτυο «πραγματικού χρόνου», βρίσκεται σήμερα σε λειτουργία και βασίζεται στη δυνατότητα της διαρκούς ασύρματης μεταφοράς (μέσω modem) οκτώ εισόδων, παρέχοντας τη δυνατότητα της αποστολής ποικιλίας πληροφοριών από κάθε σταθμό πεδίου όπως π.χ. σεισμολογικών, ηλεκτρομαγνητικών, μετεωρολογικών κ.α. και με κόστος ίδιο με αυτό του ήδη λειτουργούντος μισθωμένου κυκλώματος. Σήμερα, η μία από αυτές εισόδους, χρησιμοποιείται για τη διαρκή μεταφορά σεισμολογικών καταγραφών που προέρχονται από 22 νέους ψηφιακούς σεισμολογικούς σταθμούς της Αμερικανικής Εταιρίας Teledyne (οι περισσότεροι από τους οποίους χρησιμοποιήθηκαν σε αντικατάσταση των παλαιών 17 αναλογικών σταθμών). Η δεύτερη είσοδος χρησιμοποιείται για τη διαρκή μεταφορά των καταγραφών των διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών συχνοτήτων MHz και kHz που προέρχονται από τους μετρητικούς σταθμούς υπαίθρου τους οποίους ελέγχει και λειτουργεί ο γράφοντας με τα μέλη της ερευνητικής του ομάδας. Οι διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος ανιχνεύονται από διπολικές κεραίες συγχρονισμένες στα 41 MHZ και τα 46 MHz καθώς και βρόγχοκεραίες συγχρονισμένες στα 3 kHz και τα 10 kHz προσανατολισμένες στις διευθύνσεις ανατολή-δύση (EW) και βορράς-νότος (NS) (**Σχήμα 1**). Οι δέκτες των χαμηλών συχνοτήτων (3 kHz και 10 kHz) περιλαμβάνουν ενισχυτές ευρείας ζώνης και χαμηλού θορύβου καθώς και ενεργά φίλτρα διέλευσης ζώνης συχνοτήτων και η τελική βαθμίδα κάθε δέκτη είναι ένας μετατροπέας τάσης rms σε dc. Οι δέκτες των υψηλών συχνοτήτων (41 MHz και 46

MHz) στηρίζονται στην τεχνική της διπλής ετεροδύνωσης. Το μετρητικό στο σταθμό πεδίου συμπληρώνουν νέα ψηφιακά συστήματα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων **(**dataloggers) με προγραμματιζόμενη λειτουργία, εξαιρετική αυτονομία, υψηλή ανάλυση μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (14bits) και κυκλική μνήμη για την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων ή αντίστοιχα συστήματα της Campbel Scientific (USA) (βλ. εδάφιο **4.1**). Οι υπόλοιπες είσοδοι είναι σήμερα ελεύθερες για τη μεταφορά άλλων πληροφοριών.

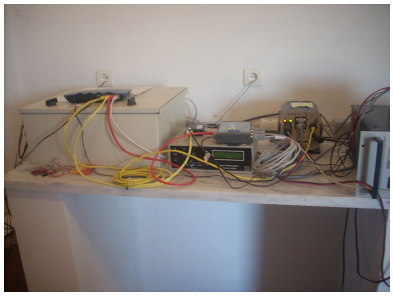
(α)



(β)



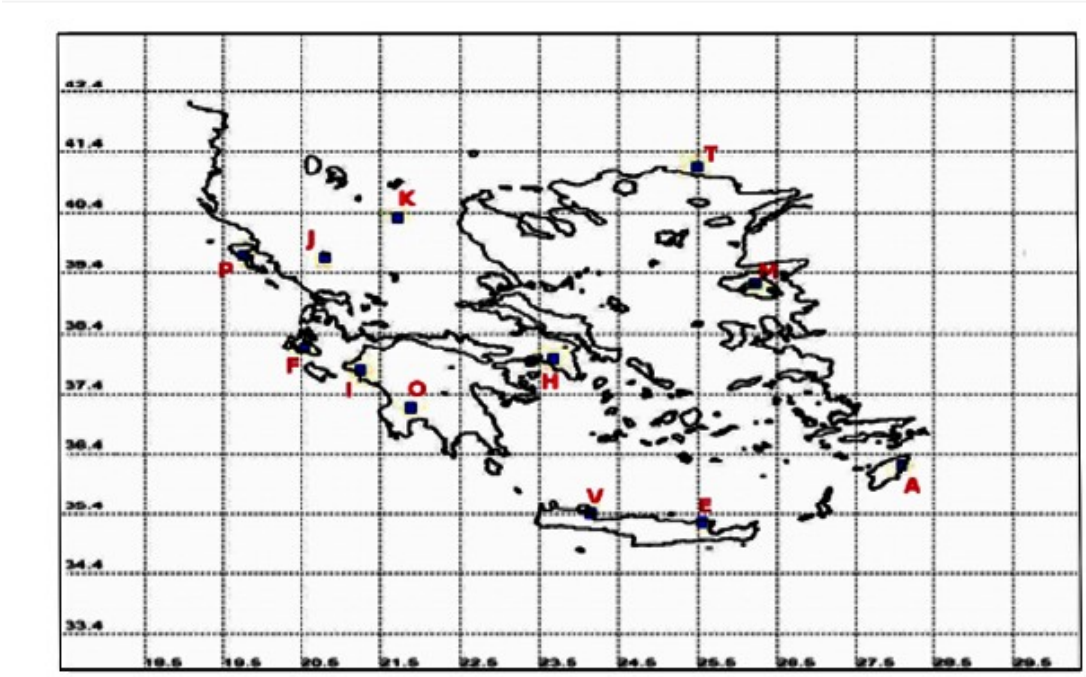
(γ)



(δ)

Σχήμα 1: Στοιχεία δικτύου τηλεανίχνευσης. **(α)** Διπολικές κεραίες συγχρονισμένες στα 41 MHz και τα 46 MHz . Βρογχοκεραίες συγχρονισμένες στα 3 kHz (κόκκινες) και τα 10 kHz (μαύρες). **(β)** Δέκτες σήματος. **(γ)** Τροφοδοτικά και φορτιστές μπαταρίας. **(δ)** Data loggers.

Οι μετρητικοί αυτοί σταθμοί είναι σήμερα εγκατεστημένοι πλησίον των σεισμολογικών σταθμών του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου στις ακόλουθες σεισμικές περιοχές (**Σχήμα 2**): (1) ***Ιθώμη (O)***, Πελοπόννησος, (2) ***Βαλσαμάτα (F)***, Κεφαλλονιά, (3) ***Ιωάννινα (J)***, (4) ***Κοζάνη (K)***, (5) ***Κομοτηνή (T)***, (6) ***Καλλονή (M)***, Λέσβος, (7) ***Πόλη της Ρόδου (P)***, Ρόδος, (8) ***Νεάπολη (E)***, Κρήτη, (9) ***Βάμος (V)***, Κρήτη, (10) ***Πόλη της Κέρκυρας (P)***, Κέρκυρας, (11) ***Καρδαμάς (I)***, Ηλεία, και (12) ***Αταλάντη (H)***, κεντρική Ελλάδα. Σχεδόν όλοι οι σταθμοί βρίσκονται κατά μήκος της ελληνικής τάφρου.



Σχήμα 2: Δίκτυο τηλεανιχνευόμενων διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος στην Ελλάδα.

Μεταξύ 2006 και 2008 υλοποιήθηκε επιπροσθέτως η εγκατάσταση δύο τηλεανιχνευόμενων σταθμών Ραδονίου στην περιοχή του Καρδαμά Ηλείας και της Μυτιλήνης, Λέσβου βασιζόμενων στον ενεργητικό μετρητή Alpha Guard της εταιρείας Saphymo. Το 2014 εγκαταστάθηκε επίσης ένας νέος σταθμός τηλεανιχνευόμενων διαταραχών Περιβαλλοντικού Ραδονίου εδαφικού αερίου που βασίζεται στον ενεργητικό μετρητή VDG της ALGADE. Επισημαίνεται ότι οι ενεργητικοί μετρητές Alpha Guard και VDG, αποτελούν τις κορυφαίες ενεργητικές διατάξεις του είδους.

(α) **(β)** **(γ)**

Σχήμα 3: (α-β) μετρητής Alpha Guard (Saphymo). (γ) σύστημα VDG Algade Baracol.

Συγκεντρωτικά, για τις πειραματικές τεχνικές που αφορούν μετρήσεις Περιβαλλοντικού Ραδονίου εδαφικού αερίου χρησιμοποιείται ο παρακάτω εργαστηριακός εξοπλισμός που περιλαμβάνει:

1.Ενεργητικό μετρητή ραδονίου AlphaGuard PQ2000Pro της εταιρίας Genitron Instruments: Η λειτουργία του μετρητή στηρίζεται στην τηλεανίχνευση σήματος λόγω της α-ακτινοβολίας, που προέρχεται από το ραδόνιο από θάλαμο ιονισμού και εν συνεχεία τη μετατροπή αυτού σε ψηφιακό. Το σήμα ακολουθεί μια διαδικασία ανάλυσης μέσα από το ηλεκτρονικό δίκτυο του οργάνου μέχρι την τελική καταγραφή του.

Η καταγραφή του αποτελέσματος σε Bq/m^3 γίνεται με κύκλους 10 min ή 60 min κατ' επιλογή. Ταυτόχρονα καταγράφονται η θερμοκρασία, η πίεση και η υγρασία του χώρου των μετρήσεων με αισθητήρες που υπάρχουν ενσωματωμένοι στο όργανο.

Η είσοδος δείγματος στον θάλαμο ιοντισμού του μετρητή (active volume 0,56 L) γίνεται παθητικά (diffusion).

2. Αντλία AlphaPUMP της εταιρίας Genitron Instruments: για μετρήσεις σε κλειστά κυκλώματα αερίου (δείγματα οικοδομικών υλικών κ.λπ.).

3. Σετ AquaKIT της εταιρίας Genitron Instruments: για μετρήσεις Rn σε δείγματα

νερού (100 mL)

4. Ράβδος μετρήσεων ραδονίου σε εδαφικό αέριο της εταιρίας Genitron Instruments:

5.Στερεούς Ανιχνευτές Καταγραφής Ιχνών: Χρησιμοποιούνται κύρια οι ανιχνευτές CR 39. Έχει αναπτυχθεί συγκεκριμένη γεωμετρία εγκλεισμού των ανιχνευτών, η οποία έχει βαθμονομηθεί (εδάφιο **14.1.1.1.1.I)**. Επίσης έχει συστηματοποιηθεί η διάβρωση και η μέτρηση των ανιχνευτών σε κατάλληλο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Επίσης έχει οργανωθεί πρόγραμμα ανάγνωσης των ιχνών με αυτόματη καταγραφή των εικόνων και λογισμικό άμεσης ανάγνωσης της πυκνότητάς αυτών.

6.Πλήρες σύστημα καταγραφής ραδονίου εδαφικού αερίου τύπου VDG ALGADE BARACOL.

3.2. Μεθοδολογία ανάλυσης

3.2.1.Ανάλυση Φράκταλ

Κατά τη διάρκεια της σύνθετης διαδικασίας της προετοιμασίας σεισμού, οι διασυνεσεις μεταξύ διαστήματος και χρόνου παράγουν χαρακτηριστικές φρακταλικές δομές. Οι φρακταλικές αυτές δομές αφήνουν ίχνη στα σήματα που ανιχνεύονται στη διαδικασία παραγωγής σεισμού. Η πυκνότητα φάσματος δύναμης (PSD), $S(f)$, είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιημένη τεχνική για να ανιχνευθούν οι χρήσιμες πληροφορίες για την μακα μνήμη του συστήματος. Αν και το φάσμα δύναμης είναι μόνο το χαμηλότερο στατιστικό μέτρο εκτίμησης των αποκλίσεων τυχαιότητας από την ομοιογένεια, εντούτοις απεικονίζει άμεσα τις φυσικές κλίμακες των διαδικασιών που έχουν επιπτώσεις στο σχηματισμό δομών. Εάν μια χρονοσειρά, $A(t_i)$ είναι χρονικό φράκταλ, τότε αναμένεται νόμος δύναμης, δηλ., $S(f)=\alpha \cdot f^{-b}$ όπου f είναι η συχνότητα κάποιου μετασχηματισμού. Σε μια παρουσίαση $\log(S(f))-\log(f)$, το φάσμα δύναμης είναι μια ευθεία γραμμή, με γραμμική κλίση b . Η φασματική ενίσχυση a ποσοτικοποιεί τη δύναμη των φασματικών συστατικών μετά από το φασματικό νόμο πυκνότητας δύναμης. Ο φασματικός εκθέτης είναι ένα μέτρο της δύναμης των χρονικών συσχετισμών. Η καταλληλότητα του νόμου δύναμης ελέγχεται από το τετράγωνο του γραμμικού συντελεστή συσχέτισης, r^2 . Ιδιαίτερη σημασία

δίνεται εάν ανιχνεύονται σημαντικές αλλαγές στον εκθέτη b πριν από ή κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε ανιχνευόμενης ανωμαλίας. Στις σχετικές μελέτες χρησιμοποιείται τόσο ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier όσο και ο διακριτός μετασχηματισμό wavelet (DWT) πακέτο βάσης το κυματοπακέτο Morlet.

Για τη διερεύνηση, ακολουθήθηκαν τα ακόλουθα βήματα :

(ι) Τα σήματα MHZ EM διαιρέθηκαν σε τμήματα (παράθυρα) με 1024-2048 δείγματα ανά τμήμα. Αυτή η κατάτμηση αναμενόταν να αποκαλύψει τα χαρακτηριστικά φράκταλ των σημάτων (π.χ., Eftaxias et al., 2010).

(ii) Σε κάθε τμήμα υπολογίστηκε η PSD του σήματος. Για τον υπολογισμό της PSD, χρησιμοποηθηκαν το wavelet Morlet και η φασματική ανάλυση Φουριέ.

(iii) Σε κάθε τμήμα, ερευνήθηκε η ύπαρξη νόμου-δύναμης. Στον υπολογισμό του DWT μέσω της PSD, η υιοθετημένη συχνότητα ήταν η κεντρική συχνότητα του μετασχηματισμού Φουριέ της αντίστοιχης κλίμακας Morlet.

(iv) Η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων εφαρμόστηκε για τη γραμμική διακύμανση. Επιτυχείς παρατηρήσεις θεωρήθηκαν εκείνες που επέδειξαν τετράγωνα του συντελεστή συσχέτισης πάνω από 0.95, δηλ., διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

3.2.2. Ανάλυση εκθετών Hurst

3.2.2.1.Γενικά

Ο εκθέτης Hurst (H) είναι μια μαθηματική ποσότητα που μπορεί να ανιχνεύσει εξαρτήσεις μεγάλου εύρους χρονοσειρών. Μέσω του εκθέτη Hurst μπορεί να εκτιμηθεί η χρονική ομαλότητα μιας χρονοσειράς και να αναζητηθεί αν το συναφές φαινόμενο είναι μια χρονοσειρά φράκταλ. Ο εκθέτης Hurst εισήχθη αρχικώς για μελέτες υδρολογίας. Έχει χρησιμοποιηθεί όμως σε πολλούς άλλους τομείς έρευνας, όπως για παράδειγμα, στα ίχνη της κυκλοφορίας των οχημάτων, τις αναταράξεις πλάσματος, τα γεωμαγνητικά πεδία ULF, την κλιματική δυναμική, τη μελέτη πρόδρομων σημάτων επιληπτικών κρίσεων, την αστρονομία, την αστροφυσική και την οικονομία. Τιμές εκθέτη H μεταξύ $0{,}5<H<1$ είναι πρόδηλες μακροπρόθεσμης θετικής αυτοσυσχέτισης σε χρονολογικές σειρές. Αυτό σημαίνει ότι μια υψηλή παρούσα τιμή θα ακολουθείται, ενδεχομένως, από μια υψηλή μελλοντική τιμή και αυτή η τάση θα διαρκέσει για αξιοσημείωτες μελλοντικές χρονικές περιόδους (εμμονή). Τιμές εκθέτη

H μεταξύ $0<H<0,5$ υποδεικνύουν χρονοσειρά με μακροχρόνια εναλλαγή μεταξύ υψηλών και χαμηλών τιμών. Δηλαδή, μια υψηλή παρούσα τιμή θα ακολουθείται, ενδεχομένως, από χαμηλή μελλοντική τιμή, ενώ η επόμενη μελλοντική τιμή θα είναι υψηλή και αυτή η αλλαγή θα διαρκέσει για πολύ καιρό στο μέλλον (αντί-εμμονή). Η τιμή $H=0.5$ συνεπάγεται πλήρως ασυσχέτιστες χρονοσειρές.

3.2.2.2.Ανάλυση R/S

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η ανάλυση κλιμακούμενου εύρους (rescaled range) (R/S), ή άλλως, ανάλυση R/S , είναι η πλέον κλασική μέθοδος για τον υπολογισμό εκθετών Hurst. Σύμφωνα με τη μέθοδο R/S , μία φυσική εγγραφή στο χρόνο, $X(N)=x(1),x(2),..,x(N)$ μετασχηματίζεται σε μία νέα μεταβλητή $y(n,N)$ εντός μίας χρονικής περιόδου $n(n=1,2,...,N)$ από τη μέση τιμή, $\langle x\rangle_N=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}x(n)$, στη διάρκεια μιας περιόδου N μονάδων χρόνου. Η μεταβλητή $y(n,N)$ καλείται αθροιστική αναχώρηση (accumulated departure) της φυσικής εγγραφής στο χρόνο. Ο μετασχηματισμός γίνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$y(n,N)=\sum_{i=1}^{n}(x(i)-\langle x\rangle_N) \tag{1}$$

Το κλιμακούμενο εύρος υπολογίζεται από τη σχέση (2) :

$$R/S=\frac{R(n)}{S(n)} \tag{2}$$

Το εύρος $R(n)$ στη σχέση (2) ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής της $y(n,N)$ ως :

$$R(n)=\max_{1\le n\le N}y(n,N)-\min_{1\le n\le N}y(n,N) \tag{3}$$

Η τυπική απόκλιση $S(n)$ στη σχέση (2) υπολογίζεται ως :

$$S(n)=\sqrt{\frac{1}{N}(x(n)-\langle x\rangle_N)^2} \tag{4}$$

Ο λόγος R/S αναμένεται να ακολουθεί νόμο δύναμης με βάση τη διαμέριση n δηλαδή αναμένεται να ισχύει ότι

$$\frac{R(n)}{S(n)}=C\cdot n^H \tag{5}$$

όπου H είναι ο εκθέτης Hurst και C είναι μία σταθερά αναλογίας.

Ο λογαριθμικός μετασχηματισμός της σχέσης (V5) είναι μία γραμμική σχέση

$$\log\left(\frac{R(n)}{S(n)}\right)=\log(c)+H\cdot\log(n) \quad (6)$$

όπου ο δείκτης H υπολογίζεται ως η καλύτερη κλίση της ευθείας της (6).

3.2.2.3.Ανάλυση Τραχύτητας – Μήκους (Roughness Length,R-L)

Η μέθοδος της Τραχύτητας – Μήκους (R-L) βασίζεται στη γεωμετρία Fractal η οποία χρησιμοποιείται για τον ακριβή υπολογισμό του εκθέτη Hurst. Η μέθοδος έχει ιδιαίτερη χρησιμότητα, όχι μόνο για τον αξιόπιστο υπολογισμό της τιμής της κλασματικής διάστασης, αλλά και τον υπολογισμό του κρίσιμου μήκους (cross-over profile length) του προφίλ μια χρονοσειράς, κάτω από το οποίο η υπολογιζόμενη κλασματική διάσταση παύει να έχει καθολικό χαρακτήρα για όλο το μήκος του προφίλ, αλλά αναφέρεται μόνο στο ορισμένο μήκος, έχοντας τοπικό χαρακτήρα. Ο υπολογισμός της κλασματικής διάστασης με τη συγκεκριμένη μέθοδο στηρίζεται στο ότι η τυπική απόκλιση $S(w)$ των υψομέτρων των σημείων ενός τμήματος μήκους (w) κάποιου αυτό-ομοπαράλληλου προφίλ συνδέεται με το μήκος του προφίλ με τη σχέση:

$$S(n)=A\cdot n^{H} \quad (7)$$

όπου A είναι ένας συντελεστής αναλογίας, που περιγράφει το πλάτος των διακυμάνσεων των υψομετρικών διαφορών του προφίλ και H ο συντελεστής Hurst. Η τιμή της τυπικής απόκλισης υπολογίζεται για το εκάστοτε παράθυρο εύρους w από τη σχέση όπου

$$S(w)=\frac{1}{\xi_n}\sum_{i=1}^{\xi_n}\sqrt{\frac{1}{m_i-2}\sum_{j\in n_i}(x_j-\overline{x_{n_i}})^2} \quad (8)$$

όπου ξ_n είναι ο ολικός αριθμός τμημάτων μήκους n στα οποία διαμερίζεται το προφιλ, m_i είναι το πλήθος των σημείων που περιέχονται στο τμήμα-i, n_i , x_j είναι η απόκλιση των κόμβων του προφίλ (profile nodes aperture) από την ευθεία καλύτερης προσαρμογής και $\overline{x_{n_i}}$ είναι η μέση τιμή των x_j εντός του τμήματος n_i . Αναπαριστώντας τα ζεύγη $n,S(n)$ σε λογαριθμικό διάγραμμα, ο εκθέτης Hurst υπολογίζεται από την ευθεία καλύτερης προσαρμογής. Η μέθοδος του Μήκους – Τραχύτητας, όπως αποδεικνύεται από την εφαρμογή της, είναι μια ιδιαίτερα αξιόλογη μέθοδος, που αποδίδει με ακρίβεια και πιστότητα τη κλασματική διάσταση ενός συνόλου.

3.2.2.4. Ανάλυση Βαριογράμματος

Το Βαριόγραμμα ή μέθοδος της Κανονικοποιημένης Ημιμεταβλητότητας ή μέθοδος της διακύμανσης των αυξήσεων, είναι μια στατιστική μέθοδος που μπορεί να διαχειριστεί αυτο-όμοιες και αυτο-ομοπαράλληλες καμπύλες.Η κύρια διαδικασία για τον υπολογισμό της κλασματικής διάστασης είναι να εφαρμοστεί η παρακάτω σχέση σε ένα σύνολο κόμβων που περιγράφουν την καμπύλη της χρονοσειράς.

Το βαριόγραμμα είναι η αναμενόμενη τιμή του τετραγώνου της διαφοράς μεταξύ δύο τιμών x ενός ίχνους, που διαχωρίζονται με απόσταση h , δηλαδή, το βαριόγραμμα, $2\gamma(n,h)$, ενός δείγματος μιας σειράς $x(n)$ μετράται από την ακόλουθη εξίσωση

$$2\gamma(n,h)=\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}[x(n_i)-x(n_i+h)]^2 \tag{9}$$

όπου M είναι ο ολικός αριθμός ζευγών υψών τραχέους προφίλ, τα οποία διαχωρίζονται στο χώρο από απόσταση ύψους h .

Το βαριόγραμμα $2\gamma(n,h)$ και ο εκθέτης Hurst H σχετίζονται με την εξίσωση

$$2\gamma(n,h)=K\cdot h^{2H} \tag{10}$$

όπου K είναι μία σταθερά αναλογίας. Η κλίση της ευθείας καλύτερης προσαρμογής μεταξύ των $\log(2\gamma(n,h))$ και $\log(h)$ ισούται με τον εκθέτη $2H$.

3.2.2.5.Υπολογισμός εκθέτη Hurst

Συνοψίζοντας, οι υπολογισμοί με τη μέθοδο R/S έγιναν από την εξίσωση

$$\frac{R(n)}{S(n)}=C\cdot n^H \tag{11}$$

με τη μέθοδο R-L από την εξίσωση

$$S(n)=A\cdot n^H \tag{12}$$

και με τη μέθοδο βαριογράμματος από την εξίσωση:

$$2\gamma(n,h)=K\cdot h^{2H} \tag{13}$$

Επιπρόσθετα, εκθέτες Hurst υπολογίσθηκαν από επιτυχείς χρονοσειρές b νόμου δύναμης φασματικής ανάλυσης φράκταλ (εδάφιο 3.2.1), συνυπολογίζοντας ότι οι τιμές H και b συνδέονται με τη σχέση

$$b=2\cdot H+1 \quad , \quad 1<b<3 \qquad (14)$$

για χρονοσειρές οι οποίες ακολουθούν μοντέλο fBm (fractional Brownian motion-κλασματική κίνηση Brown) και

$$b=2\cdot H-1 \quad , \quad -1<b<1 \qquad (15)$$

για χρονοσειρές που ακολουθουν το μοντέλο fGn (fractional Gaussian-κλασματική Gauss).

3.2.3.Ανάλυση DFA

Η ανάλυση DFA (Detrended Fluctuation Analysis) είναι μία μέθοδος για την κλιμάκωση αυτοσυσχετίσεων μακράς εμβέλειας σημάτων μη στατικών (non-stationary), με θόρυβο και τυχαιότητα και μερικές φορές μικρού μήκους. Βασίζεται στον ποσοτικό προσδιορισμό της πολυπλοκότητας των σημάτων. Είναι μια τροποποιημένη ανάλυση μέσης τετραγωνικής ρίζας ενός τυχαίου περιπάτου (random walk) που βασίζεται στην παρατήρηση ότι μη-στατικές χρονοσειρές με συσχετίσεις μακράς εμβέλειας μπορούν να σχηματίσουν, με ολοκλήρωση, μια αυτο-όμοια διαδικασία. Η μέση τετραγωνική απόσταση του σήματος από την τοπική γραμμή τάσης, αναλύεται ως συνάρτηση μιας παραμέτρου κλίμακας. Αναζητείται συνήθως εξάρτηση νόμου δύναμης παράμετρος ενδιαφέροντος τον εκθέτη του νόμου αυτού. Σε αδρές γραμμές, η αρχική χρονοσειρά ολοκληρώνεται μία φορά. Στη συνέχεια οι διακυμάνσεις, $F(n)$, του ολοκληρωμένου σήματος υπολογίζονται γύρω από τη βέλτιστη γραμμική προσαρμογή ελαχίστων τετραγώνων, σε ένα χρονικό παράθυρο μεγέθους, n . Η κλίση της γραμμής ελαχίστων τετραγώνων $\log(F(n))-\log(n)$ καθορίζει τον εκθέτη ομοιοθεσίας b (παράμετρος αυτο-ομοιότητας). Η γραμμή αυτή μπορεί να εμφανίζει μια εκτροπή (crossover) σε μια ορισμένη χρονική κλίμακα, όπου η κλίση αλλάζει απότομα. Οι ερμηνείες της κλιμάκωσης και των σχετιζόμενων εκθετών εξαρτώνται από το υπό μελέτη σύστημα.

Ο αλγόριθμος DFA ενός μονοδιάστατου σήματος y_i ($i=1,\ldots,N$), εξελίσσεται με βάση τα επόμενα έξι βήματα:

(i) Στο πρώτο βήμα, υπολογίζεται το ολοκληρωμένο προφίλ.:

$$y(k)=\sum_{i=1}^{k}\left(y(i)-\langle y\rangle\right) \tag{16}$$

όπου οι αγκύλες <...> συμβολίζουν το μέσο όρο και k είναι το σύμβολο κάθε διαφορετικής κλίμακας χρόνου.

(ii) Το ολοκληρωμένο σήμα, $y(k)$, χωρίζεται σε μη-επικαλυπτόμενες διαμερίσεις ίδιου μήκους, n .

(iii) Σε κάθε διαμέριση n ,το σήμα $y(k)$ προσαρμόζεται χρησιμοποιώντας μία συνάρτηση πολυωνύμου τάξης l,η οποία αντιπροσωπεύει την τοπική τάση μέσα στη διαμέριση. Η μεταβλητή y αυτής της γραμμικής προσαρμογής συμβολίζεται ως $y_n(k)$.

(iv) Το ολοκληρωμένο σήμα $y(k)$ απο-προσαρμόζεται (detrended) αφαιρώντας την τοπική τάση, $y_n(k)$, σε κάθε διαμέριση διάρκειας n . Ως εκ τούτου, υπολογίζεται το αποπροσαμοσμένο (detrended) σήμα $y_n^d(k)$ σε κάθε διαμέριση ως :

$$y_n^d(k)=y(k)-y_n(k) \tag{17}$$

(v) Για κάποιο μήκος διαμέρισης n , οι μέσες τετραγωνικές (rms) διακυμάνσεις του ολοκληρωμένου και του αποπροσαμοσμένου (detrended) σήματος υπολογίζονται ως:

$$F(n)=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{k=N}\left\{y(k)-y_n^d(k)\right\}^2} \tag{18}$$

Ως εκ τούτου η παράμετρος $F(n)$ rms διακυμάνσεις του αποπροσαμοσμένου (detrended) σήματος $y_n^d(k)$.

(vi) Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται για ένα μεγάλο εύρος διαμερίσεων (μεγεθών κλίμακας) (n) ώστε να καθορισθεί η σχέση μεταξύ $F(n)$ και n . Γενικά, η παράμετρος $F(n)$ μεγαλώνει με το μέγεθος της διαμέρισης (κλίμακας) n . Με βάση τη σχέση $F(n)$ και n , δημιουργείται μία λογαριθμική αναπαράσταση ($logF(n)$ vs $\log(n)$). Η γραμμική σχέση μεταξύ του λογαρίθμου των rms διακυμάνσεων, $logF(n)$, και του λογαρίθμου του μήκους της διαμέρισης (κλίμακας), $\log(n)$, υποδεικνύει αλληλεπιδράσεις μακρού εύρους του τύπου

$$F(n)\sim n^{\alpha} \tag{19}$$

όπου η παράμετρος α είναι η κλίση της γραμικής παρεμβολής $logF(n)$ vs $\log(n)$. Η παράμετρος α καθορίζει την ισχύ του συσχετίσεων μακράς εμβέλειας της χρονοσειράς.

Για τους υπολογισμούς με τον αλγόριθμο DFA εφαρμόζονται δύο διαφορετικές προσεγγίσεις: (I) η τεχνική του κυλιόμενου παραθύρου (sliding window) και (II) η τεχνική τελείως ανεξαρτήτων τμημάτων. Οι υπολογισμοί έχουν ως εξής:

(I) Για την εφαρμογή της τεχνικής του κυλιόμενου παραθύρου, εφαρμόζονται τα παρακάτω τέσσερα διακριτά βήματα: (α) Το σήμα χωρίζεται σε τμήματα-παράθυρα (windows) συγκεκριμένου αριθμού δειγμάτων. Για την περίπτωση των διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται παράθυρα 1024 δειγμάτων, αλλά και 2048 ή 4096 για λόγους σύγκρισης. Για την περίπτωση των διαταραχών Ραδονίου Περιβάλλοντος, χρησιμοποιούνται παράθυρα 128 δειγμάτων αλλά και 256, 512 και 1024 δειγμάτων για σύγκριση. (β) Σε κάθε παράθυρο εφαρμοστηκε ο αλγόριθμος DFA. (γ) Σε κάθε παράθυρο χρησιμοποιήθηκε η προσαρμογή ελαχίστων τετραγώνων στη σχέση $logF(n)$ - $\log(n)$ της εξίσωσης (19). Επιτυχείς αναπαραστάσεις θεωρήθηκαν εκείνες με τετράγωνα συντελεστή συσχέτισης Spearman άνω του 0.95 ($r^2 \geq 0.95$) (δ) Το παράθυρο μετακινούνταν ένα δείγμα προς τα εμπρός και επαναλαμβανόταν τα βήματα (α)-(γ) μέχρι το τέλος του σήματος. Επισημαίνεται ότι μέσω αυτών των παραμέτρων, η ανάλυση ανιχνεύει πολύ λεπτομερείς μεταβολές του σήματος σε βάρος χρόνου υπολογισμών καθόσον κάθε ένα παράθυρο σχεδόν υπερκαλύπτει το προηγούμενό του. Σε αυτή την εφαρμογή, η μέθοδος DFA υπολογίζει έναν μόνο συντελεστή για παράθυρα μικρότερα των 3072 δειγμάτων και δύο ή τρεις κλίσεις (cross-overs) για μεγαλύτερα παράθυρα. Στις περιπτώσεις των παραθύρων κάτω των 3072 δειγμάτων, θεωρείται ότι ο παράγοντας κλιμάκωσης (scaling exponent) είναι ανεξάρτητος του εύρους κλιμάκων.

(II) Για την υλοποίηση της τεχνικής DFA σε ανεξαρτητα παράθυρα, επιλέγονται μερικά μεγάλα παράθυρα άνω των 3072 δειγμάτων. Μετά τη διαμέριση του σήματος, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος DFA σε κάθε ανεξάρτητο παράθυρο. Μετά αναπαρίσταται η σχέση $logF(n)$ - $\log(n)$ της εξίσωσης (9) μέσω ειδικού λογισμικού αλληλεπίδρασης μηχανής-χρήστη που έχει αναπτυχθεί για αυτό το σκοπό (ημιαυτόματη λειτουργία). Η αλλαγή κλίμακας (crossover) τίθεται οπτικά απο το χρήστη στο λογισμικό και έτσι υπολογίζονται οι δύο κλίσεις DFA και δημιουργείται το γράφημα $logF(n)$ - $\log(n)$. Επισημαίνεται ότι αυτός είναι και ο συνήθης τρόπος εφαρμογής της μεθόδου DFA

όπως επίσης και ο προτεινόμενος τρόπος από τους δημιουργούς της. Σημαντικό είναι να αναφερθεί εδώ ότι αφότου ευρέθησαν περιπτώσεις διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος με τρεις κλίσεις, τροποποιήθηκε το συγκεκριμένο λογισμικό ώστε να καλύπτει και τέτοιες περιπτώσεις.

Είναι πολύ σημαντικό επίσης να τονισθεί ότι η μέθοδος DFA μπορεί να διακρίνει τις περιοχές μακράς μνήμης των Επισημαίνεται ότι το στατικό υπόστρωμα όπως και τα δεδομένα χαμηλής μνήμης έχουν συσχτισθεί με την κατηγορία κλασματικής Gauss (fractional Gaussian-fGn) και σχετίζονται με κλίσεις DFA μεταξύ $0<\alpha<1$. Αντιθέτως, περιοχές μακράς μνήμης έχουν συσχετισθεί με την κλάση fractional Brownian motion (fBm) και σχετίζονται με κλίσεις DFA μεταξύ $1<\alpha<2$ [73,74]. Γενικά η τεχνική DFA θεωρείται η καλύτερη τεχνική στην ανίχνευση μακράς μνήμης και χαρακτηρίζεται ως μέθοδος robust.

3.2.4.Διάσταση Φράκταλ

Η διάσταση φράκταλ (D) είναι μια ποσότητα που συσχετίζει με το συνολικό μήκος της καμπύλης (L) με τη μέγιστη συνολική έκταση (A) που μια τέτοια καμπύλη θα μπορούσε να καλύψει, με τον ακόλουθο τρόπο

$$L^{\frac{1}{D}}=k\cdot A^{\frac{1}{2}} \tag{20}$$

όπου k είναι σταθερά. Όταν η διαδρομή είναι μια ευθεία γραμμή, τότε $D=1$. Αυτή η διάσταση αντιστοιχεί σε μια ευθεία πορεία. Όταν η καμπύλη τείνει να γεμίσει το χώρο, τότε η διάσταση D τείνει προς την τιμή 2. Αυτό έχει αποδειχθεί για διάφορες περιπτώσεις και ισχύει επίσης για τις τροποποιημένες κινήσεις Μπράουν. Όσο πιο περίπλοκα είναι τα πρότυπα, τόσο υψηλότερη είναι η διάσταση φράκταλ. Μία ενδιαφέρουσα ιδιότητα της εξίσωσης (20) είναι ότι μπορεί να χαρακτηρίζει επίσης περιορισμένα μονοπάτια, δηλαδή, μονοπάτια αναζήτησης που περιορίζονται σε μια καθορισμένη περιοχή. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η διαδρομή έχει την τάση να διασχίζει τον εαυτό της πολλές φορές και μπορεί να έχει διάσταση D αξία μεγαλύτερη από 2. Η διάσταση D στην ανάλυση χρονοσειρών, ποσοτικοποιεί τις συνθετότητα (complexity) ή, με άλλα λόγια, μετρά την τραχύτητα του προφίλ.

Εάν είναι γνωστός ο εκθέτης Hurst για ένα πολύπλοκο σύστημα, η διάσταση φράκταλ του συστήματος μπορεί να εκτιμηθεί από τον τύπο:

$$D = 2 - H \tag{21}$$

Όπως έχει προαναφερθεί είναι η εξάρτηση προαναφερθέντα, μεγάλη μνήμη, ή εμμονής ενός Γεω-συστήματος, συνδέεται με τιμές $H \in (\frac{1}{2}, 1)$ και ως εκ τούτου συνδέεται με προφίλ με χαμηλές διαστάσεις φράκταλ δηλαδή $D \in (1, \frac{3}{2})$. Συνθετότερα προφίλ σχετίζονται με υψηλότερες τιμές διάστασης φράκταλ, $D \in (\frac{3}{2}, 2)$, δηλαδή, με διαδικασίες μη μονιμότητας ($H \in (0, \frac{1}{2})$). Ως εκ τούτου, μπορεί να θεωρηθεί ότι η διάσταση φράκταλ μιας χρονοσειράς δηλώνει τη μονιμότητα της. Χρονοσειρές με χαμηλή διάσταση φράκταλ είναι τακτικές και προβλέψιμες. Ομοίως, οι χρονολογικές σειρές με υψηλή διάσταση φράκταλ, έχουν ακανόνιστα διαστήματα, έντονες αλλαγές στην κατεύθυνση, συνήθως τυχαίες. Χρονολογικές σειρές με τυχαίες αλλαγές κατεύθυνσης αναγνωρίζονται στα μαθηματικά κάτω από τον όρο «τυχαίος περίπατος» (random walk).

3.2.5.Ανάλυση εντροπίας

3.2.5.1. Ανάλυσης εντροπίας σε Block

Πολύπλοκα μη γραμμικά δυναμικά συστήματα μπορούν να μελετηθούν με τη βοήθεια της συμβολικής δυναμικής. Από την άποψη της μεθοδολογίας, η αρχική χρονοσειρά αρχικοποιείται εκ νέου μέσω της διαδικασίας των γραμμάτων σε νέες ακολουθίες συμβόλων (υπό-ακολουθίες), όπου κάθε σύμβολο αντιπροσωπεύει μια νέα τμηματοποίηση της αρχικής χρονοσειράς ανά n - γράμματα. Οι νέες υπό-ακολουθίες ονομάζονται λέξεις. Οι λέξεις μπορούν να αναγνωστούν σε διακριτές ομάδες (blocks) μέσω της τεχνικής κυλιόμενων παραθύρων (sliding-gliding) της τεχνικής διαδοχικών μη επικαλυπτόμενων παραθύρων (lumping). Οι διαφορές μεταξύ των τεχνικών ανάγνωσης έχουν αρχικά αναφερεθεί στη γενετική μηχανική, τα ηλεκτροκαρδιογραφήματα και τις χρονοσειρές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος όπου η τεχνική lumping θεωρείται βέλτιστη σε ότι αφορά στη χρήση της συμβολικής δυναμικής. Με βάση τη

συμβολική δυναμική, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι εντροπίας block για τη μέτρηση της πολυπλοκότητας ενός Γεω-συστήματος. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή ενός εντροπίας, τόσο υψηλότερη οργάνωση παρουσιάζει το Γεω-σύστημα και τόσο λιγότερο πολύπλοκο είναι. Ο κάθε δείκτης εντροπίας παίρνει μεγάλες τιμές εάν υπάρχουν πολλά είδη των προτύπων που, ως εκ τούτου, μειώνουν την οργάνωση του Γεω-συστήματος.

Στις αναλύσεις του παρόντος εδαφίου, έχουν χρησιμοποιηθεί πέντε διαφορετικοί τύποι εντροπίας block. Αυτές ήταν η εντροπία Shannon, η Shannon ανά γράμμα, η υπό όρους εντροπία, η εντροπία Tsallis και η κανονικοποιημένη εντροπία Tsallis. Η εντροπία block του Shannon μπλοκ εντροπία υπολογίστηκε από τη σχέση

$$H(n)=-\sum_i p^{(n)}(A_1, A_2, \dots A_n) \ln p^{(n)}(A_1, A_2, \dots A_n) \tag{22}$$

όπου $p^{(n)}(A_1, A_2 \dots A_n)$ είναι η πιθανότητα εμφάνισης μιας συγκεκριμένης υπό-ακολουθίας γραμμάτων διάστασης n . Η εντροπία $H(n)$ αποτελεί μέτρο της αβεβαιότητας και δίνει τη μέση ποσότητα των πληροφοριών που είναι απαραίτητες για να προβλεφθεί μια συγκεκριμένη υπό-ακολουθία διάστασης n . Η εντροπία block Shannon ανά γράμμα υπολογίστηκε από τη σχέση

$$h^{(n)}=\frac{H(n)}{n}=\frac{-\sum_i p^n(A_1, A_2, \dots A_n) \ln p^n(A_1, A_2, \dots A_n)}{n} \tag{23}$$

Αυτή η εντροπία είναι ο μέσος όρος της αβεβαιότητας ανά γράμμα μιας υπό-ακολουθίας διάστασης n . Η block εντροπία υπό όρους εντροπία υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$h_{(n)}=H(n+1)-H(n) \tag{24}$$

Η block εντροπία υπό όρους μετρά την αβεβαιότητα της πρόβλεψης σε μια κατάσταση ένα βήμα προς το μέλλον όταν παρέχεται η ιστορία των προηγούμενων καταστάσεων. Η εντροπία block Tsallis υπολογίστηκε από τη σχέση

$$S_q(n)=k\frac{1}{q-1}\left(1-\sum_i [p(n)(A_1, A_2 \dots A_n)]^q\right) \tag{25}$$

όπου $p(n)(A_1, A_2 \dots A_L)$ είναι η πιθανότητα εμφάνισης του μπλοκ $[A_1, A_2 \dots A_n]$, k είναι η σταθερά του Boltzmann και q είναι ένας πραγματικός αριθμός που μετρά τη μη εκτατικότητα ενός Γεω-συστήματος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το υψηλό επίπεδο

οργάνωσης σχετίζεται με χαμηλές τιμές εντροπίας block Tsallis. Η κανονικοποιημένη εντροπία Tsallis υπολογίστηκε από τη σχέση

$$\hat{S}_q(p_1,\dots,p_n)=\frac{k\frac{1}{q-1}(1-\sum_{i=1}^{W}p_i^q)}{\sum_{j=1}^{n}p_i^q} \quad (26)$$

όπου $p_i=p(n)(A_1,A_2\dots A_n)$ είναι η πιθανότητα εμφάνισης του i -ου μπλοκ $[A_1,A_2\dots A_n]$, W είναι ο συνολικός αριθμός των διαφορετικών μπλοκ, k είναι η σταθερά του Boltzmann και q είναι ο πραγματικός αριθμός της σχέσης (25).

3.2.5.2. Ανάλυση εντροπίας κβαντισμένων περιοχών

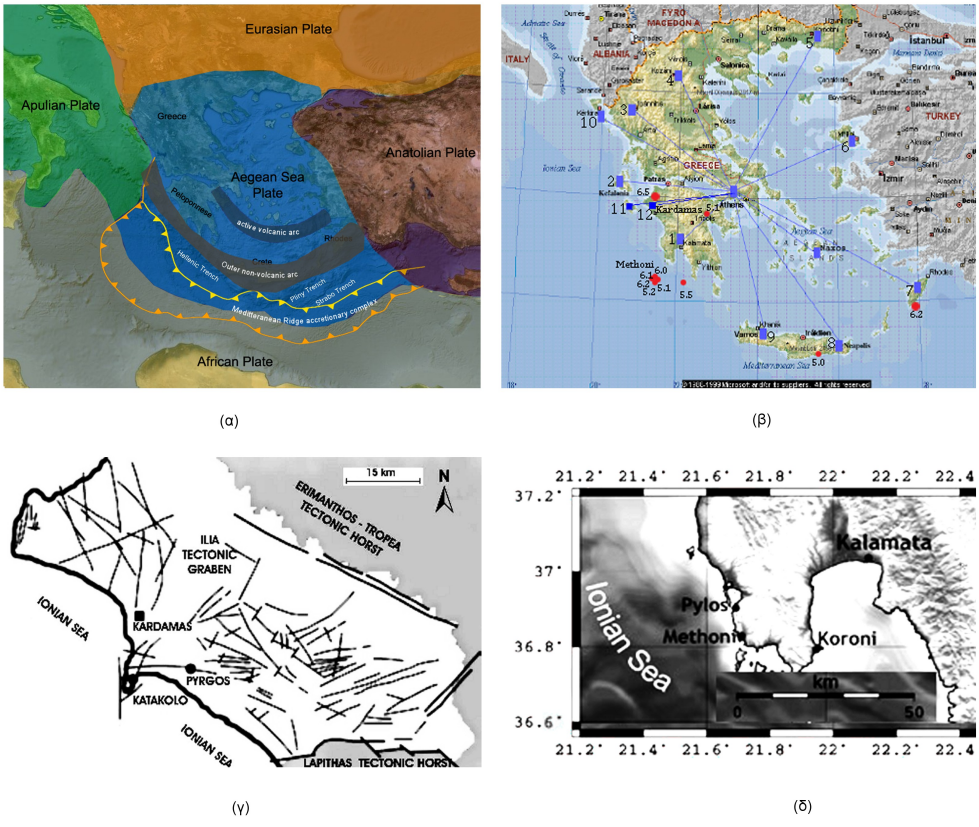
Για την ανάλυση εντροπίας αυτού του εδαφίου, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες εντροπίας των εξισώσεων (22)-(26). Προκειμένου να ορισθεί ο όρος της πιθανότητας εμφάνισης, οι υπό εξέταση χρονοσειρές οργανώθηκαν σε σειρά κυλιόμενων παραθύρων. Σε κάθε παράθυρο, κβαντίστηκαν οι τιμές της χρονοσειράς σε 32 στάθμες. Σε κάθε μία στάθμη, υπολογίσθηκε η συχνότητα εμφάνισης της κάθε τιμές και από εκεί η αντίστοιχη πιθανότητα εις έκαστο παράθυρο.

3.3. Περιοχές μελέτης

3.3.1. Σεισμικότητα των περιοχών μελέτης έτους 2008

Οι περιοχές μελέτης του παρόντος εδαφίου περιγραφής του ερευνητικού έργου περιλαμβάνουν τις περιοχές Ηλεία και Μεσσηνία (**Σχήμα 4**) οι οποίες και ευρίσκονται άνωθεν δομών που σχετίζονται με ιδιαίτερη σεισμικότητα. Αυτές οι δομές προκάλεσαν περισσότερους από 600 σεισμούς με M_L>4.0 τον τελευταίο αιώνα (http://labtect.geol.uoa.gr/pages/fountoulis/esismol.htm). Μέχρι το 2008 τέσσερις πολύ καταστρεπτικοί σεισμοί εμφανίστηκαν στην ευρύτερη περιοχή: (α) Βαρθολομιό, Ηλεία 16/10/1988 $M_L=6.0$ (β) Πύργος, Ηλεία 26/03/1993 $M_L=5.5$ και $M_L=5.8$ (γ) Πάτρα 14/07/1993 $M_L=5.6$ (δ) Βαρθολομιό, Ηλεία 2/12/2002 $M_L=5.8$. Κατά τη διάρκεια του 2008, η ιδιαίτερη έντονη σεισμική δραστηριότητα που εμφανίστηκε στις περιοχές μελέτης έδωσε επτά πολύ καταστρεπτικούς σεισμούς (EQ1-EQ7): (ι) Μεθώνη: (EQ1) 14/2/2008, $M_L=6.2$, (EQ2) 14/2/2008, $M_L=6.1$, (EQ3) 19/2/2008, $M_L=5.1$, (EQ4) 20/2/2008, M_L=6.0, (EQ5) 26/2/2008, M_L=5.2. (ii) Κάτω Αχαΐα, (EQ6): 8/6/2008,

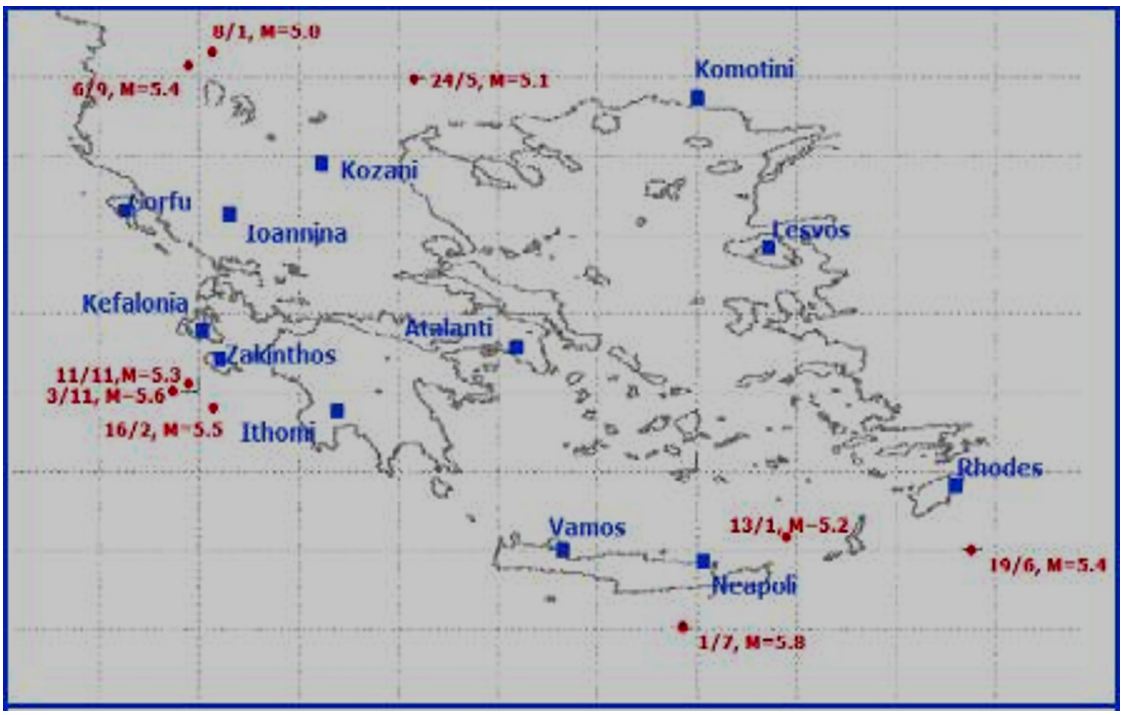
M_L=6.5. (iii) Μεθώνη: (EQ7) 21/6/2008, $M_L=5.5$. Η περίοδος συνοδεύθηκε από τρεις σημαντικούς σεισμούς της ελληνικής τάφρου (EQ8-10) (**Σχήμα 4**): (α) Κορινθία, Πελοπόννησος: (EQ8) 18/6/2008, $M_L=5.1$ (β) νησί της Κρήτης: (EQ9) 19/3/2008, νησί $M_L=5.0$ (γ) Ρόδος: (EQ10) 15/7/2008, $M_L=6.2$. Όλοι αυτοί οι σεισμοί καταγράφηκαν από το γεωλογικό ίδρυμα εθνικού παρατηρητηρίου της Αθήνας (ΓΠ-ΝΟΑ) κατά τη διάρκεια της περιόδου μετρήσεων (http://www.gein.noa.gr/services/cat.html). Οι σεισμοί (EQ1-EQ8) εμφανίστηκαν στην Πελοπόννησο κοντά στις περιοχές μελέτης. Οι σεισμοί EQ9 και EQ10 εμφανίστηκαν μακρυά στα νησιά της Κρήτης και της Ρόδου. Όπως παρατηρήθηκε από ολόκληρη τη βάση δεδομένων σεισμού (http://www.gein.noa.gr/services/cat.html), η σεισμικά ενεργός περίοδος ($M_L>5.0$) της ευρύτερης περιοχής διάρκεσε περίπου 4 μήνες, δηλαδή, από 14/2/2008 έως 18/6/2008.



Σχήμα 4: (α) Σεισμικές πλάκες και ελληνικό τόξο. **(β)** Το δίκτυο τηλεανίχνευσης της Ελλάδας με τα επίκεντρα των πιο σημαντικών σεισμών ($M_L>6.0$). **(γ)** Γεωτεκτονικός χάρτης Ηλείας. **(δ)** Χάρτης Μεθώνης.

3.3.2.Σεισμικότητα των περιοχών μελέτης έτους 2009

Οι περιοχές μελέτης του παρόντος εδαφίου περιγραφής του ερευνητικού έργου φαίνονται στο **Σχήμα 5** και αφορούν στο έτος 2009. Η σεισμική δραστηριότητα του έτους 2009 δεν ήταν τόσο έντονη όπως αυτή του 2008 (εδάφιο **3.3.1**). Τα μεγέθη των σεισμών που εμφανίστηκαν δεν ήταν μεγαλύτερα από M_L>5.8 . Εντούτοις, οι σεισμοί που παρουσιάζονται στο εδάφιο αυτό είναι μεγάλου ενδιαφέροντος επειδή: (1) Ήταν διεσπαρμένοι σε όλη την ελληνική τάφρο, (2) Μερικοί απ' αυτούς εμφανίσθηκαν σε πολύ ρηχά βάθη, (3) Μερικοί εμφανίστηκαν κάτω από τη θάλασσα. Λεπτομερέστερα, κατά τη διάρκεια του 2009, εννέα σεισμοί με μεγέθη M_L>5.0 καταγράφηκαν από το γεωλογικό ίδρυμα εθνικού παρατηρητηρίου της Αθήνας (ΓΠ-ΝΟΑ) (http://www.gein.noa.gr/services/cat.html). Χρονολογικά τα χαρακτηριστικά αυτών των σεισμικών γεγονότων είναι τα ακόλουθα: 1.Eq1, 8/1/2009, $M_L=5.0$, Βάθος 2 km , 2.Eq2, 13/1/2009, $M_L=5.2$, Βάθος 42 km κάτω από τη θάλασσα, 3. Eq3, $M_L=5.5$, 16/2/2009, Βάθος 15 km κάτω από τη θάλασσα, 4. Eq4, $M_L=5.1$, 24/5/2009, Βάθος 23 km , 5. Eq5, $M_L=5.4$, 19/6/2009, Βάθος 42 km κάτω από τη θάλασσα, 6. Eq6, $M_L=5.8$, 1/7/2009, Βάθος 30 km κάτω από τη θάλασσα, 7. Eq7, $M_L=5.4$, 6/9/2009, Βάθος 10 km , 8. Eq8, $M_L=5.6$, 3/11/2009, Βάθος 39 km κάτω από τη θάλασσα, 9. Eq9, $M_L=5.3$, 11/11/2009, Βάθος 21 km κάτω από τη θάλασσα (**Σχήμα 5**).



Σχήμα 5: Σημαντικοί σεισμοί (M_L>5.0) που εμφανίσθηκαν το 2009. Το σχήμα παρουσιάζει και τμήματα του δικτύου τηλεανίχνευσης στην Ελλάδα.

4.Αποτελέσματα:

4.1.Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες και Ραδόνιο Περιβάλλοντος από Γεωσυστήματα Μακράς Μνήμης: Τηλεανίχνευση - Αναβάθμιση, εκσυγχρονισμός, επέκταση και συντήρηση εγκαταστάσεων

Στο εδάφιο αυτό παρουσιάζονται όλα τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την αναβάθμιση του δικτύου τηλεανίχνευσης διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών και Ραδονίου Περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται βασικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την τηλεμετρική λήψη των δεδομένων. Αναλύονται διεξοδικά τα στοιχεία μεταφοράς μετρήσεων με τηλεανίχνευση καθώς και οι σχετικές μονάδες διασύνδεσης (interfaces). Τα παραπάνω είναι ιδιαίτερα σημαντικά επίσης και για την αναβάθμιση του δικτύου. Αναφέρεται εδώ ότι για τους σταθμούς που υπάρχουν και λειτουργούν στο βασικό δίκτυο υποδομής, οι αλλαγές αφορούν κυρίως στη συντήρηση, με τουλάχιστον μία επίσκεψη εξειδικευμένων τεχνικών σε κάθε σταθμό. Για τους νέους σταθμούς, η υποδομή που θα χρησιμοποιηθεί (δέκτες χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων, dataloggers), θα κατασκευασθεί με αναλώσιμο ηλεκτρονικό υλικό που υπάρχει στην Ελληνική αγορά, η δε ερευνητική ομάδα έχει την τεχνογνωσία στη σχεδίαση και κατασκευή αυτή.

4.1.1.Καταγραφή και λήψη τηλεανιχνευόμενων μετρήσεων

4.1.1.1.Καταγραφή τηλεανιχνευόμενων μετρήσεων

Η καταγραφή των μετρήσεων από το δίκτυο τηλεανίχνευσης διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος είναι διαρκής και βασίζεται στην χρήση ψηφιακών συστημάτων καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων **(**dataloggers). Στο δίκτυο αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί δύο τύποι ψηφιακών συστημάτων καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων **(**dataloggers) : (α) Συστήματα dataloggers της εταιρείας Campbell (USA) και (β) Ιδιοκατασκευασμένα συστήματα dataloggers. Από τα συστήματα αυτά, ικανός αριθμός συστημάτων (α) υπάρχει προς χρήση, ως αποτέλεσμα της πολυετούς λειτουργίας του δικτύου τηλεανίχνευσης στην Ελλάδα. Υπό αυτή την έννοια, αποτελούν βασικές δομικές μονάδες του δικτύου. Από την άλλη μεριά, τα συστήματα (β) επιδεικνύουν εξαιρετική αυτονομία, αποτελούν προϊόν διδακτορικής διατριβής μέλους της ομάδος, όμως υπάρχουν σε περιορισμένα τεμάχια. Παρακάτω, θα αναλυθούν μόνο τα συστήματα dataloggers τύπου (α).

Τα ψηφιακά συστήματα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων **(**dataloggers) της εταιρείας Campbell (USA) είναι των τύπων 21X, CR7 και CR10 και αποτελούν επιλογές από τα καλύτερα που υπάρχουν στην διεθνή αγορά. Καλύπτουν κυρίως την επιστήμη της Μετεωρολογίας και γενικά επιστήμες που το πλήθος των πληροφοριών που αποθηκεύονται στην μνήμη των dataloggers δεν είναι σημαντικά μεγάλο. Η εταιρία αυτή σχεδίασε και κατασκεύασε ψηφιακά συστήματα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers) με εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση (5 mA στα 12 V , τα οποία και και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην παρούσα έρευνα), που μπορούν να εργασθούν απρόσκοπτα και με μικρά ηλιακά στοιχεία σε σταθμούς υπαίθρου. Στην προσπάθεια για μικρή κατανάλωση η σειριακή πόρτα εισόδου εξόδου δεν υποστηρίζει το πρωτόκολλο RS232 ως προς το επίπεδο στάθμης των τάσεων (που τα αντίστοιχα κυκλώματα τους καταναλίσκουν κάποια υπολογίσιμη ισχύ), αλλά σήματα στάθμης TTL. Τα σήματα εισόδου/εξόδου της σειριακής πόρτας που χρησιμοποιούν τα ψηφιακά συστήματα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers) της Campbell περιγράφονται στον **Πίνακα 1**.

Πίνακας 1: Σήματα εισόδου/εξόδου της σειριακής πόρτας που χρησιμοποιούν τα ψηφιακά συστήματα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers) της Campbell

Αριθμός ακροδέκτη της πόρτας D-9 του datalogger.	ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ	ΕΡΜΗΝΕΙΑ
1	Vcc	Τάση αναφοράς (+5V)
2	GROUND	Τάση αναφοράς (0V)
3	RI(Ring indicator)	Ειδοποίηση κλήσης(High)
4	Rx(Received data)	Λήψη δεδομένων
5	ME(Modem enable)	Ενεργοποίηση modem(High)
6	Δε χρησιμοποιείται	(Χρησιμοποιείται αν υπάρχει δεύτερο περιφεριακό)
7	Δε χρησιμοποιείται	
8	Δε χρησιμοποιείται	
9	Τχ(Transmitted data)	Εκπομπή δεδομένων

Το σήμα εισόδου Ring indicator χρησιμοποιείται από το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) για να γίνεται αντιληπτόι πότε κάποια εξωτερική συσκευή π.χ. modem έχει δεχθεί κλήση επικοινωνίας. Το σήμα εξόδου Modem enable χρησιμοποιείται από το το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) για να ενεργοποιήσει κάποια εξωτερική συσκευή π.χ. modem. Τα modem που προσφέρει η εταιρία Campbell ενεργοποιούνται (τροφοδότηση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων) μόνο από τα ψηφιακά συστήματα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers) της ίδιας εταιρίας με την ενεργοποίηση του modem enable, το οποίο ενεργοποιείται όταν έρθει σήμα ring. Επομένως τα modem της εταιρίας αυτής έχουν σχεδιαστεί ώστε όλα τα κυκλώματα τους να μην τροφοδοτούνται εκτός της μονάδας λήψης ring και μόνο αν έρθει σήμα ring τότε το το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) να ενεργοποιεί τα υπόλοιπα κυκλώματα του modem με τη βοήθεια του σήματος modem enable. Κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται σημαντική ελάττωση ισχύος καταναλώσεως του modem. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το modem DC1200 της Campbell έχει κατανάλωση 30 μA όταν το modem enable του datalogger είναι μη ενεργοποιημένο, ενώ η κατανάλωση αυξάνεται σε 30 mA όταν είναι ενεργοποιημένο.

4.1.1.2.Λήψη τηλεανιχνευόμενων μετρήσεων

Θεμελιώδες στοιχείο για τη συνεχή λήψη τηλεανιχνευόμενων μετρήσεων είναι η επιτυχής διασύνδεση (interface) των ψηφιακών συστημάτων καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) των τοπικών σταθμών με τους Η/Υ των ενδιάμεσων σταθμών καταγραφής και τον Η/Υ του κεντρικού σταθμού καταγραφής. Η επιτυχής διασύνδεση σχετίζεται σημαντικά με τα κατασκευαστικά στοιχεία των σειριακών των θυρών Η/Υ και των modem. Αξιοσημείωτο σχετικό στοιχείο διασύνδεσης η τυποποίηση V.24 (**Πίνακας 2**). Η τυποποίηση V.24 καθορίζει 21 σήματα, μία γείωση και έναν αγωγό αναφοράς, για την σύνδεση μιας τερματικής μονάδας (Data Terminal Equipment - DTE) με μια συσκευή επικοινωνίας (Data Communication Equipment - DCE). Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούνται 4 έως 10 σήματα. Συσκευές DTE είναι υπολογιστές, τερματικά, εκτυπωτές, ενώ συσκευές DCE είναι τα modem, πολυπλέκτες (multiplexers) και άλλες συσκευές επικοινωνίας. Παρακάτω δίνεται η ανάλυση των σημάτων της τυποποίησης V.24.

Πίνακας 2: Ανάλυση σημάτων της τυποποίησης V.24. (connector D-25 ISO 2110).

PIN	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Chassis Ground	Γείωση προστασίας
2	Transmitted Data	Δεδομένα εκπομπής
3	Received Data	Δεδομένα λήψης
4	Request To Send	Αίτηση εκπομπής απο το DTE
5	Clear To Send	DCE έτοιμο για εκπομπή
6	Data Set Ready	Ετοιμότητα του DCE
7	Signal Ground	Κοινή επιστροφή
8	Carrier Detect	Αναγνώριση λήψης σήματος άπο το DCE
9	-	Εφεδρικό
10	-	Εφεδρικό
11	-	Μη καθορισμένο
12	Second Carrier Detect	Το CD δευτερεύοντος καναλίου
13	Second Clear To Send	Το CTS δευτερεύοντος καναλίου
14	Second Transmitted	Το TD δευτερεύοντος καναλίου

	Data	
15	TxC (Transmiter Signal Element Timing)	Κύκλωμα για τον χρονισμό των data εκπομπής (Internal clock)
16	Second Received Data	Το RD δευτερεύοντος καναλίου
17	RxC (Receiver Data Element Timing)	Κύκλωμα για χρονισμό των data λήψης Δημιουργείται από το DCE
18	-	Μη καθορισμένο
19	Second Request To Send	Το RTS δευτερεύοντος καναλιού
20	Data Terminal Ready	Ετοιμότητα του DTE
21	SQ (Data Signal quality Detector)	Ποιότητα σήματος λήψης
22	Ring Indicator	Αναγνώριση σήματος τηλεφωνικής κλήσης
23	RS (Data Signaling Rate Selector)	Σήμα του DTE που επιλέγει (on/off) μία από τις δυο δυνατές ταχύτητες του DCE
24	TxC (Transmiter Signal Element Timing)	Σήμα του DTE προς το DCE(External clock) για συγχρονισμό data εκπομπής
25	-	Μη καθορισμένο

Ο σχετικός **Πίνακας 3** παρουσιάζει κατασκευαστικά στοιχεία αντιστοιχίας σειριακών θυρών από 25-pin σε 9-pin.

Πίνακας 3: Ανάλυση των σημάτων D25 και D9 σειριακών θυρών.

D-25 pin H/Y	D-9 pin H/Y	Σήματα
2	3	TxD
3	2	RxD
4	7	RQS
5	8	CTS
6	6	DSR
7	5	GRND

8	1	CD
20	4	DTR
22	9	RI

Ένα σημείο στο οποίο πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η διασύνδεση μεταξύ μιας τερματικής μονάδας DTE και μιας συσκευής DCE. Οι ακροδέκτες των σημάτων εξόδου τη μονάδα DTE είναι ακροδέκτες των σημάτων εισόδου στη συσκευή DCE και αντίστροφα. Δύο μονάδες DCE ή δύο συσκευές DTE δε μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους μέσω ενός απλού V.24 καλωδίου. Οι σπουδαιότεροι ακροδέκτες είναι αυτοί της θέσης 2 και 3 που μεταφέρουν τα δεδομένα εκπομπής (TxD) και λήψης (RxD). Όλοι οι υπόλοιποι είναι βοηθητικοί αλλά απαραίτητοι για την επικοινωνία μιας μονάδας DTE με μία συσκευή DCE. Ο **Πίνακας 4** παρουσιάζει την ερμηνεία των σημάτων που χρησιμοποιούνται στην παρούσα έρευνα για τη διασύνδεση μεταξύ των ψηφιακών συστημάτων καταγραφής και αποθήκευσης (dataloggers) (μονάδες DTE) και του modem (συσκευή DCE).

Πίνακας 4: Αντιστοιχία συστημάτων DTE και DCE.

ΑΡΧΙΚΑ	ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ	ΕΡΜΗΝΕΙΑ
CD	Carrier Detect	Αναγνώριση λήψης σήματος
RxD	Receive Data	Δεδομένα λήψης
TxD	Transmit Data	Δεδομένα εκπομπής
DTR	Data Terminal Ready	Γενική ετοιμότητα DTE
GRND	Ground	Τάση αναφοράς(0V)
DSR	Data Set Ready	Γενική ετοιμότητα DCE
RQS(RTS)	ReQuest to Send	*
CTS	Clear To Send	**
RI	Ring Indicator	Ειδοποιήση κλήσης

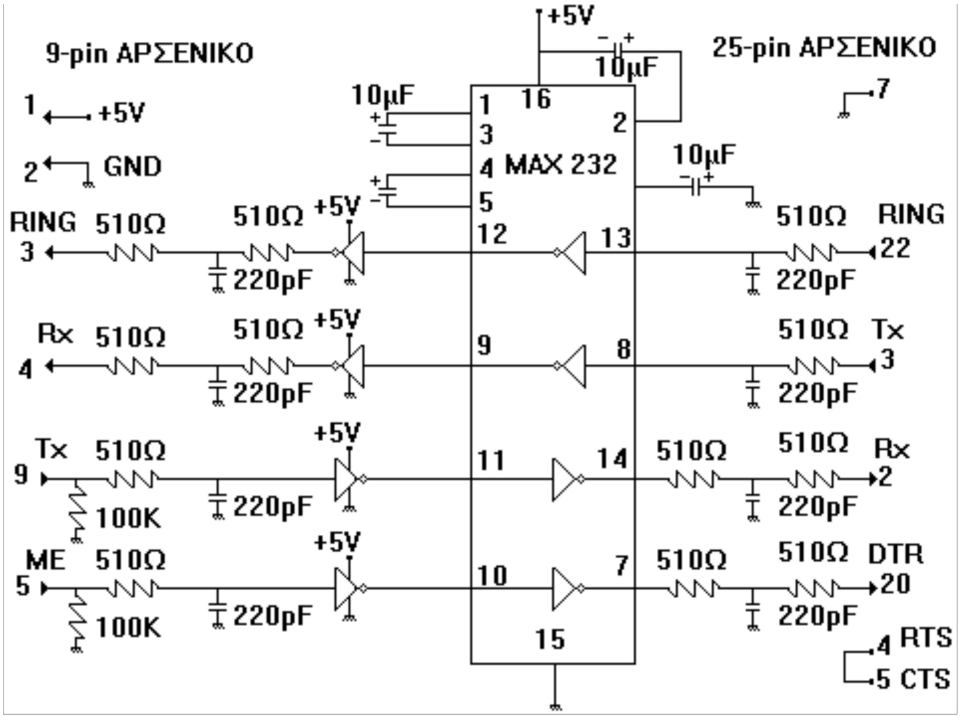
*Το σήμα RQS/RTS ενεργοποιείται από τη μονάδα DTE και αποστέλλεται στη συσκευή DCE προκειμένου να την ειδοποιήσει ότι έχει δεδομένα για εκπομπή. Η μονάδα DTE περιμένει από τη συσκευή DCE το σήμα CTS για να ξεκινήσει τη μετάδοση δεδομένων.

**Είναι το σήμα εξόδου της συσκευής DCE και αποστέλλεται στη μονάδα DTE προκειμένου να ειδοποιήσει να ξεκινήσει η μετάδοση δεδομένων. Το CTS είναι η απάντηση της συσκευής DCE στο RTS της μονάδας DTE.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η εταιρεία Campbell Scientific που κατασκευάζει τα ψηφιακά συστήματα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers), παράγει επίσης και ειδικά modem (DC1200) για την επικοινωνία αυτών με το επιλεγόμενο δίκτυο ενσύρματης τηλεφωνίας. Τα modem αυτά είναι ειδικής κατασκευής, μικρής κατανάλωσης, αλλά πολύ υψηλού κόστους. Το κόστος τους είναι περίπου 5 φορές μεγαλύτερο από το κόστος των κοινών συμβατικών modem. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ειδική μονάδα διασύνδεσης ώστε να προσαρμοστούν τα συστήματα dataloggers της Campbell με τα κοινά συμβατικά modem επιλεγόμενου δικτύου, όπως επίσης και με τη σειριακή πόρτα Η/Υ. Ο τρόπος σύνδεσης αναλύεται στο παρακάτω **Σχήμα 6**. Η αντιστοιχία των σημάτων φαίνεται στον **Πινάκα 5.**

Σχήμα 6: Διασύνδεση ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων της Campbell με συμβατικό modem.

DATALOGGER **MODEM**



Πίνακας 4: Αντιστοιχία σημάτων ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων της Campbell με συμβατικό modem

DATALOGGER	MODEM
3	22
4	3

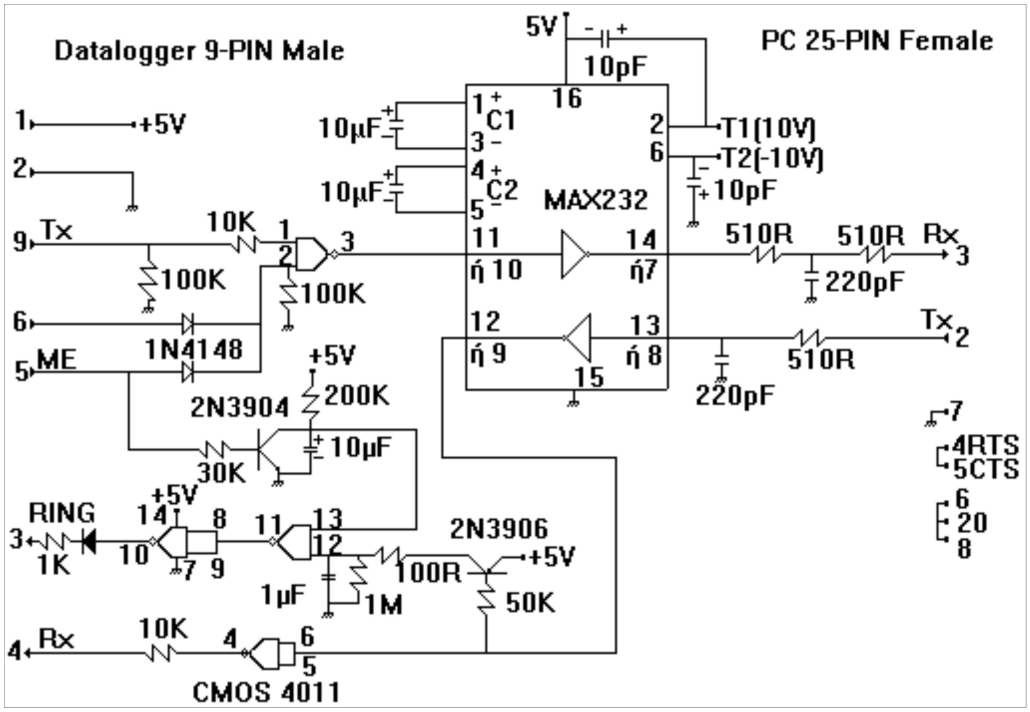
9	2
5	20
1	1
2	7

Όταν υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των modem, τότε πρέπει να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ του modem και του ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger). Το modem στέλνει σήμα (ring) προς το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) για να ξεκινήσει η επικοινωνία τους. Η απάντηση του ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) στην κλήση (ring) του modem είναι το σήμα ΜΕ (modem enable) το οποίο ενεργοποιεί την είσοδο DTR (Data Terminal Ready). Με αυτόν τον τρόπο το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) δηλώνει ότι είναι έτοιμο να στείλει δεδομένα στο modem. Στην έξοδο του ολοκληρωμένου MAX232 προς την μεριά του ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) υπάρχουν πύλες NOT οι οποίες αναστρέφουν το σήμα. Όταν έρχεται το σήμα κλήσης (ring), το οποίο κωδικοποιείται στα +12 V , αντιστρέφεται από το ολοκληρωμένο MAX232 και η έξοδός του είναι 0 V . Το σήμα αναστρέφεται από την πύλη NOT στα +5 V και οδηγείται στο ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger). Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για να γειώνουν τις υψηλές συχνότητες οι οποίες μπορούν εσφαλμένα να αναγνωριστούν ως σήμα κλήσης (ring) από το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger). Το σήμα του ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) (ΜΕ) κωδικοποιείται στα +5 V και αντιστρέφεται από την πύλη NOT στα 0 V . Στην έξοδο του ολοκληρωμένου MAX232 το σήμα είναι +12 V . Κατά τον ίδιο τρόπο με την κλήση (ring) το σήμα Tx (transmited data) του modem οδηγείται στην είσοδο Rx (Received data) του ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger). Το σήμα Tx του ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) οδηγείται στην είσοδο Rx του modem κατά τον ίδιο τρόπο που οδηγείται το σήμα ΜΕ.

Τα modem που χρησιμοποιούνται στο ερευνητικό έργο του παρόντος εδαφίου, είναι σχεδιασμένα σε συνδυασμό με τη διασύνδεση (interface) της εταιρίας US Robotics, για

τα πρωτόκολλα V.32/V32bis με μέγιστη ταχύτητα 9600 bit/s . Έχει καθορισθεί μέχρι σήμερα (2017) ο τρόπος λειτουργίας των modem μέσω των εντολών AT, έτσι ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις του ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger). Οι εντολές δίνονται στο modem μέσα από ένα τηλεπικοινωνιακό πρόγραμμα όπως το TELIX, TERM κ.α. Έχει επίσης αναπτυχθεί ειδική διασύνδεση (interface) του modem και η οποία μπορεί να προσαρμοσθεί με οποιοδήποτε έξυπνο modem του εμπορίου. Ενώ όμως η σύνδεση κοινού modem με τα ψηφιακά συστήματα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (dataloggers) της Campbell γίνεται με σχετικά απλή διασύνδεση, η διασύνδεση της σειριακής πόρτας ενός Η/Υ με το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) είναι σχετικά πολύπλοκη και αυτό γιατί στην απευθείας σύνδεση ΗΥ δεν υπάρχει σήμα κλήσης RING από τον Η/Υ, για να τον ενεργοποιήσει. Στην περίπτωση αυτή το σήμα κλήσης RING προς το το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) πρέπει να σχηματιστεί ηλεκτρονικά από τα πρώτα bytes δεδομένων που αποστέλλονται από τον Η/Υ στο το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger). Για αυτό το λόγο στα προγράμματα επικοινωνίας TELCOM και TERM της Campbell στην απευθείας σύνδεση τους με το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) μέσω διασύνδεσης (interface) αρχικά αποστέλλονται από τον Η/Υ μερικά σύμβολα ¨*¨ για να ενεργοποιηθεί η κλήση RING στο ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger). Στο **Σχήμα 7** φαίνεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα διασύνδεσης του ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) με Η/Υ.

Σχήμα 7: Ηλεκτρονικό κύκλωμα διασύνδεσης ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) της Campbell με Η/Υ



Η λειτουργία της διασύνδεσης του **Σχήματος 7** είναι η εξής : Αρχικά το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) δε βρίσκεται σε κατάσταση επικοινωνίας και το ΜΕ (pin 5) είναι σε κατάσταση Low, άρα το τρανζίστορ 2N3904 είναι σε αποκοπή και ο πυκνωτής 10 μF μεταξύ συλλέκτη και εκπομπού φορτίζεται μέσω της αντίστασης 200 $k\Omega$. Επομένως η πύλη NAND (11,12,13 pin) έχει λογική κατάσταση High στο pin 13.Τα αρχικά δεδομένα Tx data της θύρας RS232 του Η/Υ μετασχηματίζονται σε στάθμη TTL από τον ολοκληρωμένο μετατροπέα MAX232 που τροφοδοτούν την βάση του 2N3906 και επομένως το σύστημα πυκνωτή-αντίστασης (1 μF -1 $M\Omega$) φορτίζεται σε χρόνο 1 s σε λογικό High. Αποτέλεσμα αυτού είναι για χρονικό διάστημα 1 s η είσοδος κλήσης RING του ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) να είναι σε λογικό High. Το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) αντιλαμβάνεται τον κουδουνισμό και απαντά με λογικό High στο ΜΕ, που έχει σαν αποτέλεσμα να κόβει αφενός τους προσθετούς παλμούς στο RING και αφετέρου να ενεργοποιεί την πύλη NAND (1,2,3 pin) ώστε η σειριακή έξοδος από το ψηφιακό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) να επικοινωνεί με τον Η/Υ μέσω του μετατροπέα από TTL σε RS232 στάθμη τάσεως. Στην ίδια λογική του κυκλώματος μπορεί κανείς να αντικαταστήσει το ολοκληρωμένο MAX232, από RS232

σε TTL και αντίστροφα, με οπτικούς ζεύκτες (optocouplers) εάν υπάρχουν προβλήματα απομόνωσης της γειώσεως του ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) με τη γείωση του Η/Υ. Η αντιστοιχία των σημάτων φαίνεται στον **Πίνακα 5**.

Πίνακας 5: Αντιστοιχία των σημάτων ψηφιακού συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων (datalogger) με σειριακή θύρα Η/Υ

DATALOGGER	PC 25-PIN	PC 9-PIN
3(RI)	22(RI)	9(RI)
4(Rx)	2(Tx)	3(Tx)
9(Tx)	3(Rx)	2(Rx)
5(ME)	20(DTR)	4(DTR)
1(Vcc)	1(Vcc)	1(Vcc)
2(Gnd)	7(Gnd)	5(Gnd)
	4(RTS)/5(CTS)	7(RTS)/8(CTS)

4.2.Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες και Ραδόνιο Περιβάλλοντος από Γεω-συστήματα Μακράς Μνήμης: Χάος, Αυτο-οργάνωση και Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων.

4.2.1.Γενικά

Το παρόν εδάφιο παρουσιάζει χαρακτηριστικά αποτελέσματα ιχνών Μακράς Μνήμης, Χάους, Αυτο-οργάνωσης και Κρισιμότητας σε τηλεανιχνευόμενες διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος συχνοτήτων MHz και Ραδονίου εδαφικού αερίου από Γεω-συστήματα προ και κατά τη διάρκεια έντονης σεισμικής δραστηριότητας στην Ελλάδα. Τα χαρακτηριστικά αποτελέσματα επικεντρώνονται σε σημαντικά σήματα των ετών 2008 και 2009. Η προγνωστική αξία των σημάτων συζητείται.

Η κύρια ιδέα είναι να ερευνηθεί εάν υπάρχουν ίχνη φράκταλ, μακράς μνήμης, και αυτο-οργάνωσης. Τα χαρακτηριστικά παραδείγματα των ετών 2008 και 2009 του εδαφίου οφείλονται στο γεγονός ότι σε αυτά τα έτη υπήρξε εξαιρετική σεισμική δραστηριότητα.

Πιο συγκεκριμένα, το 2008 παρατηρήθηκε ιδιαίτερη σεισμική δραστηριότητα στη νοτιοδυτική (SW) Ελλάδα. Επτά πολύ ισχυροί σεισμοί ($M_L > 5.0$) καταγράφηκαν μεταξύ Φεβρουαρίου και Μαΐου του 2008. Το 2009 η σεισμική δραστηριότητα δεν ήταν τόσο έντονη όπως το 2008. Εντούτοις, στο 2009 μερικοί πολύ σημαντικοί υποθαλάσσιοι σεισμοί εμφανίστηκαν και επιπρόσθετα, σεισμικά γεγονότα σε ρηχά βάθη. Τα αποτελέσματα του παρόντος εδαφίου παρέχουν την ανάλυση μερικών πολύ σημαντικών διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος συχνοτήτων MHz που συλλέχθηκαν από δίκτυο τηλεανιχνευόμενων διαταραχών στην Ελλάδα (**Εδάφιο 3, Σχήμα 2**). Οι εφαρμοσμένες τεχνικές αποκαλύπτουν χαρακτηριστικά αυτοομοιότητας μακράς μνήμης και ύπαρξη δομών αυτο-οργάνωσης. Η προγνωστική αξία όλων των σημάτων συζητείται.

4.2.1.1.Ανάλυση Φράκταλ

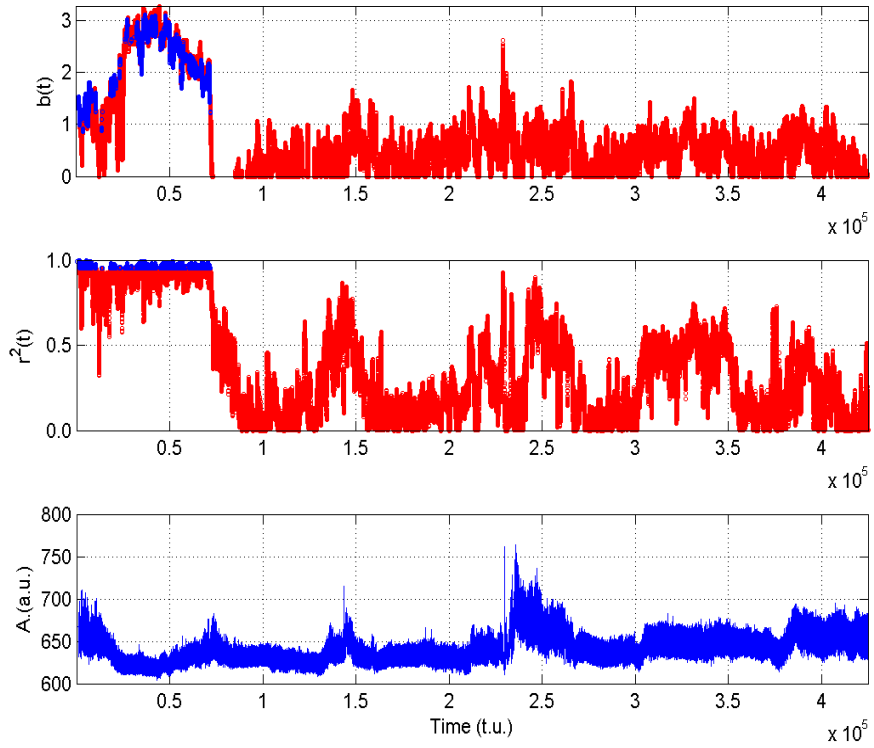
4.2.1.2. Χαρακτηριστικά αποτελέσματα έτους 2008

Το **Σχήμα 8** παρουσιάζει μερικά χαρακτηριστικά αποτελέσματα σημάτων Ηλεκτρομαγνητικών Διαταραχών Περιβάλλοντος από το σταθμό της Νεάπολης. Η συχνότητα συγχρονισμού των κεραιών ήταν 46 MHz και οι ημέρες καταγραφής των σημάτων ήταν από 16 μέχρι 18 Μαρτίου του 2008. Το **Σχήμα 8γ** παρουσιάζει το σήμα κατά τη διάρκεια των προαναφερθεισών ημερών. Τα **Σχήματα 8α,β** παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της εφαρμογής της ανάλυσης φράκταλ στις ίδιες ημέρες.

(α)

(β)

(γ)



Σχήμα 8: Χρονική εξέλιξη παραμέτρων από το σταθμό Νεαπόλεος, Σήμα στα 46 MHz , ημέρες 75–78, έτος 2008. Χρονική εξέλιξη (α) εκθέτη δύναμης b (β) τετραγώνου συντελεστή Spearman r^2 και (γ) διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος. Με μπλε συμβολίζονται οι επιτυχείς ($r^2 \geq 0.95$) περιοχές φράκταλ. Ανάλυση σε κυλιόμενα παράθυρα 1024 δειγμάτων.

Στο **Σχήμα 8β** μπορεί να παρατηρηθεί ότι κατά το πρώτο μέρος του σήματος το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης Spearman παίρνει τιμές πολύ κοντά στο 1, δηλαδή, η προσαρμογή στο νόμο δύναμης ήταν εξαιρετική. Αυτό είναι μια ισχυρή ένδειξη του χαρακτήρα φράκταλ των σχετικών διαδικασιών και δομών. Στο **Σχήμα 8α** το ίδιο μέρος του σήματος παρουσιάζει τιμές εκθέτη b μεταξύ 1.5 και 3.0. Υπενθυμίζεται ότι τιμές εκθέτη b μεταξύ $1.5<b<2.0$ δείχνουν μη-μονιμότητα (antipersistency) και οι τιμές πάνω από 2 ($b>2.0$), μονιμότητα (persistency). Το τελευταίο σημαίνει ότι οι αντίστοιχες διακυμάνσεις συσχετίζονται θετικά. Αυτό υποδηλώνει ότι η υποκείμενη δυναμική του Γεω-συστήματος που εξέπεμψε τις συγκεκριμένες διαταραχές, διέπεται από θετικό μηχανισμό ανάδρασης. Σε αυτή την κκρίσιμη κατάσταση, ακόμη και μικρές εξωτερικές επιδράσεις τείνουν να οδηγήσουν το σύστημα εκτός ισορροπίας. Με αυτό τον τρόπο, το Γεω-σύστημα αποκτά

αυτορυθμιζόμενο χαρακτήρα και, σε μεγάλο βαθμό, την ιδιότητα της μη αναστρεψιμότητας, σημαντικό συστατικό της αξιοπιστίας πρόβλεψης.

Οι υψηλές τιμές εκθετών b νόμου δύναμης στο Σχήμα 8 συνεπάγονται χρονικές συσχετίσεις μεγάλης εμβέλειας, δηλαδή, ισχυρή μνήμη του συσχετιζόμενου Γεω-συστήματος. Έτσι, κάθε τιμή συσχετίζεται όχι μόνο με την πιο πρόσφατη τιμή της, αλλά και, για τη μακροπρόθεσμη ιστορία της και αυτό με μία διαδικασία φράκταλ ανεξάρτητη της κλίμακας. Σε αυτή την κατάσταση, το Γεωσύστημα αναφέρεται στην ιστορία του για να καθορίσει το μέλλον του, δηλαδή η ιστορία του Γεω-συστήματος καθορίζει το μέλλον του (μη Markovian συμπεριφορά). Από μια άλλη άποψη, η συμπεριφορά $1/f$ είναι μια αντανάκλαση του γεγονότος ότι το τελικό αποτέλεσμα της θραύσης επηρεάζεται από πολλές διαδικασίες που δρουν σε διαφορετικές χρονικές και χωρικές κλίμακες. Με άλλα λόγια αυτό σημαίνει, ότι οι μικρο-ρωγμές που οριοθετούν, χωρικά, την απαρχή της θραύσης, εκδηλώνουν φρακταλική συμπεριφορά στο χώρο ή οποία εκδηλώνεται φρακταλικά και στη χρονική εξέλιξη της θραύσης. Η χωρική φρακταλική συμπεριφορά υποδεικνύει ότι η μελέτη ενός οποιοδήποτε τμήματος της θραύσης, είναι κατοπτρισμός ενός οποιουδήποτε άλλου τμήματος- ή του όλου- σε μία απλή διαφορά χωρικής κλίμακας. Στο χρόνο, η φρακταλική συμπεριφορά υποδεικνύει ότι οποιοδήποτε τμήμα της φρακταλικής χρονοσειράς, είναι αυτο-όμοιο (self-affine) με οποιοδήποτε άλλο τμήμα ή το όλο. Δηλαδή, κατά την κρίσιμη φρακταλική συμπεριφορά, μπορεί να προβλεφθεί ένα οποιοδήποτε μεγάλο τμήμα αυτής, από κάποιο αρχικό μικρό. Πρόσφατα (2015, 2016) αυτό αποδείχθηκε, με αναπαραγωγή όλης της φρακταλικής χρονοσειράς από μικρό φρακταλικό τμήμα αυτής μέσω τεχνητής νοημοσύνης με εφαρμογή συστημάτων SVM (Support Vector Machines) και μάλιστα για διάφορα σήματα Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος συχνοτήτων MHz

Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα είναι σε καλή συμφωνία με τη σχετική πρόβλεψη που βασίζεται στην υπόθεση ότι η εξέλιξη των προσεισμικών Γεω-συστημάτων προς την τελική θράυση λαμβάνει χώρα ως αυτο-οργανωμένη κρίσιμη (SOC) κατάσταση. Όλα αυτά είναι συμβατά με το τελευταίο στάδιο της παραγωγής σεισμού. Επιπλέον, οι υψηλές τιμές των εκθετών b είναι ενδεικτικές περί της διαγνωστικής αξίας των υποψήφιων πρόδρομων δραστηριοτήτων. Πράγματι, ο θόρυβος, που είναι ποιοτικά ανάλογος με το μοντέλο fGn (fractional Gaussian), παρουσιάζει τιμές εκθέτη b μεταξύ μεταξύ 0 και 1. Αντίθετα, τα πρόδρομα σήματα Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών

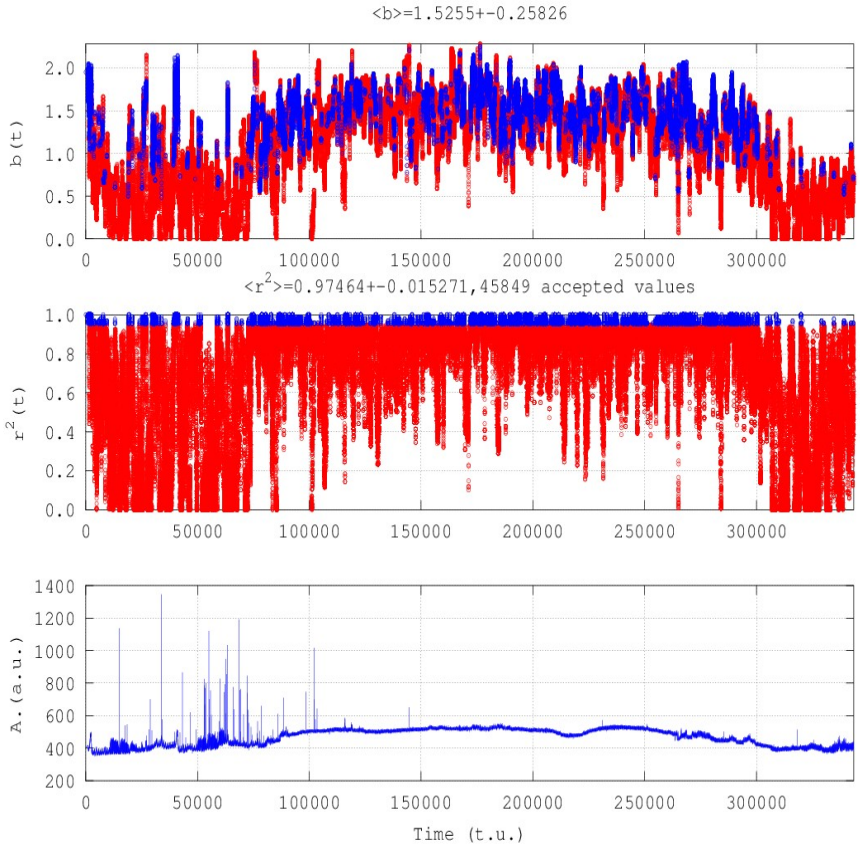
Περιβάλλοντο είναι συμβατά με το μοντέλο fBm (fractional Brownial model) και οι τιμές b κυμαίνονται μεταξύ 1.5 και 3. Το τελευταίο γεγονός δείχνει ότι οι υψηλές τιμές b του Σχήματος 4 είναι συμβατές με μοντέλο fBm, το οποίο είναι σύμφωνο με την αυτο-όμοια κλασματική κίνηση Μπράουν των τριβόμενων επιφάνειών κατά την παραγωγή σεισμών. Παρόμοια ευρήματα έχουν αναφερθεί πρόσφατα και κατά την κρίσιμη διαδικασία έμφρακτων καρδιακών επεισοδίων όπως και εγκεφαλικών.

Στο **Σχήμα 9** αναλύεται ένα άλλο χαρακτηριστικό σήμα. Το **Σχήμα 9** παρουσιάζει μερικά χαρακτηριστικά αποτελέσματα του σταθμού στο Βάμο Κρήτης. Η συχνότητα συγχρονισμού των κεραιών ήταν 46 MHz και οι ημέρες καταγραφής των σημάτων ήταν από 17 μέχρι 19 Φεβρουαρίου 2008. Το **Σχήμα 9γ** παρουσιάζει το ΗΜ σήμα κατά τη διάρκεια των προαναφερθεισών ημερών. Τα **Σχήματα 9β** και **9γ** παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της εφαρμογής της φασματικής ανάλυσης φράκταλ στις ίδιες ημέρες. Στο **Σχήμα 9β** μπορεί να παρατηρηθεί ότι το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης Spearmen παίρνει τιμές πολύ κοντά σε 1, δηλ., η προσαρμογή στο νόμο δύναμης είναι άριστος. Στο Σχήμα 9α το σήμα παρουσιάζει τιμές εκθέτη b μεταξύ 1.5 και 2.0. Οι τιμές αυτές υποδεικνύουν μη μονιμότητα, πλην όμως μακρά μνήμη.

(α)

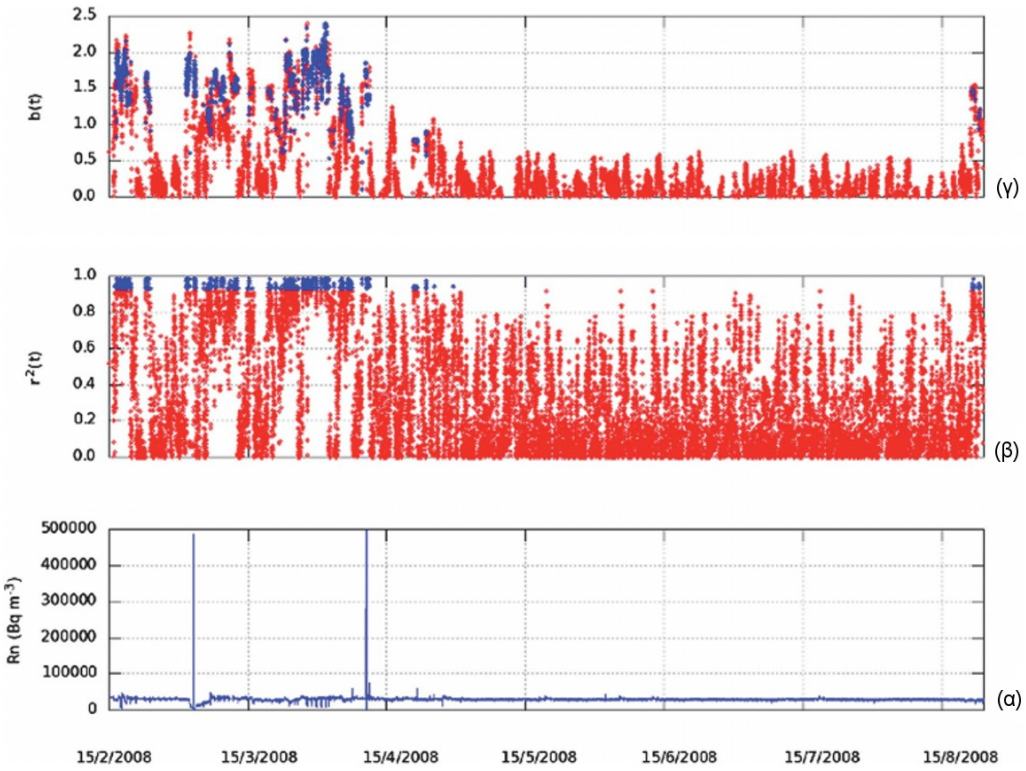
(β)

(γ)

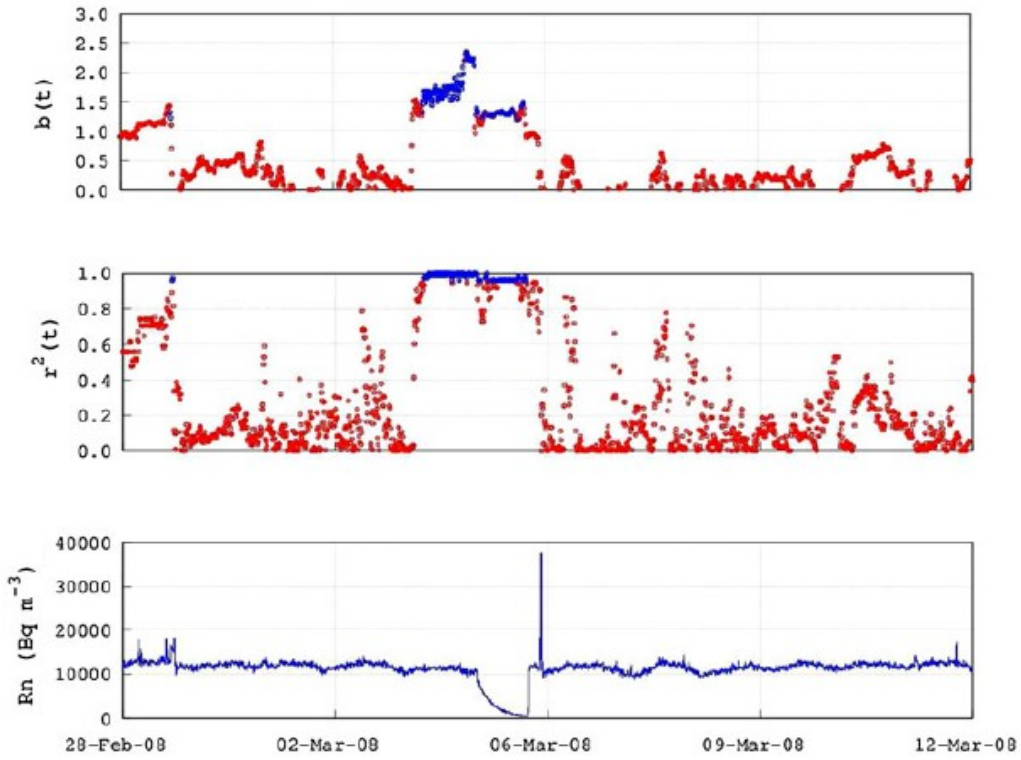


Σχήμα 9: Ανάλυση φράκταλ σήματος από το σταθμό του Βάμου, 46MHz, days 48-51, 2008. Χρονική εξέλιξη (α) εκθέτη δύναμης b (β) τετραγώνου συντελεστή Spearman r^2 και (γ) διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος. Με μπλε συμβολίζονται οι επιτυχείς ($r^2 \geq 0.95$) περιοχές φράκταλ. Ανάλυση σε κυλιόμενα παράθυρα 1024 δειγμάτων.

Στο **Σχήμα 10** παρουσιάζεται παρόμοια φρακταλική συμπεριφορά από το διαταραχές Ραδόνιου εδαφικού αερίου. Οι διαταραχές αυτές ανιχνεύθηκαν μεταξύ τριών και δύο μηνών προ του μεγάλου σεισμού της $M_L=6.8$ της Ηλείας (2008) ο οποίος είχε επίκεντρο μόλις 29 km μακρυά από το σταθμό παρακολούθησης του Καραδαμά Ηλείας. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τονισθεί ότι το συγκεκριμένο σήμα όπως και η ανάλυσή του αποτελούν παγκόσμια πρωτοτυπία. Το **Σχήμα 10** αποκαλύπτει τα παρακάτω πολύ σημαντικά θέματα: (α) Η πλειονότητα των παραθύρων μεταξύ των έντονων διαταραχών, αλλά και σημαντικού αριθμού παραθύρων πριν από αυτές, παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερες τιμές εκθέτη b δύναμης από τις υπόλοιπες περιοχές. (β) Οι περιοχές (α) παρουσίασαν επιτυχή ($r^2\geq 0.95$) φρακταλική συμπεριφορά και μάλιστα με τιμές εκθέτη b δύναμης μεταξύ 1.5 και 2.5. (γ) Οι δύο έντονες διαταραχές παρουσίασαν επιτυχή ($r^2\geq 0.95$) φρακταλική συμπεριφορά και μάλιστα με τιμές εκθέτη b δύναμης (1.8 ± 0.2 και 1.8 ± 0.3) αντίστοιχα (δ) Τα περισσότερα παράθυρα στο υπόστρωμα παρουσίασαν τιμές εκθέτη b δύναμης μεταξύ 0.9 και 1.0 για όσες επιτυχείς περιοχές ευρέθησαν. Τα παραπάνω δεδομένα υπονοούν φρακταλική συμπεριφορά με συμπεράσματα παρόμοια με τα αντίστοιχα του **Σχήματος 8**, με μία ειδική μνεία: οι επιτυχείς ($r^2\geq 0.95$) φρακταλικές περιοχές με τιμές εκθέτη b δύναμης στην περιοχή μονιμότητας ή ανταλλαγών μεταξύ μονιμότητας και μη μονιμότητας, συνοδεύονται από έντονες μεταβολές συγκεντρώσεων ραδονίου. Αυτό φαίνεται επίσης και στο **Σχήμα 11** που αντιστοιχεί σε διαταραχές Ραδονίου εδαφικού αερίου που ελήφθησαν από το σταθμό της Λέσβου προ ακολουθίας σεισμικών διαταραχών του τόξου της Ανατολίας. Σε αντιδιαστολή αναφέρεται ότι οι επιτυχείς ($r^2\geq 0.95$) φρακταλικές περιοχές με υψηλές τιμές εκθέτη b δύναμης στην περιοχή μονιμότητας ή ανταλλαγών μονιμότητας και μη μονιμότητας στις Ηλεκτρομαγνητικές Ακτινοβολίες Περιβάλλοντος δε συνοδεύονται πάντα με έντονες διαταραχές σήματος.



Σχήμα 10: Ανάλυση φράκταλ σήματος Ραδονίου εδαφικού αερίου από το σταθμό του Καρδαμά Ηλείας, έτος 2008. Χρονική εξέλιξη (α) εκθέτη δύναμης b (β) τετραγώνου συντελεστή Spearman r^2 και (γ) διαταραχών Ραδονίου Περιβάλλοντος. Με μπλε συμβολίζονται οι επιτυχείς ($r^2 \geq 0.95$) περιοχές φράκταλ. Ανάλυση σε κυλιόμενα παράθυρα 512 δειγμάτων.

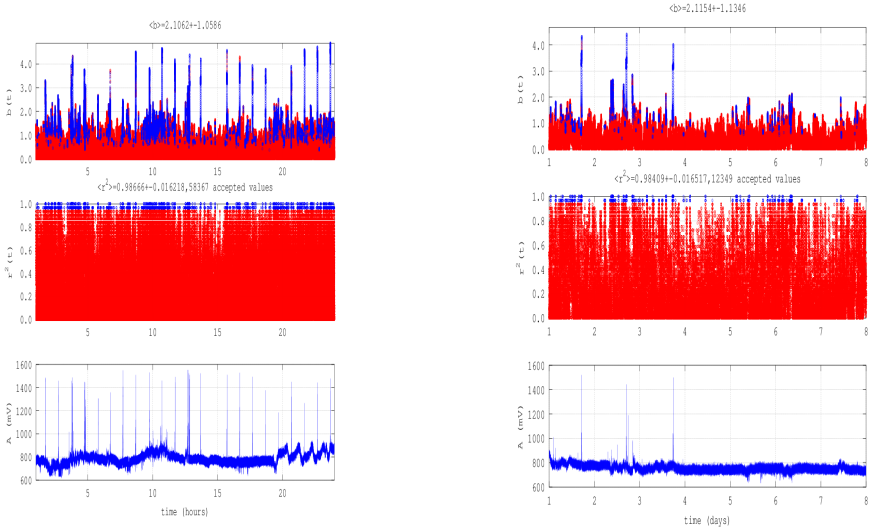


Σχήμα 11: Ανάλυση φράκταλ σήματος Ραδονίου εδαφικού αερίου από το σταθμό της Λέσβου, έτος 2008. Χρονική εξέλιξη (α) εκθέτη δύναμης b (β) τετραγώνου συντελεστή Spearman r^2 και (γ) διαταραχών Ραδονίου Περιβάλλοντος. Με μπλε συμβολίζονται οι επιτυχείς ($r^2 \geq 0.95$) περιοχές φράκταλ. Ανάλυση σε κυλιόμενα παράθυρα 512 δειγμάτων.

4.2.1.3. Χαρακτηριστικά αποτελέσματα έτους 2009

Το **Σχήμα 12** παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης φράκταλ σε σήμα διάρκειας ενός μηνός που καταγράφηκε στο σταθμό των Ιωαννίνων πριν από το σεισμό της 8ης/1/2009 με $M_L = 5.0$ και βάθος 2 km . Στο Σχήμα 10α μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι εκθέτες φράκταλ λαμβάνουν τις τιμές μεταξύ $1.5 < b < 5$. Επισημαίνεται ότι οι τιμές $b > 3$ οδηγούν σε κορεσμό της διάστασης φράκταλ στην τιμή 2. Επίσης είναι σημαντικό να τονισθεί ότι η χρονική μεταβολή των εκθετών b υποδεικνύει διαρκή μετατροπή μεταξύ μη μονιμότητας και μονιμότητας, σε κάθε περίπτωση μακράς μνήμης. Οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης λαμβάνουν τιμές πολύ κοντά στο 1, δηλ. η προσαρμογή στο νόμο δύναμης είναι άριστη. Στο **Σχήμα 10β** οι εκθέτες b

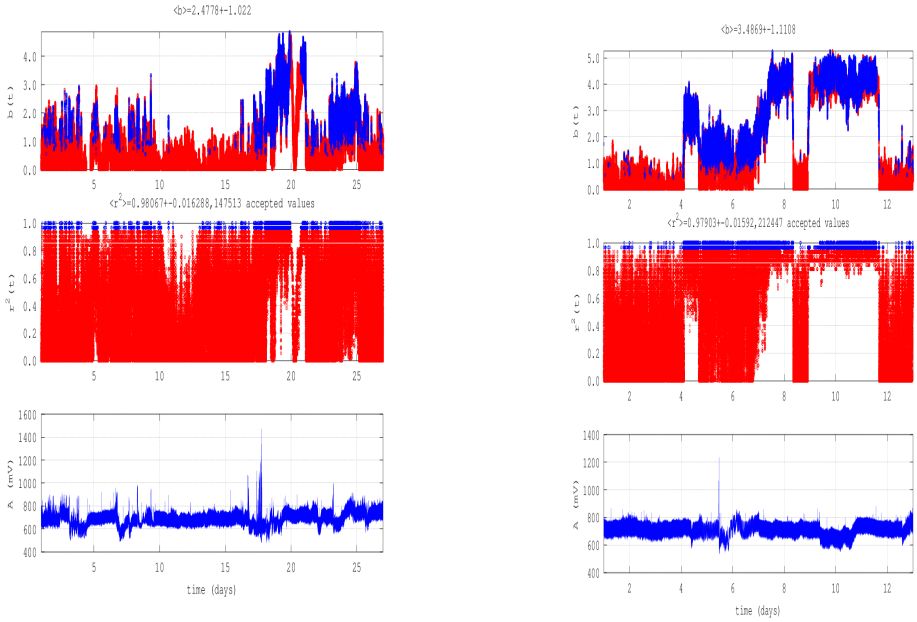
παρουσιάζουν τιμές κυρίως μη -μονιμότητας και μακράς μνήμης με άριστη προσαρμογή στο νόμο δύναμης.



(α) **(β)**

Σχήμα 12: Ανάλυση φράκταλ σήματος από το σταθμό Ιωαννίνων, 41 MHz : (α) ημέρες 343-366, έτος 2008, (β) ημέρες 1-8, έτος 2009. Σε κάθε υποπερίπτωση, από πάνω προς τα κάτω παρουσιάζονται η χρονική εξέλιξη του εκθέτη δύναμης b , του τετραγώνου του συντελεστή Spearman r^2 και των διαταραχών των Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος. Με μπλε συμβολίζονται οι επιτυχείς περιοχές φράκταλ($r^2 \geq 0.95$). Ανάλυση σε κυλιόμενα παράθυρα 1024 δειγμάτων.

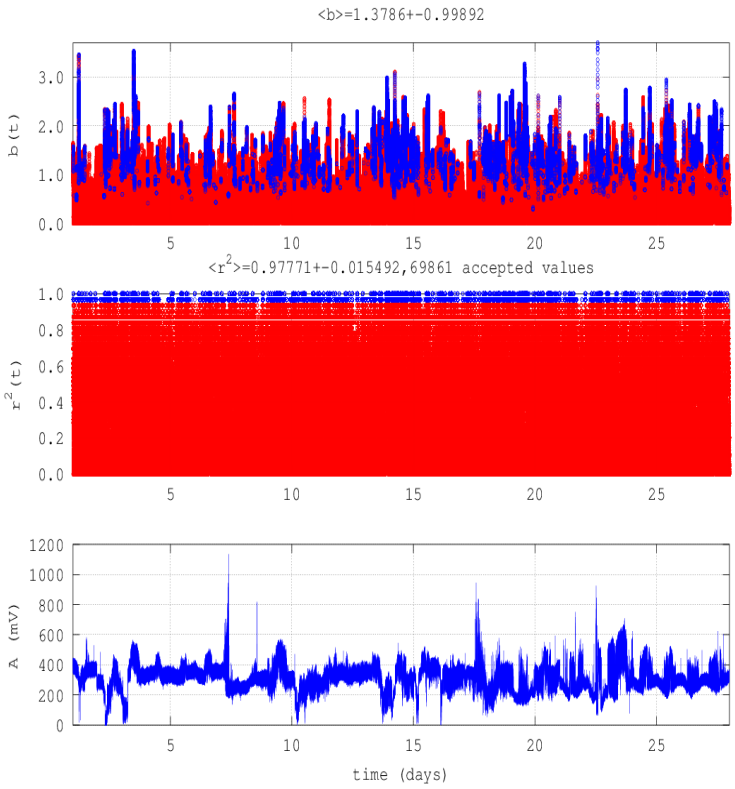
Το **Σχήμα 13** παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης φράκταλ ενός σήματος που καταγράφηκε από το σταθμό της Νεαπόλεως πριν από το υποθαλάσσιο σεισμό της 13ης/1/2009 με $M_L=5.2$ και βάθος 42 km . Στην ανάλυση φράκταλ του **Σχήματος 13α** οι παρουσιαζόμενες τιμές εκθέτη βήτα είναι αρκετά μεγαλύτερες του 2.0, πράγμα που σημαίνει ότι η ελλοχεύουσα δυναμική κυβερνάται από ένα θετικό μηχανισμό ανατροφοδότησης. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν την παρουσία μεγάλης ακτίνας αλληλεπιδράσεων και την μακρά μνήμη του Γεω-συστήματος που παρήγαγε τις ανωμαλίες αυτές. Οι σχετικές τιμές δείχνουν μονιμότητα (persistency).



(α) **(β)**

Σχήμα 13: Φασματική ανάλυση φράκταλ σημάτων από το σταθμό Ιωαννίνων, 41 MHz , ημέρες (α) 340-366, έτος 2008 και (β) 1-13 έτος 2009. Σε κάθε υποπερίπτωση, από πάνω προς τα κάτω παρουσιάζονται η χρονική εξέλιξη του εκθέτη δύναμης b , του τετραγώνου του συντελεστή Spearman r^2 και των διαταραχών των Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος. Με μπλε συμβολίζονται οι επιτυχείς περιοχές φράκταλ($r^2\geq 0.95$). Ανάλυση σε κυλιόμενα παράθυρα 1024 δειγμάτων.

Το **Σχήμα 14** παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυση φράκταλ ενός μηνιαίου σήματος που καταγράφηκε από το σταθμό της Κομοτηνής πριν το σεισμό με $M_L=5.1$ της 24ης/5/2009 σε βάθος 23 km .



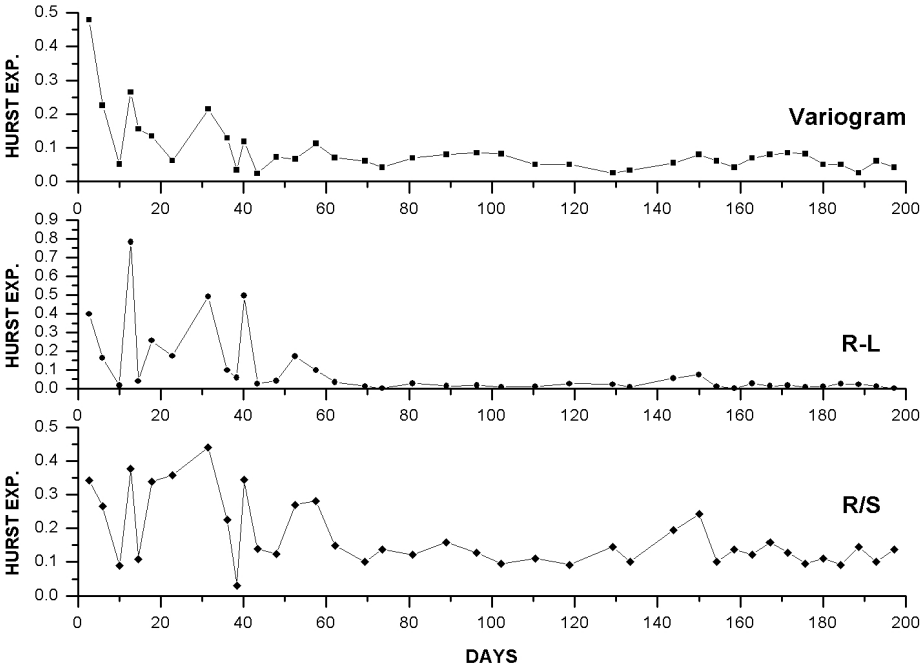
Σχήμα 14: Από πάνω προς τα κάτω παρουσιάζονται η χρονική εξέλιξη του εκθέτη δύναμης b , του τετραγώνου του συντελεστή Spearman r^2 και των διαταραχών των Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος. Με μπλε συμβολίζονται οι επιτυχείς περιοχές φράκταλ($r^2 \geq 0.95$). Ανάλυση σε κυλιόμενα παράθυρα 1024 δειγμάτων.

Συμπερασματικά μπορεί να υποστηριχθεί ότι η εμφάνιση υψηλών υψηλών τιμών εκθετών b νόμου δύναμης υποδεικνύει ότι οι σχετικές ανωμαλίες Ηλεκτρομαγνητικών Διαταραχών Περιβάλλοντος στα 41 MHz και τα 46 MHz και Ραδονίου Περιβάλλοντος μπορούν να θεωρηθούν πρόδρομες έλευσης σεισμών. Όλα τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα με μια προσεισμική φάση SOC.

4.2.3.Ανάλυση Hurst, DFA και διάστασης φράκταλ

Το **Σχήμα 15** παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη του εκθέτη Hurst για τη χρονοσειρά ραδονίου εδαφικού αερίου του 2008 συμφώνως προς τις μεθόδους R/S , $R-L$ και Βαριογράμματος.. Για τους υπολογισμούς, το σήμα διακριτοποιήθηκε σε ξεχωριστά χρονικά παράθυρα. Το μήκος κάθε χρονικού παραθύρου ήταν 512 δειγμάτων ίδιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε για τη χρονική εξέλιξη των τιμών b του νόμου δυναμης του ιδίου σήματος (**εδάφιο 4.2.2**). Σε αντίθεση με το κυλιόμενο παράθυρο που είχε εφαρμοσθεί εκεί, το **Σχήμα 15** δημιουργήθηκε με την τεχνική συνεχόμενων διακριτών παραθύρων (lumping). Όλες οι τεχνικές παρήγαγαν παρόμοια αποτελέσματα, δηλαδή οι τιμές- H των πρώτων 50 ημερών lumping του σήματος του 2008 είχαν σημαντικά υψηλότερες μέσες τιμές ($P<0.001$, ANOVA) συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές της υπόλοιπης περιόδου. Επισημαίνεται ότι η περίοδος των πρώτων 50-ημερών, αντιστοιχεί στην περίοδο των έντονων προσεισμικών διακυμάνσεων. Αυτή η διαφοροποίηση της πρώτης περιόδου, είχε επίσης ανιχνευθεί και από τη χρονική εξέλιξη του νόμου δύναμης του ιδίου σήματος (**εδάφιο 4.2.2**). Στην πρώτη περίοδο lumping 50-ημερών, οι εκθέτες Hurst ήταν μεταξύ $0<H<0.5$ σύμφωνα με τη μέθοδο R/S . Αυτές οι τιμές υποδεικνύουν χαρακτηριστικά εναλλαγών μεταξύ χαμηλών και υψηλών τιμών. Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος $R-L$ υπέδειξε τιμές εκθετών Hurst μεταξύ και $0<H<0.5$ αλλά και $0.5<H<1$. Επισημαίνεται ότι το τελευταίο εύρος τιμών αναφέρεται σε θετική αυτοσυσχέτιση μακρού-εύρους (long-term positive autocorrelation), δηλαδή διαδικασία μακρά μνήμη. Επομένως σύμφωνα με τη μέθοδο $R-L$ υπάρχει μία διαρκής εναλλαγή μεταξύ κατάστασης μονιμότητας και μη μονιμότητας στις πρώτες 50 ημέρες του σήματος ραδονίου του 2008 του Καρδαμά Ηλείας. Παρόμοια συμπεριφορά εναλλαγής είχε αναφερθεί για το ίδιο σήμα με τη μέθοδο της φασματικής ανάλυσης με φράκταλς. Εναλλαγές καταστάσεών μονιμότητας και μη μονιμότητας έχουν αναφερθεί επίσης και για τις διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος και θεωρούνται ως αποτύπωμα της έλευσης σεισμού.

Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος Βαριογράμματος δεν ανίχνευσε τέτοια εναλλαγή καθόσον όλες οι τιμές του σχήματος 5c αναφέρονται σε κατάσταση μη-μονιμότητας. Εστιασμένη ανάλυση στην περιοχή των ανωμαλιών ραδονίου δείχνει ότι το εύρος τιμών εκθετών Hurst ήταν $0.09 \le H \le 0.441$ σύμφωνα με τη μέθοδο R/S , $0.04 \le H \le 0.782$ σύμφωνα με τη μέθοδο $R-L$ και $0.034 \le H \le 0.48$ σύμφωνα με τη μέθοδο Βαριογράμματος. Από την άλλη μεριά, στο σταθερό κομμάτι του σήματος, το εύρος των εκθετών Hurst ήταν χαμηλότερης διακύμανσης και συγκεκριμένα $0.092 \le H \le 0.281$ από τη μέθοδο R/S , $0.001 < H < 0.172$ από τη μέθοδο $R-L$ και $0.026 \le H \le 0.113$ από τη μέθοδο Βαριογράμματος. Οι τιμές εκθετών H του σταθερού κομματιού του σήματος είναι επίσης συμβατά με κατάσταση antipersistency. Οι τιμές-H για τα σήματα ραδονίου του 2010 και του 2011, δε διέφεραν σημαντικά από αυτά του σταθερού τμήματος του σήματος του 2008. Επισημαίνεται ότι, τα παραπάνω ευρήματα είναι πλήρως νέα σχετικά με προσεισμικά σήματα ραδονίου στη σχετική βιβλιογραφία.



Σχήμα 14: Εξέλιξη του δείκτη Hurst για το σήμα Ραδονίου

Σύμφωνα με διάφορες δημοσιεύσεις, ο εκθέτης Hurst, H και ο εκθέτης νόμου δύναμης, b ,συνδέονται με τη σχέση

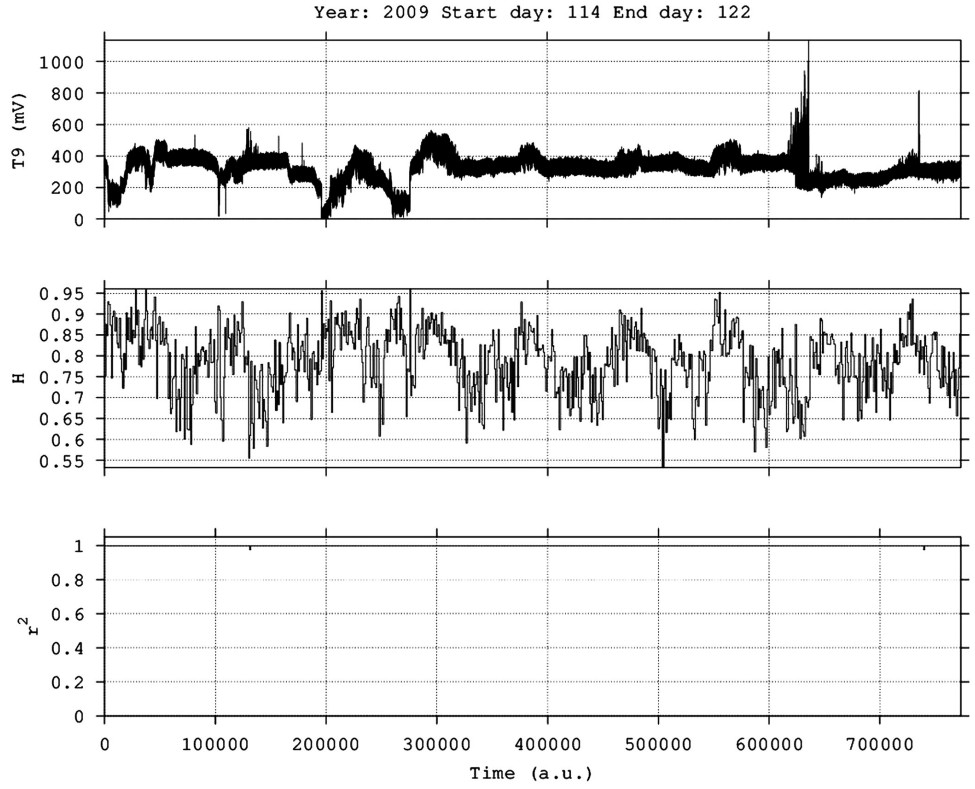
$$b = 2 \cdot H + 1 \quad (\ 1 < b < 3\ ) \text{ για το μοντέλο fBm} \tag{25}$$

και

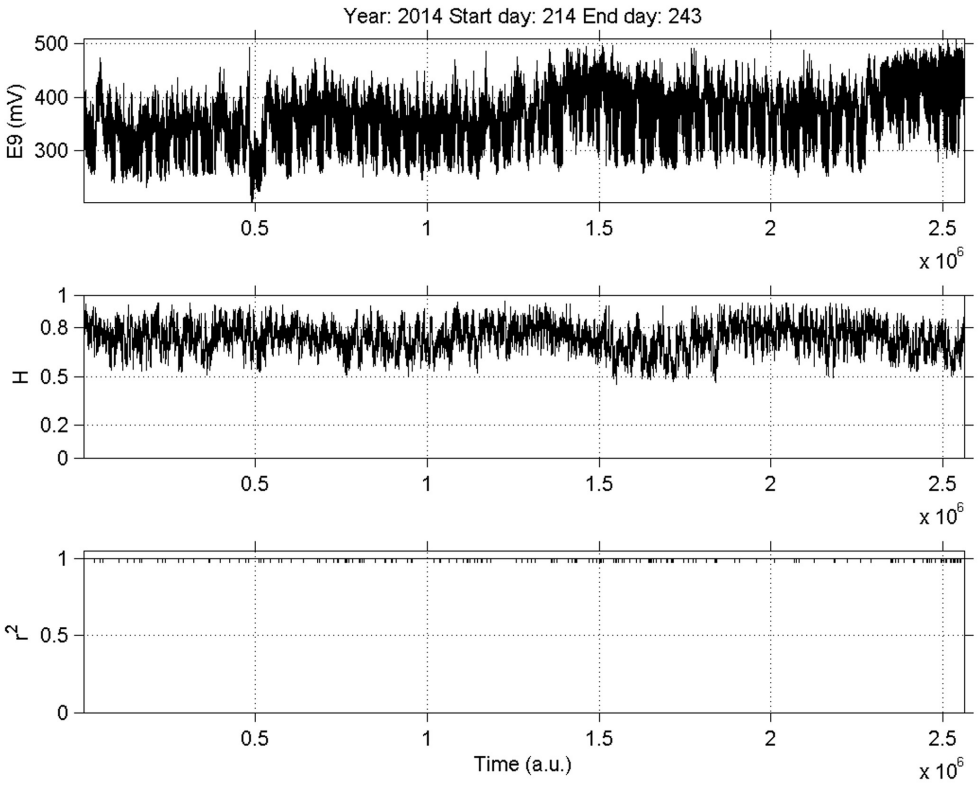
$b=2\cdot H-1$ ($-1<b<1$) για το μοντέλο fGn (26)

Σύμφωνα με αυτή την οπτική γωνία, οι τιμές εκθετών Hurst της πρώτης περιόδου 50 ημερών του σχήματος 5, υποδηλώνουν μοντέλο fBm και τιμές b στο εύρος $1.5<b<2$, δηλαδή κατάσταση μη-μονιμότητας. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τη μέθοδο R-L, μερικές τιμές εκθετών H είναι συνυφασμένες με τιμές b πάνω από 2 ($b>2$), δηλαδή αντιστοιχούν σε κατάσταση μονιμότητας. Παρόμοια ευρήματα έχουν αναφερθεί και στο **εδάφιο 4.2.2**. Είναι σημαντικό επίσης ότι ερευνητές έχουν αναφέρει επίσης διαφοροποιήσεις στις εκτιμήσεις εκθετών Hurst δια μέσω των μεθόδων R/S , $R-L$ και Βαριογράμματος, υποδεικνύοντας τη μέθοδο $R-L$ ως εκείνη που δίνει τις υψηλότερες και ταυτόχρονα ακριβέστερες εκτιμήσεις. Είναι επίσης σημαντικό ότι η τεχνική lumping δεν επιδρά σημαντικά στις εκτιμήσεις εκθετών Hurst που ακολουθούν το μοντέλο fBm. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6 οι τιμές H με βάση την τεχνική κυλιόμενου παραθύρου είναι παρόμοιες με αυτές των μεθόδων R/S και Βαριογράμματος. Οι μη υποδεικνυόμενες τιμές αντιστοιχούν σε μοντέλο fGn. Από την άλλη πλευρά οι τιμές εκθετών Hurst του σήματος ραδονίου εδαφικού αερίου του έτους 2010 ακολουθούν μοντέλο fGn. Επισημαίνεται ότι το υπόστρωμα του ραδονίου ευρέθη ότι δεν ακολουθεί μοντέλο fBm κατάστασης μη μονιμότητας. Το **Σχήμα 14** επιπλέον δείχνει ότι το υπόστρωμα ακολουθεί μοντέλο fGn. Σύμφωνα με τα ως τώρα εκ τεθέντα, αυτό υποδηλώνει πλήρως ασυσχέτιστες χρονοσειρές.

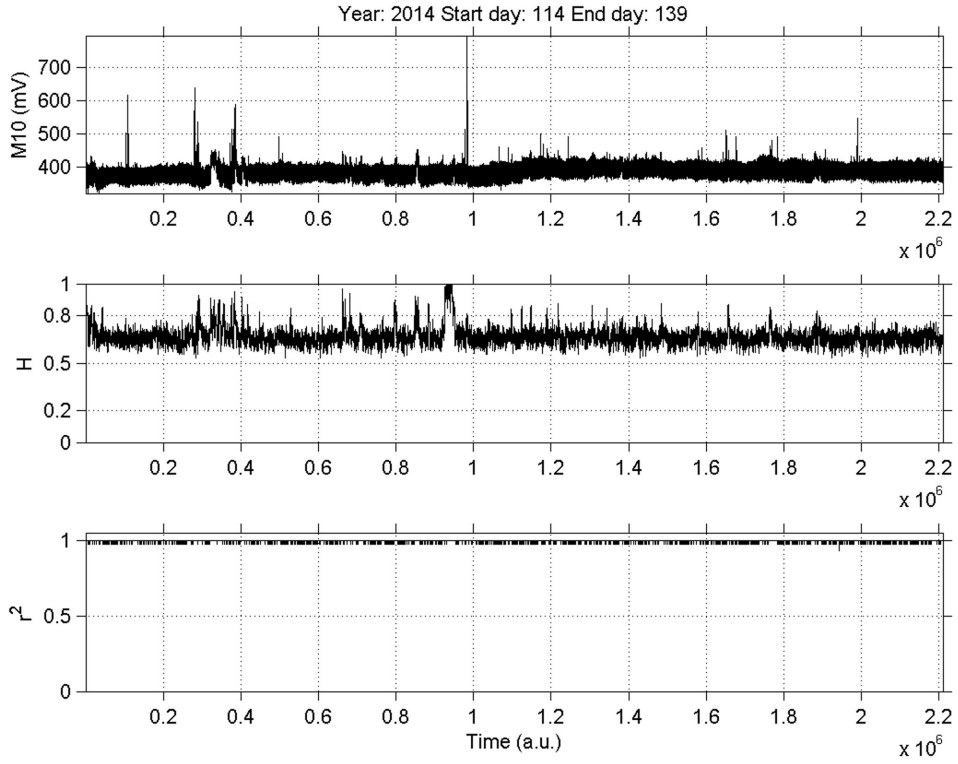
Τα **Σχήματα 15-17** και το **Σχήμα 19** παρουσιάζουν χαρακτηριστικά αποτελέσματα της ανάλυσης R/S . Όλα τα σήματα είναι Ηλεκτομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος (συντομογραφία ΗΜΑΠ στα σχήματα) συχνοτήτων MHz (41 MHz ή 46 MHz). Όλα τα διαγράμματα παρουσιάζουν τη χρονική εξέλιξη του εκθέτη Hurst σε κυλιόμενα παράθυρα συνολικής διάρκειας ενός μηνός από το σεισμικό γεγονός μαζί με τη χρονική σειρά της συνδέεται τετράγωνο του τετραγώνου του συντελεστή συσχέτισης του Spearman.



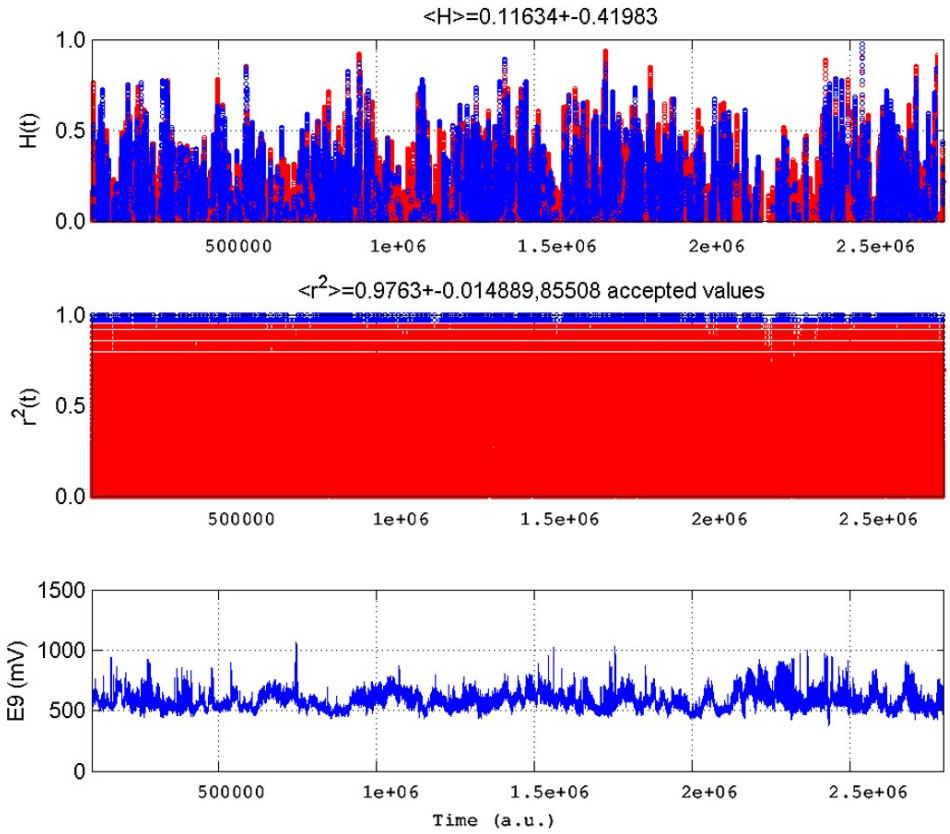
Σχήμα 15: Χρονική εξέλιξη των εκθετών Hurst εκθέτη. (Υπολογισμός με κυλιόμενο παράθυρο ανάλυσης R/S , Σεισμός 24/5/2009, Κιλκίς, M_L =5.1, σταθμός Κομοτηνής (Τ), Ημέρες 114-122 έτους 2009, 41 MHz . Χρόνος σε δευτερόλεπτα (A.u.). Από πάνω προς τα κάτω: διαταραχές ΗΜΑΠ, η χρονική εξέλιξη του εκθέτη Hurst και του τετραγώνου του συντελεστή συσχέτισης του Spearman).



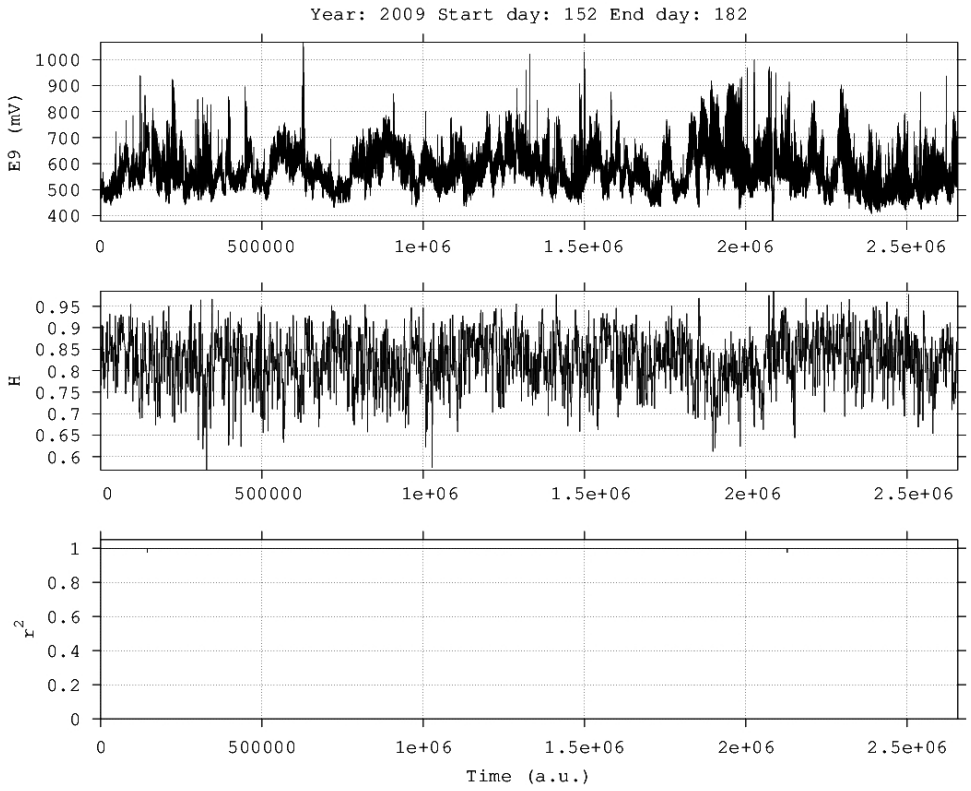
Σχήμα 16: Χρονική εξέλιξη των εκθετών Hurst εκθέτη. (Υπολογισμός με κυλιόμενο παράθυρο ανάλυσης R/S , Σεισμός 24/5/2009, Κιλκίς, M_L =5.1, σταθμός Κομοτηνής (Τ), Ημέρες 114-122 έτους 2009, 41 MHz . Χρόνος σε δευτερόλεπτα (A.u.). Από πάνω προς τα κάτω: διαταραχές ΗΜΑΠ, η χρονική εξέλιξη του εκθέτη Hurst και του τετραγώνου του συντελεστή συσχέτισης του Spearman).



Σχήμα 17: Χρονική εξέλιξη των εκθετών Hurst εκθέτη. (Υπολογισμός με κυλιόμενο παράθυρο ανάλυσης R/S , Σεισμός 24/5/2014, Κιλκίς, M_L =6.3, σταθμός Μυτιλήνης (M), Ημέρες 114-139 έτους 2009, 46 MHz . Χρόνος σε δευτερόλεπτα (A.u.). Από πάνω προς τα κάτω: διαταραχές ΗΜΑΠ, η χρονική εξέλιξη του εκθέτη Hurst και του τετραγώνου του συντελεστή συσχέτισης του Spearman).



Σχήμα 18: Χρονική εξέλιξη H για τμήματα fBm όπως αναγνωρίζονται μέσω της ανάλυσης φράκταλ σύμφωνα με τις εξισώσεις (25) και (26). (Σεισμός 1/7/2009, M_L =5.8, σταθμός Νεάπολης, ημέρες 152-182, 2009, 41 MHz . Χρόνος σε δευτερόλεπτα. Από πάνω προς τα κάτω: διαταραχές ΗΜΑΠ, η χρονική εξέλιξη του εκθέτη Hurst και του τετραγώνου του συντελεστή συσχέτισης του Spearman).



Σχήμα 19: Χρονική εξέλιξη H . (Υπολογισμός με κυλιόμενο παράθυρο ανάλυσης R/S , Σεισμός 1/7/2009, M_L =5.8, σταθμός Νεάπολης, ημέρες 152-182, 2009, 41 MHz . Χρόνος σε δευτερόλεπτα. Από πάνω προς τα κάτω: διαταραχές ΗΜΑΠ, η χρονική εξέλιξη του εκθέτη Hurst και του τετραγώνου του συντελεστή συσχέτισης του Spearman). Σχήμα αντίστοιχο του 18.

Σε αναφορά στα **Σχήματα 15-19** τα ακόλουθα θέματα είναι σημασίας:

(Α) Μονιμότητα ευρέθη μέσω των εκθετών Hurst από την ανάλυση R / S ανάλυση για τις προσεισμικές διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος συχνοτήτων MHz. Η πλειοψηφία των εκθετών H ήταν στο εύρος 0.7-0.9. Αρκετοί εκθέτες ήταν πάνω από 0.9.

(Β) Υπήρχαν αρκετές περιπτώσεις όπου η χρονική εξέλιξη του έκθετη Hurst δεν ακολούθησε τις διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος, σε αντίθεση με την αντίστοιχη συμπεριφορά των διαταραχών Ραδονίου Περιβάλλοντος.

(Γ) Σε πολλές περιπτώσεις, οι ανιχνευόμενες διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος συχνοτήτων MHz ήταν συνδεδεμένοι με αύξηση των σχετιζόμενων εκθετών Hurst. Για παράδειγμα, αυτό μπορεί να παρατηρηθεί μεταξύ 0,3

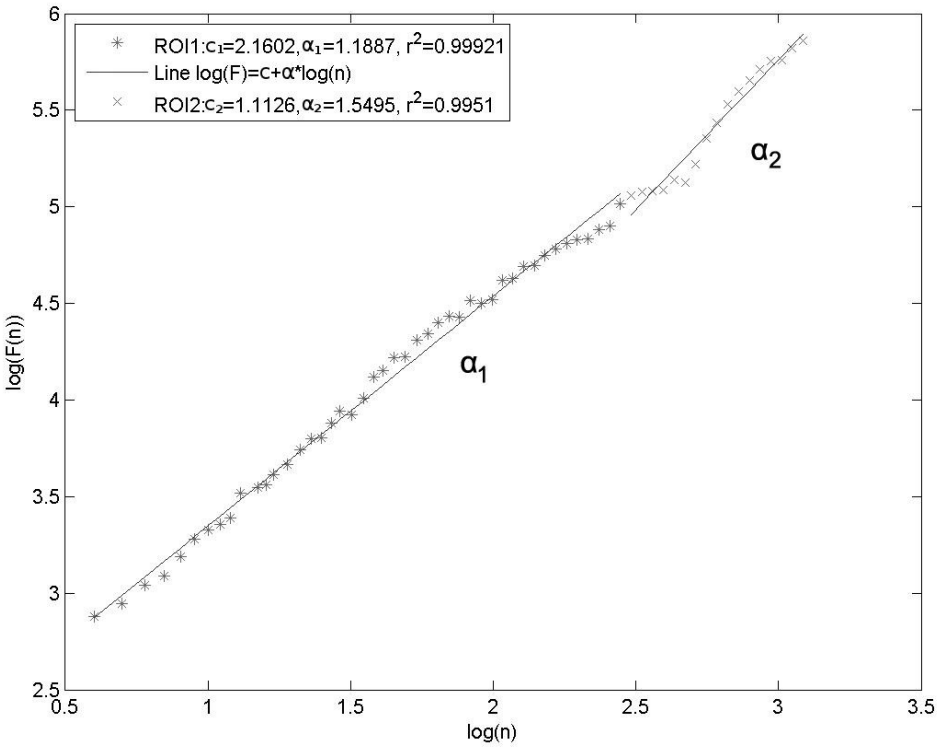
× 10^6 - 0,5 × 10^6 s και 0,9 × 10^6 -1,0 × 10^6 s στο **Σχήμα 17**. Επισημαίνεται, ότι η αύξηση του εκθέτη Hurst έχει χαρακτηριστεί ως προ-σεισμική ένδειξη κάποιας αξίας.

(Δ) Όπως συστηματικά παρατηρείται από τα πολλά αποτελέσματα της ανάλυσης R/S , το προφίλ του εκθέτη Hurst παρουσιάζει μικρή διακύμανση όταν υπολογίζεται από τη μέθοδο ανάλυσης R/S . Από την άλλη πλευρά, υπήρχαν επίσης περιπτώσεις όπου παρουσιάστηκαν αξιοσημείωτες διακυμάνσεις της εξέλιξης του εκθέτη Hurst κατά τη διάρκεια ενός μηνός. Τέτοια είναι οι περίπτωση του **Σχήματος 19**.

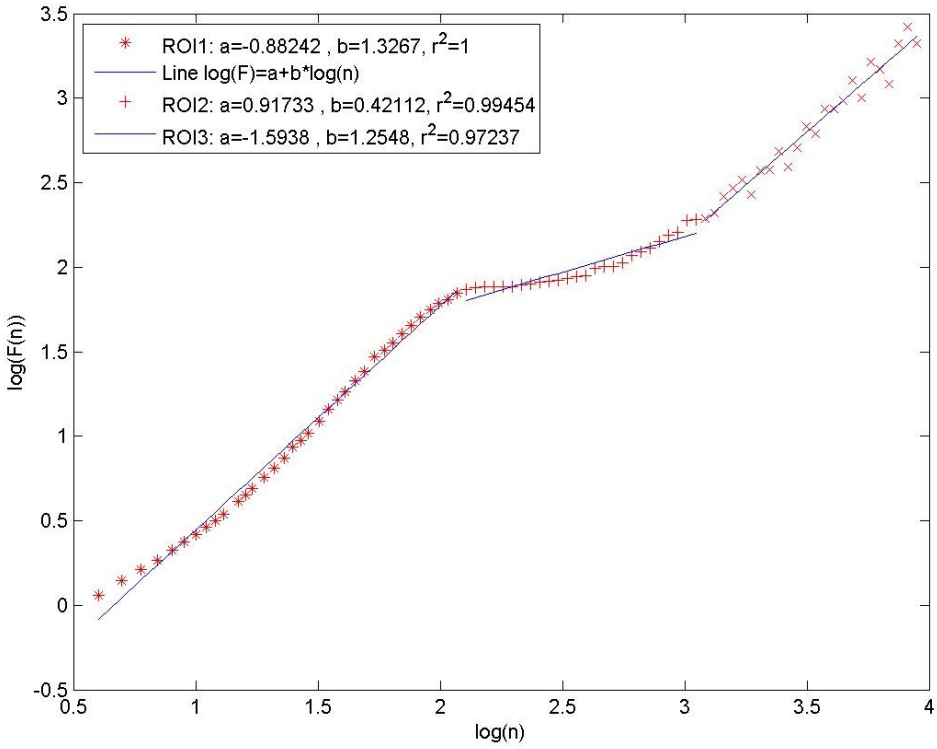
(Ε) Η μονιμότητα στη συμπεριφορά του εκθέτη Hurst που προσδιορίζεται μέσα από την ανάλυση R/S , είναι ανεξάρτητη από την αντίστοιχη έξοδο της ανάλυσης φράκταλ. Αυτό φαίνεται συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά διαγράμματα των **Σχημάτων 18** και **19**. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση φράκταλ υποδεικνύει αντι-μόνιμη συμπεριφορά ή μάλλον συνεχής εναλλαγή μεταξύ αντι-μονιμότητας και μονιμότητας.

Σχετικά με τη μέθοδο DFA και προκειμένου για την εφαρμογή της προσαρμόστηκαν στη συνάρτηση $\mathrm{F(n)}\sim n^{\alpha}$ διάφορα τμήματα χρονοσειρών, τόσο διαταραχών ραδονίου εδαφικού αερίου, όσο και διατραρχών ΗΜ πεδίου συχνοτήτων MHz. Σε λογαριθμική αναπαράσταση, $\log(F(n)) - \log(n)$, η παραπάνω συνάρτηση είναι ευθεία με κλίση α. Επισημαίνεται ότι ο εκθέτης κλίμακας (scaling exponent) α δεν είναι πάντα σταθερός - ανεξάρτητος κλίμακας - και εμφανίζονται συνήθως απότομες αλλαγές. Το τελευταίο σημαίνει ότι υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των μικρών και των μεγάλων κλιμάκων. Το τελευταίο είναι και ιδιαίτερης σημασίας για προσεισμικά σήματα, διότι η ανίχνευση νόμου δύναμης της μορφής με σημαντικό συντελεστή α σε μεγάλες κλίμακες, σημαίνει θραύση των μεγάλων δομών εντός του φλοιού της γης, ενώ το αντίστοιχο ισχύει για τις μικρές δομές (μικρορωγμές-microcracks) εάν ανιχνευθεί νόμος δύναμης με υψηλό συντελεστή στις μικρές κλίμακες. Προφανώς ο συνδυασμός υψηλών τιμών α_1 στις χαμηλές κλίμακες και α_2 στις υψηλές, είναι σύμφωνο με φαινόμενα θραύσης τόσο σε μεγάλες κλίμακες (προετοιμασία θραύσης) όσο και σε μικρές (εξέλιξη θραύσης). Οι άνωθι θεωρίες θραύσης έχουν αναπτυχθεί σε διάφορες δημοσιεύσεις ήδη. Τα **Σχήματα 20** έως **22** παρουσιάζουν χαρακτηριστικές περιπτώσεις διαγραμμάτων DFA με απότομες αλλαγές κλίσης μεταξύ χαμηλών και υψηλών κλιμάκων (σπασίματα). Τα διαγράμματα αναφέρονται και σε διαταραχές ραδονίου εδαφικού αερίου αλλά και σε ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές συχνοτήτων MHz. Τα επιλεχθέντα διαγράμματα αναφέρονται στα τμήματα χρονοσειρών που έχουν θεωρηθεί ως πιο πιθανώς προσεισμικά μέσα από σύνολο 14 διαφορετικών κριτηρίων η ανάλυση των οποίων δεν

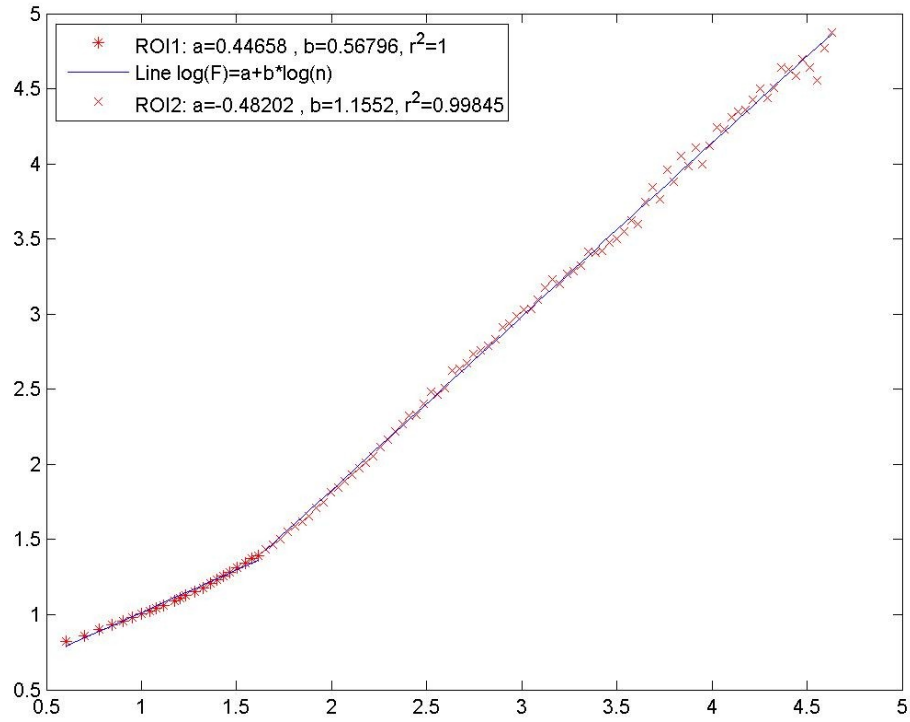
είναι σκοπός της παρούσης. Το **Σχήμα 23** και **24** παρουσιάζουν συγκεντρωτικά ορισμένα αποτελέσματα σχετικά με το ραδόνιο εδαφικού αερίου και τις διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος συχνοτήτων MHz . Στο **Σχήμα 23** που αναφέρεται στο ραδόνιο, φαίνεται ότι οι εκθέτες κλίμακας a_1 και α_2 διαχωρίζουν σαφώς τις περιοχές υποστρώματος από αυτές των προσεισμικών διαταραχών. Πράγματι, οι περιοχές υποστρώματος παρουσιάζουν ζεύγη τιμών με a_1 στην περιοχή 0.5 έως 0.6 και α_2 κοντά στο 1. Από την άλλη πλευρά οι έντονες διαταραχές ραδονίου παρουσιάζουν ζεύγη τιμών με a_1 στην περιοχή 1.2 με 1.4 και α_2 κοντά στο 1.6. Σύμφωνα με ερευνητές τα τελευταία δεδομένα είναι δηλωτικά κατάστασης μονιμότητας, χαρακτηριστικής της φάσης γέννεσης σεισμών. Επίσης υποδεικνύουν μοντέλο fBm χαρακτηριστικού της τελευταίας φάσης σεισμών. Από την άλλη πλευρά, τα δεδομένα για το υπόστρωμα ραδονίου, υποδηλώνουν μοντέλο fGn, που σχετίζεται με έλλειψη μνήμης στο σύστημα. Παρόμοιο διάγραμμα φαίνεται και στο **Σχήμα 24**, για διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος των σταθμών Βάμου και Νεαπόλεως. Είναι αξιοσημείωτη η ενδιάμεση περιοχή η οποία ανιχνεύθηκε πρώτη φορά για διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος συχνοτήτων MHz, ενώ δεν έχει ανιχνευθεί σε σήματα συχνοτήτων KHz . Η διαφορά των δύο διαγραμμάτων έχει αποδοθεί στο σχετικά σταθερό υπόστρωμα του ραδονίου εδαφικού αερίου, συγκριτικά με το θορυβώδες υπόστρωμα των Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος. Τα ζεύγη υψηλών τιμών α_2 ήταν μεταξύ 1.25 και 1.6, επίσης χαρακτηριστικό μοντέλου fBm και κατάστασης μονιμότητας. Είναι επίσης σημαντικό να τονισθεί ότι ο εκθέτης DFA α και ο εκθέτης δύναμης b του νόμου δύναμης, σχετίζονται με τη σχέση $\mathrm{b}=2\cdot\alpha-1$ και για το μοντέλο fBm και για το fGn. Σύμφωνα με αυτή τη σχέση, οι μικρές κλίμακες προσεισμικών διαταραχών σχετίζονται με τιμές μεταξύ $1.4<b<2.2$ ενώ μεταξύ $1.5<b<2.2$ οι μεγάλες. Ομοίως, για το υπόστρωμα, οι μικρές κλίμακες σχετίζονται με τιμές $-0.3<b<0.2$ και οι μεγάλες μεταξύ $0.7<b<1$. Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν την κατάσταση μονιμότητας ή την εναλλαγή κατάστασης μονιμότητας και αντι-μονιμότητας κατά τη διάρκεια προσεισμικών διαταραχών.



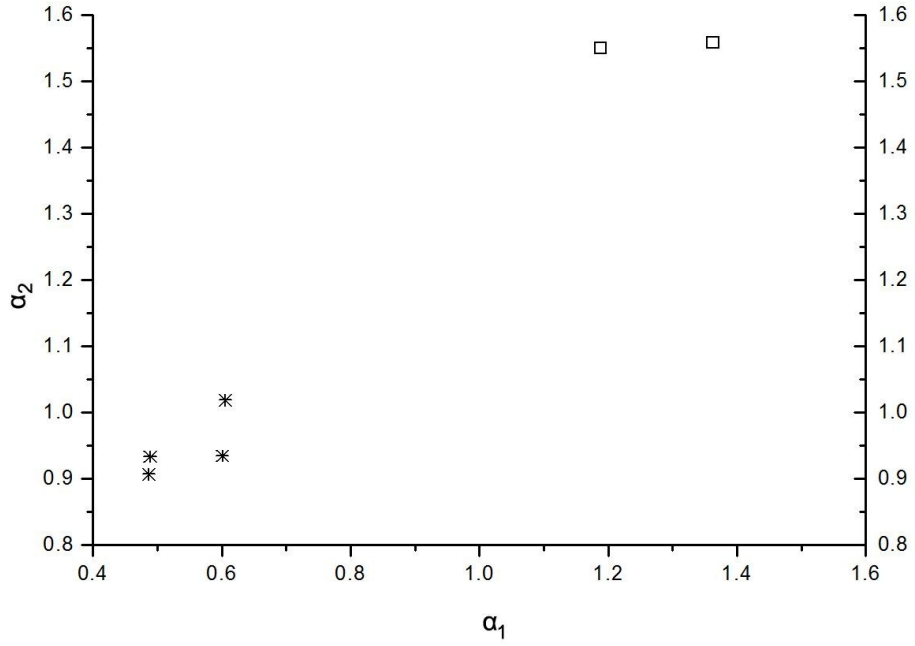
Σχήμα 20:Γράφημα αποτελεσμάτων DFA για τη χρονοσειρά των πενθήμερων διαταραχών προ και μετά της πρώτης αιχμής Ραδονίου εδαφικού αερίου του έτους 2008 που καταγράφηκε στον Καρδαμά Ηλείας.



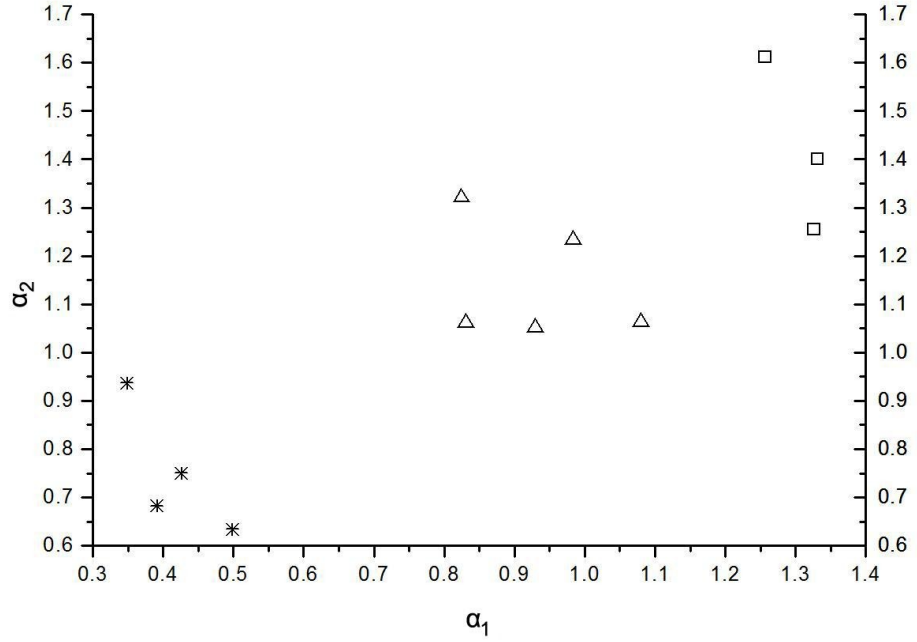
Σχήμα 21:Γράφημα αποτελεσμάτων DFA για χρονοσειρά προσεισμικών διαταραχών ΗΜΑΠ συχνότητας 41 MHz από το σταθμό του Βάμου. Είναι χαρακτηριστικά νέα η ανίχνευση τριπλού σπασίματος στο γράφημα. Στη λεζάντα a_1 είναι η τιμή b στην περιοχή ROI1 και α_2 η τιμή b στην περιοχή ROI3.



Σχήμα 22: Γράφημα αποτελεσμάτων DFA για χρονοσειρά προσεισμικών ΗΜΑΠ διαταραχών συχνότητας 46 MHz από το σταθμό Νεαπόλεως. Στη λεζάντα a_1 είναι η τιμή b στην περιοχή ROI1 και α_2 η τιμή b στην περιοχή ROI2.



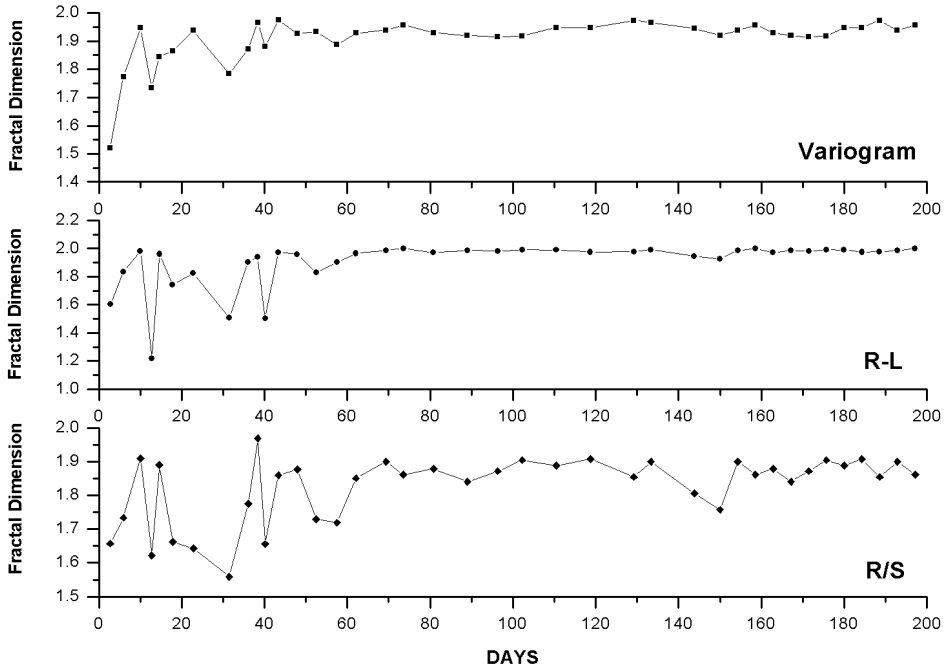
Σχήμα 23:Γράφημα διασποράς αποτελεσμάτων DFA για χαρακτηριστικά τμήματα της χρονοσειράς ραδονίου του Καρδαμά Ηλείας.



Σχήμα 24:Γράφημα διασποράς αποτελεσμάτων DFA για χαρακτηριστικά τμήματα χρονοσειρών ΗΜ διαταραχών

Σχετικά με τη διάσταση φράκταλ το **Σχήμα 25** δείχνει μια χαρακτηριστική χρονική εξέλιξη της διάστασης φράκταλ για το σήμα του ραδονίου του 2008. Τα ανώμαλα τμήματα του σήματος παρουσίασαν σημαντικώς (P<0.001, ANOVA) χαμηλότερες τιμές διάστασης φράκταλ από αυτές των άλλων περιοχών. Παρομοίως σημαντική διαφοροποίηση έχει χαρακτηρισθεί ως προσεισμικό SOC ηλεκτρομαγνητικό αποτύπωμα συχνοτήτων ULF. Επιπρόσθετα, όπως ήδη παρουσιάσθηκε αλλά και όπως έχουν δημοσιεύεσει διάφοροι ερευνητές, σημειώνεται σημαντική αύξηση των τιμών H προ-σεισμών. Αυτό το εύρημα είναι σύμφωνο με τη μείωση της διάστασης φράκταλ κατά τη διαδικασία SOC της προπαρασκευής σεισμών. Σύμφωνα με τη μέθοδο R/S η ελάχιστη τιμή ήταν $D=1.559$, γεγονός που υποδεικνύει χρονοσειρές με χαρακτηριστικά κατάστασης αντί-μονιμότητας. Από τη μέθοδο Βαριογράμματος εκτιμήθηκε η ελάχιστη τιμή $D=1.520$ που επίσης δηλώνει κατάσταση αντί-μονιμότητας. Μόνο η μέθοδος $R-L$ έδειξε τμήματα με κατάσταση μονιμότητας για τα ανώμαλα τμήματα του σήματος, με ελάχιστη τιμή $D=1.218$. Από την άλλη πλευρά, το υπόστρωμα του ραδονίου του 2008 έδειξε τιμές διάστασης φράκταλ άνω του 1.8 για όλες τις μεθόδους. Τιμές D μεταξύ 1.7 και 2 βρέθηκαν

επίσης και για το υπόστρωμα 2010 και 2011. Όλα τα παραπάνω ισχυροποιούν την άποψη περί ελαφράς μνήμης του υποστρώματος ραδονίου. Επίσης οι τιμές D είναι μέσα στο εύρος της διεθνούς βιβλιογραφίας . Σημειώνεται ότι η ακριβώς αντίθετη συμπεριφορά ανιχνεύθηκε σε προσεισμικές ΗΜ καταγραφές ULF, κατά τη διάρκεια των οποίων η διάσταση φράκταλ αυξήθηκε πριν από το σεισμό . Η συμπεριφορά αυτή είχε χαρακτηριστεί ως ιδιότυπη και είχε αποδοθεί στη φάση SOC της γέννεσης σεισμού. Επισημαίνεται επίσης ότι τα παρουσιασθέντα δεδομένα αποτελούν παγκόσμια πρωτοτυπία στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με διαταραχές ραδονίου.



Σχήμα 25: Χρονική εξέλιξη της διάστασης φράκταλ σύμφωνα προς τις μεθόδους R/S , $R-L$ και Βαριογράμματος

Συμπερασματικά μπορεί να υποστηριχθεί ότι:

1.Η χρονική εξέλιξη των δεικτών Hurst προσεισμικών διαταραχών Ραδονίου εδαφικού αερίου με βάση τις μεθόδους R/S , $R-L$ και Βαριογράμματος απέδειξε εναλλαγές καταστάσεων αντί-μονιμότητας και μονιμότητας στις χρονοσειρές ραδονίου. Παρόμοια συμπεριφορά διεφάνη με τη μέθοδο ανάλυσης φράκταλ.

2.Η χρονική εξέλιξη της διάστασης φράκταλ προσεισμικών διαταραχών Ραδονίου εδαφικού αερίου με βάση τις μεθόδους, $R-L$ και Βαριογράμματος απέδειξε ότι κατά

τη διάρκεια των διαταραχών η διάσταση φράκταλ μειώνεται σημαντικά. Αυτό απέδειξε ισχυρή μνήμη στο σύστημα.

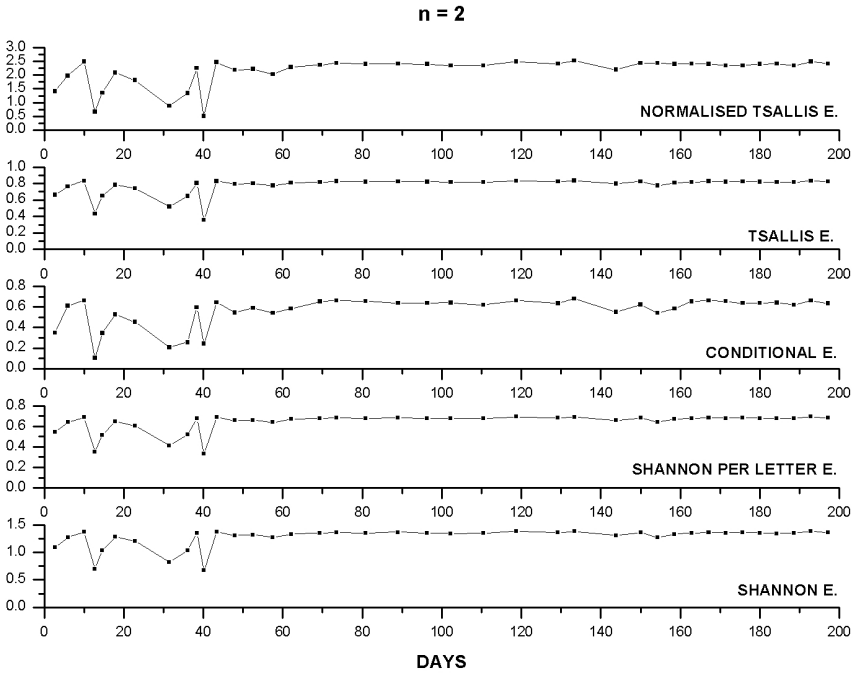
3.Η ανάλυση με τη μέθοδο DFA σε σήματα Ραδονίου και διαταραχών Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος, απέδειξε ότι υπάρχει ισχυρή μνήμη στις προσεισμικές διαταραχές και έλλειψη μνήμης στις περιοχές υποστρώματος.

4.Τα δεδομένα είναι σύμφωνα με όλες τις υπάρχουσες θεωρίες θραύσης κατά τη φάση προετοιμασίας και έλευσης σεισμών.

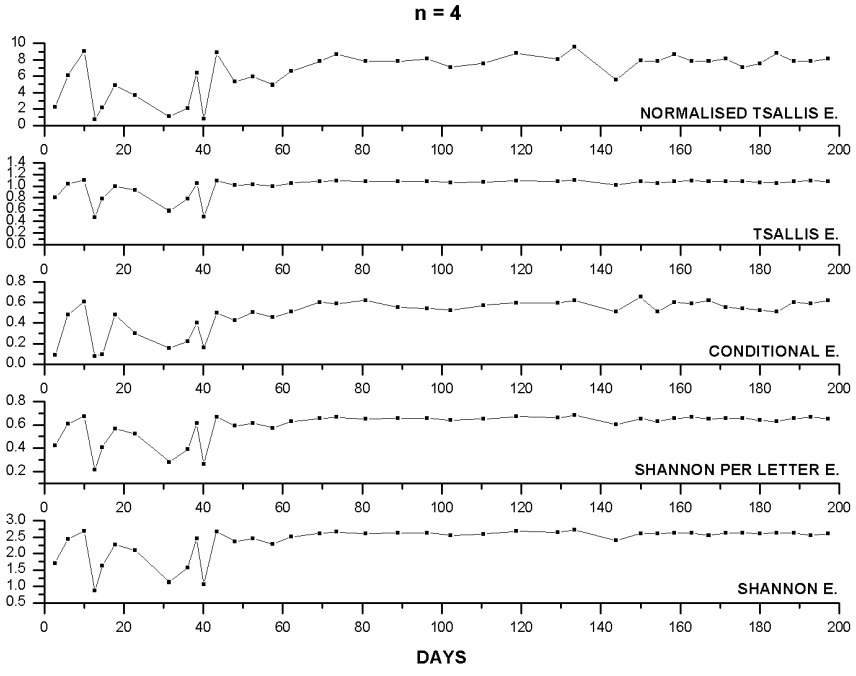
4.2.3.Ανάλυση εντροπίας

Το **Σχήμα 26** απεικονίζει τη χρονική εξέλιξη δεικτών εντροπίας για μπλοκ μήκους n και 2 και 4 γράμματα. Η ανάλυση έγινε με την τεχνική lumping σύμφωνα με τον κανόνα $n=N$, δηλαδή, ίσο μέγεθος του μπλοκ και του μήκους της. Τα παράθυρα για την τεχνική lumping ήταν ίδια με εκείνα του **Σχήματος 25**. Το σταθερό τμήμα του σήματος του Ραδονίου Περιβάλλοντος του 2008, δηλαδή, από περίπου το παράθυρο lumping 50 χαρακτηρίζεται από σημαντικά υψηλότερες μέσες τιμές της μπλοκ εντροπίας Shannon (P <0.001, ANOVA). Παρόμοιες υψηλές μέσες τιμές βρέθηκαν για τα σήματα του Ραδονίου Περιβάλλοντος 2010 και 2011. Συνυπολογίζοντας ότι η μπλοκ εντροπία Shannon, $H(n)$, είναι το βασικό μέτρο της τυχαιότητας, το εύρημα αυτό means ότι η μέση ποσότητα των πληροφοριών που είναι απαραίτητες για να προβλεφθεί μια υπο-ακολουθία μήκους n , είναι μεγαλύτερη στις περιοχές του υποστρώματος από ότι στις περιοχές των ανωμαλιών. Το τελευταίο υπονοεί ότι οι περιοχές των ανωμαλιών είναι πολύ περισσότερο προβλέψιμες και οργανωμένες από ότι οι περιοχές του υποστωματος. Με βάση τη χρονική εξέλιξη της εντροπίας Shannon ανά γράμμα, $h^{(n)}$, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η μέση αβεβαιότητα ανά γράμμα ενός μπλοκ μεγέθους n είναι μεγαλύτερη στο υπόστρωμα Ραδονίου Περιβάλλοντος συγκριτικά με τις περιοχές ανωμαλιών (P <0.001, ANOVA). Η εντροπία μπλοκ υπό όρους παρουσίασε επίσης σημαντικά υψηλότερες τιμές (P<0.001, ANOVA) στο υπόστρωμα του Ραδονίου Περιβάλλοντος συγκριτικά με την περιοχή των ανωμαλιών. Αυτό αναγνωρίστηκε επίσης στα σήματα του Ραδονίου Περιβάλλοντος των ετών 2010 και 2011 για την εντροπίας μπλοκ $h_{(n)}$. Η αύξηση της εντροπίας μπλοκ $h_{(n)}$ σημαίνει ότι αυξάνει επίσης στην αβεβαιότητα της πρόβλεψης για ένα βήμα στο μέλλον, εφόσον το ιστορικό της παρούσας κατάστασης n και των προηγούμενων $n-1$ καταστάσεωνείναι γνωστά.

Σημαντική μείωση της $h_{(n)}$ παρατηρήθηκε κατά την πρώτη περίοδο lumping 50 ημερών του σήματος Ραδονίου Περιβάλλοντος του 2008 για όλα τα μεγέθη μπλοκ που μελετήθηκαν. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η μέση προβλεψιμότητα είναι υψηλότερη στις ανωμαλίες του ραδονίου. Αυτό ενισχύεται από τα ευρήματα άλλων σύμφωνα με τους οποίους οποιαδήποτε υπάρχουσα μνήμη μακράς εμβέλειας μειώνει την εντροπία υπό όρους και βελτιώνει την πιθανότητα πρόβλεψης. Οι τιμές της εντροπίας Tsallis και της κανονικοποιημένης εντροπίας Tsallis στο **Σχήμα 26** εκτιμήθηκαν θεωρώντας $q=1.80$. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, η εντροπία μπλοκ Tsallis πέφτει σε χαμηλότερες τιμές στις ανωμαλίες Ραδονίου Περιβάλλοντος σε σύγκριση με το υπόβαθρο. Αυτή η συμπεριφορά εντοπίστηκε σε όλα τα μεγέθη μπλοκ. Παρόμοια υψηλές τιμές των εντροπιών μπλοκ Tsallis και κανονικοποιημένης Tsallis ανιχνεύθηκαν επίσης στα σήματα υποστρώματος Ραδονίου Περιβάλλοντος του 2010 και του 2011. Η πτώση της εντροπίας Tsallis κατά τη διάρκεια των ανωμαλιών Ραδονίου Περιβάλλοντος υποδηλώνει ότι ενώ στο υπάρχουν πολλά είδη μοντέλων, στις ανωμαλίες είναι λίγα. Αυτό σημαίνει αυτό-οργάνωση. Αυτό το εύρημα, υποδηλώνει ότι Ραδόνιο Περιβάλλοντος στη φάση τω προσεισμικών ανωμαλιών αντιστοιχεί σε μία κατάσταση SOC χαρακτηριστικής της προετοιμασίας των σεισμών. Μπορεί να παρατηρηθεί επίσης ότι όλες οι εντροπίες μπλοκ συνεπάγονται σαφώς διακρίνουν τις ανωμαλίες από το υπόβαθρο δεδομένου ότι οι χαμηλές τιμές που παρατηρούνται στην περιοχή των ανωμαλιών και υψηλές τιμές στην περιοχή του φόντου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ειδικά η εντροπία μπλοκ Tsallis είναι πολύ ευαίσθητη στον εντοπισμό πιθανών επιπτώσεων των αλληλεπίδράσεων μεγάλου βεληνεκούς και πολυ-fractals. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται δείχνουν έτσι την παρουσία των αλληλεπιδράσεων μεγάλου βεληνεκούς και μεγάλης μνήμης του Γεωσυστήματος που παρήγαγε αυτές. Αυτή η εξάρτηση μεγάλου βεληνεκούς είναι ενδεικτικό της αξιοπιστίας πρόβλεψης.

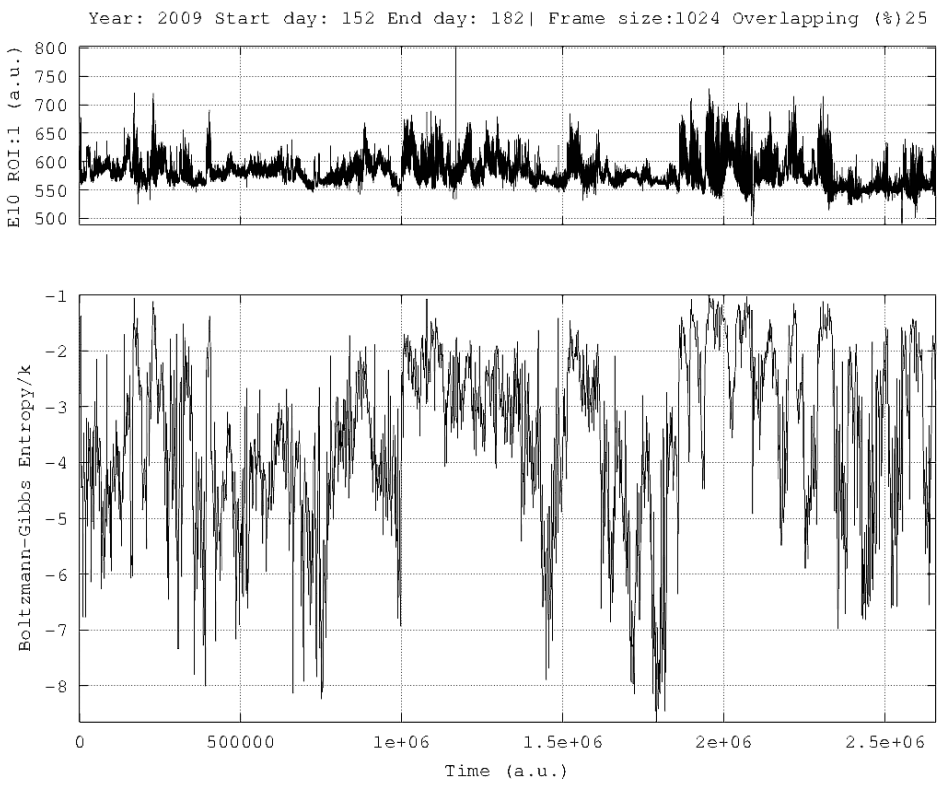


(a)

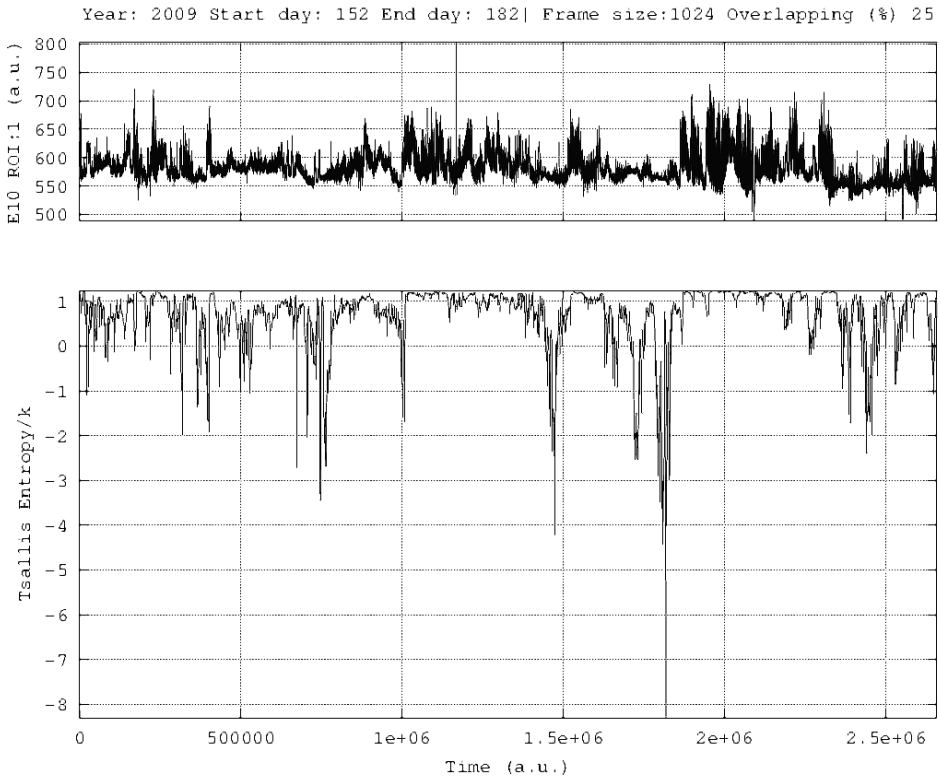


(b)

Σχήμα 26: Ανάλυσης εντροπίας μπλοκ μέσω τεχνικής lumping και συμβολικής δυναμικής



Σχήμα 27: Ανάλυση εντροπίας Shannon μέσω τεχνικής κυλιόμενου παραθύρου. Παράθυρο 1024 δειγμάτων, κύλιση ανά 256 δείγματα. Σεισμός 1/7/2009, $M_L=5.8$, Νότια Κρήτης.



Σχήμα 28: Ανάλυση εντροπίας Tsallis μέσω τεχνικής κυλιόμενου παραθύρου. Παράθυρο 1024 δειγμάτων, κύλιση ανά 256 δείγματα. Σεισμός 1/7/2009, $M_L=5.8$, Νότια Κρήτης.

Στα **Σχήματα 27** και **28** παρουσιάζονται χαρακτηριστικά αποτελέσματα ανάλυσης εντροπίας με κβάντωση για διαταραχές Ηλεκτρομαγνητικών Ακτινοβολιών Περιβάλλοντος μηνιαίας διάρκειας πριν από το σεισμό 1/7/2009, $M_L=5.8$ στα Νότια της Κρήτης. Παρατηρείται ότι και η εντροπία Boltzman-Gibbs (αντίθετη της εντροπίας Shannon) αλλά και η εντροπία Tsallis παρουσιάζουν σημαντική μείωση στις ίδιες περιοχές. Σύμφωνα με τα εκτεθέντα άνωθι, αυτό υποδεικνύει αυτό-οργάνωση του Γεωσυστήματος που εξέπεμψε αυτές τις διαταραχές και υψηλή προβλεπτικότητα.

Όπως συνάγεται από τα άνωθι εκτεθέντα στοιχεία, η πραγματοποίηση της ολότητας του ερευνητικού έργου στο εκτεθέν *εδάφιο* βασίστηκε στην *Εφαρμοσμένη Φυσική Ακτινοβολιών (Η/Μ)* *με χρήση ιδιαίτερα σημαντικών τεχνικών και* ***με βασική συνιστώσα του έργου τα αποτελέσματα αυτών των ακτινοβολιών στην συνδρομή στην πρόγνωση των σεισμών δηλαδή με τελικό αποδέκτη τον Άνθρωπο.***