

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Διπλωματική εργασία στα πλαίσια του Μ.Δ.Ε. Επιστήμης των Υλικών

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΜΕΘΟΔΟ ΑΠΟΚΛΙΜΑΚΟΥΜΕΝΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ
ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ**

ΤΣΙΑΝΤΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

A.M. 201212

Τριμελής επιτροπή

Σαρής Νικόλαος (Επιβλέπων), Αναπληρωτής Καθηγητής

Χατζηαγαπίου Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Σκορδάς Ευθύμιος, Επίκουρος Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε ως διπλωματική εργασία στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης (Μ.Δ.Ε.) στην Επιστήμη των Υλικών. Πραγματοποιήθηκε στον Τομέα Φυσικής Στερεάς Κατάστασης του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, υπό την επίβλεψη του κ. Σαρλή Νικόλαου, Αναπληρωτή καθηγητή του ανωτέρου τομέα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου, Αναπληρωτή καθηγητή κ. Σαρλή Νικόλαο για όλη τη βοήθεια, τις γνώσεις και τις συμβουλές που μου προσέφερε. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Αναπληρωτή καθηγητή κ. Χατζηαγαπίου Ιωάννη για την υποστήριξη που μου παρείχε ως σύμβουλος καθηγητής κατά τη διαδικασία της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο καθηγητή κ.Σκορδά Ευθύμιο για την βοήθεια που μου προσέφερε. Δε θα μπορούσα να ξεχάσω να αναφερθώ στον ομότιμο Καθηγητή κ.Βαρώτσο Παναγιώτη και να τον ευχαριστήσω για τις χρήσιμες γνώσεις που μου έδωσε.

Η γυναίκα μου Άρτεμις και η κόρη μου Αριάδνη, αξίζουν ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ για την συμπαράσταση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	7
2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ	7
2.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (R)	8
2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ DFA	9
3. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER	11
3.1. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.0$	12
3.2. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.1$	15
3.3. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$	18
3.4. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.3$	21
3.5. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.4$	24
3.6. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$	27
3.7. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.6$	30
3.8. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.7$	33
3.9. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.8$	36
3.10 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.9$	39
3.11 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 4.0$	42
3.12 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	45
4. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ	46
4.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 1964-1973	47
4.1.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$ (1964 – 1973) ...	47
4.1.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$ (1964 – 1973) ...	50
4.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 1974-1983	53
4.2.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$ (1974 – 1983) ...	53
4.2.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$ (1974 – 1983) ...	56
4.3 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 1984-1993	59
4.3.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$ (1984 – 1993) ...	59
4.3.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$ (1984 – 1993) ...	62
4.4 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 1994-2003	65
4.4.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$ (1994 – 2003) ...	65
4.4.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$ (1994 – 2003) ...	68
4.5 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2004-2015	71
4.5.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$ (2004 – 2015) ...	71
4.5.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$ (2004 – 2015) ...	74
4.6 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	77
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	78
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μέθοδος ανάλυσης της αποκλιμακούμενης διακύμανσης (Detrended Fluctuation Analysis, DFA) εφαρμόζεται στη χρονοσειρά των μεγεθών των σεισμών του Ελλαδικού χώρου σύμφωνα με τον κατάλογο NOAIG του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Παρατηρείται η ύπαρξη μιας κλίμακας στην οποία διαφοροποιούνται οι ιδιότητες συσχετίσεων μακράς εμβέλειας της χρονοσειράς αυτής, μια κλίμακα μετάβασης (crossover) δηλαδή.

Το αποτέλεσμα αυτό είναι σε πλήρη συμφωνία με ότι έχει βρεθεί και σε άλλες σεισμικά ενεργές περιοχές όπως η Ιαπωνία ή η Καλιφόρνια.

Γίνεται μελέτη αυτής της κλίμακας μετάβασης σαν συνάρτηση του μεγέθους κατωφλίου του καταλόγου αλλά και σαν συνάρτηση του συμβατικού χρόνου ανά δεκαετία.

Εξάγονται συμπεράσματα που αφορούν τον προσδιορισμό του μεγέθους κατωφλίου πληρότητας του καταλόγου χωρίς να γίνει χρήση της κατανομής των μεγεθών αλλά και την συμπεριφορά των συσχετίσεων μακράς εμβέλειας ανά δεκαετία.

Λέξεις κλειδιά: μέθοδος αποκλιμακούμενης διακύμανσης, κλίμακα μετάβασης, μέγεθος κατωφλίου πληρότητας, συσχετίσεις μακράς εμβέλειας

ABSTRACT

Detrended Fluctuation Analysis (DFA) is applied to the time series of the earthquake magnitudes in Greece according to the NOAIG catalog of the Institute of Geodynamics in the National Observatory in Athens. A crossover scale is observed in which the long range correlation properties of this time series change. This result is similar with the findings in other seismic active areas, such as Japan and California. A study of the crossover is carried out versus the magnitude threshold of the catalog per decade. Results concerning the completeness magnitude threshold of the catalog (without using the magnitude distribution) and the behavior of the long range correlations per decade are obtained.

Keywords: Detrended Fluctuation Analysis (DFA), crossover scale, completeness magnitude threshold, long-range correlations

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος ανάλυσης της αποκλιμακούμενης διακύμανσης (Detrended Fluctuation Analysis, DFA) [Peng et al 1994] είναι μια μοντέρνα μέθοδος της στατιστικής φυσικής για τη μελέτη χρονοσειρών που εμφανίζονται στη φυσική των πολύπλοκων συστημάτων. Στόχο έχει το προσδιορισμό των συσχετίσεων μακράς εμβέλειας που τυχόν υπάρχει σε αυτές τις χρονοσειρές. Η πρώτη εφαρμογή της DFA στη σεισμικότητα έγινε περίπου 15 χρόνια πριν [Telesca et al. 2001] εστιάζοντας στα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούν ανάμεσα σε διαδοχικά σεισμικά γεγονότα. Με την εισαγωγή της έννοιας του φυσικού χρόνου [Varotsos et al. 2001, 2002] δόθηκε η δυνατότητα η DFA να εφαρμοστεί και στις χρονοσειρές των μεγεθών διαδοχικών σεισμών. Πράγματι αυτό έγινε αναδεικνύοντας την ύπαρξη μιας κλίμακας στην οποία διαφοροποιούνται οι ιδιότητες συσχετίσεων μακράς εμβέλειας της χρονοσειράς των μεγεθών, μια κλίμακα μετάβασης (crossover) δηλαδή. Η σχετική ανάλυση [Sarlis et al. 2010a] έδειξε ότι η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στις διαφορετικές συσχετίσεις μακράς εμβέλειας που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια προετοιμασίας ενός ισχυρού σεισμού από αυτές που εμφανίζονται μετά την εκδήλωσή του. Το χαρακτηριστικό αυτό μάλιστα είναι χρήσιμο για τη πρόγνωση του χρόνου εκδήλωσης των ισχυρών σεισμών [Varotsos et al. 2014].

Στη παρούσα εργασία γίνεται μελέτη αυτού του φαινομένου (crossover) στην περίπτωση της σεισμικότητας στον Ελλαδικό χώρο χρησιμοποιώντας τον σεισμολογικό κατάλογο NOAIG του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Ο στόχος της εργασίας είναι διττός: Α) Να εξετασθεί ο προσδιορισμός του μεγέθους κατωφλίου πληρότητας χρησιμοποιώντας μια μέθοδο, την DFA δηλαδή, που είναι ανεξάρτητη από την κατανομή Gutenberg-Richter ή άλλες που έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία (βλ. Sarlis et al. [2010a] και τις παραπομπές εκεί και Β) Να γίνει έλεγχος της υπόθεσης ότι σε επίπεδο δεκαετίας οι συσχετίσεις μακράς εμβέλειας στη χρονοσειρά των μεγεθών παραμένουν αμετάβλητες κατά αναλογία με τη πρόταση [Pérez and Scholz, 1984] ότι ο ρυθμός της παγκόσμιας σεισμικότητας παραμένει σταθερός σε επίπεδο δεκαετίας.

Η παρούσα εργασία κατανέμεται σε κεφάλαια ως εξής: Στο 2ο Κεφάλαιο συνοψίζονται θεωρητικά τα «εργαλεία» που θα χρησιμοποιηθούν, στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η DFA της χρονοσειράς των μεγεθών για τους σεισμούς του Ελλαδικού χώρου μεταβάλλοντας το μέγεθος κατωφλίου ενώ στο 4^ο Κεφάλαιο γίνεται για δύο μεγέθη κατωφλίου, που βρίσκονται στη περιοχή του μεγέθους κατωφλίου πληρότητας [Mignan and Chouliaras 2014] του εξεταζόμενου σεισμολογικού καταλόγου, η αντίστοιχη μελέτη ανά δεκαετία. Τέλος στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ

Σε πολλά πειράματα υπάρχει μία γραμμική σχέση ανάμεσα στα μετρούμενα μεγέθη. Τοποθετώντας τα σημεία σε ένα διάγραμμα, βλέπουμε ότι αυτά προσεγγίζουν μία ευθεία γραμμή [Moore and McCabe 2003]. Το επόμενο βήμα είναι να βρούμε την κλίση της ευθείας η οποία προσεγγίζει περισσότερο αυτά τα σημεία, και το σημείο στο οποίο αυτή τέμνει τον άξονα y (τεταγμένη). Σε κάθε περίπτωση, δεν περιμένουμε η ευθεία να διέρχεται από όλα τα σημεία, λόγω της παρουσίας τυχαίων σφαλμάτων. Μπορούμε να βρούμε προσεγγιστικές τιμές τόσο για την κλίση όσο και για την τεταγμένη, εάν σχεδιάσουμε μία ευθεία η οποία να διέρχεται ανάμεσα από τα διεσπαρμένα σημεία. Η ακριβέστερη όμως μέθοδος για να το πετύχουμε αυτό είναι η *μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων*.

Έστω λοιπόν ότι τα σημεία μας ακολουθούν μία κανονική γκαουσιανή κατανομή. Έστω επιπλέον ότι για κάθε τιμή της μεταβλητής x , οι αντίστοιχες τιμές του y κατανέμονται γύρω από μία μέση τιμή με κάποια διασπορά. Παρά το γεγονός ότι για κάθε τιμή του x θα υπάρχει μία διαφορετική τιμή του y , υποθέτουμε ότι η απόκλιση των τιμών του y είναι η ίδια για κάθε τιμή του x .

Η διαδικασία μέσω της οποίας βρίσκουμε την καλύτερη δυνατή ευθεία είναι η παρακάτω:

Εάν δεν υπάρχουν καθόλου τυχαία σφάλματα, όλες οι πειραματικές τιμές του y θα βρίσκονται πάνω σε μία ευθεία γραμμή με εξίσωση: $y = m \cdot x + b$.

Στην γενική περίπτωση οι τιμές της κλίσης m και της τεταγμένης b [Acton et al 1966] δίνονται από τις σχέσεις:

$$m = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.1.1)$$

$$b = \frac{\sum y - m(\sum x)}{n} \quad (2.1.2)$$

2.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (r)

Η ποσοτική μέτρηση της έντασης (γραμμικής) σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών ονομάζεται συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient).[Acton et al 1966]

Το εύρος τιμών του συντελεστή συσχέτισης είναι από -1,00 έως +1,00.

Τιμές κοντά στο -1,00 και 1,00 υποδεικνύουν τέλεια (ισχυρή) συσχέτιση.

Τιμές του δείκτη κοντά στο 0 υποδηλώνουν ότι οι δύο μεταβλητές δεν σχετίζονται γραμμικά.

Αρνητικές τιμές υποδεικνύουν αρνητική συσχέτιση, ενώ θετικές τιμές υποδεικνύουν θετική συσχέτιση.

Η συσχέτιση μεταξύ δυο μεταβλητών μπορεί να είναι:

- Τέλεια θετική (αρνητική),
- έντονη θετική (αρνητική),
- ασθενής θετική (αρνητική)

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ (r^2): Ο συντελεστής προσδιορισμού παριστάνει το ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής το οποίο εξηγείται από την ανεξάρτητη μεταβλητή.

Ο συντελεστής προσδιορισμού υπολογίζεται υψώνοντας στο τετράγωνο τον συντελεστή συσχέτισης. Το εύρος του συντελεστή προσδιορισμού είναι από 0 έως 1.

Ο συντελεστής προσδιορισμού δεν μας παρέχει καμία πληροφορία για την κατεύθυνση ή την σχέση μεταξύ των μεταβλητών.

Ο συντελεστής συσχέτισης είναι μια ποσότητα που δίνει την ποιότητα μιας ελαχίστων τετραγώνων προσαρμογής προς τα αρχικά δεδομένα. Για τον καθορισμό του συντελεστή συσχέτισης, πρώτα υπολογίζεται το άθροισμα των τετραγώνων των τιμών SS_{xx} , SS_{xy} και SS_{yy} από ένα σύνολο n σημείων δεδομένων (x_i, y_i) σχετικά με τα αντίστοιχες μέσες τιμές τους [Spiegel et al 1992]:

$$SS_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2 = \sum x^2 - 2\bar{x} \sum x + \sum \bar{x}^2 = \sum x^2 - 2n\bar{x}^2 + n\bar{x}^2 = \sum x^2 - n\bar{x}^2 \quad (2.2.1)$$

$$SS_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum y^2 - 2\bar{y} \sum y + \sum \bar{y}^2 = \sum y^2 - 2n\bar{y}^2 + n\bar{y}^2 = \sum y^2 - n\bar{y}^2 \quad (2.2.2)$$

$$SS_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum x_i y_i - \bar{x} y_i - x_i \bar{y} + \bar{x} \bar{y} = \sum xy - n\bar{x} \bar{y} - n\bar{x} \bar{y} + n\bar{x} \bar{y} = \sum xy - n\bar{x} \bar{y} \quad (2.2.3)$$

Για τη προσαρμογή της ευθείας με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων η σταθερά m δίνεται από τη σχέση:

$$m = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}} \quad (2.2.4)$$

Και ο συντελεστής συσχέτισης r (μερικές φορές συμβολίζεται επίσης R) ορίζεται στη συνέχεια από:

$$r^2 = \frac{SS_{xy}^2}{SS_{xx}SS_{yy}} \quad (2.2.5)$$

Ο συντελεστής προσδιορισμού r^2 έχει μια σημαντική φυσική ερμηνεία καθώς μπορεί να κανείς να αποδείξει ότι το άθροισμα των τετραγωνικών υπολοίπων είναι:

$$SSR = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum (y_i - mx_i - b)^2 = SS_{yy} + m^2 SS_{xx} - 2mSS_{yx} \Rightarrow$$

$$SSR = SS_{yy} + \frac{SS_{xy}^2}{SS_{xx}} - 2 \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}} SS_{xy} = SS_{yy} - \frac{SS_{xy}^2}{SS_{xx}} \Rightarrow$$

$$SSR = SS_{yy} \left(1 - \frac{SS_{xy}^2}{SS_{xx}SS_{yy}} \right) = SS_{yy} (1 - r^2) \quad (2.2.6)$$

Δηλαδή το r^2 είναι το ποσοστό του SSR το οποίο εξηγείται με βάση την γραμμική παλινδρόμηση.

Ο συντελεστής συσχέτισης είναι ανεξάρτητος ενός γραμμικού μετασχηματισμού των μεταβλητών x και y , έτσι:

$$r(u, v) = r(x, y) \quad , \text{όπου}$$

$$u = \frac{x - x_0}{h} \quad (2.2.7)$$

$$v = \frac{y - y_0}{h} \quad (2.2.8)$$

2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ DFA

Η μέθοδος αποκλιμακούμενης διακύμανσης (Detrended Fluctuation Analysis: DFA) η οποία προτάθηκε από τους [Peng et al. 1994] είναι μια καινοτόμος μέθοδος η οποία έχει αναπτυχθεί προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν επακριβώς οι συσχετίσεις μεγάλης εμβέλειας σε μη στάσιμα κυμαινόμενα σήματα όπου μέθοδοι όπως το φάσμα ισχύος και η ανάλυση αυτοσυσχέτισης δεν είναι επαρκείς. Η μαθηματική θεωρία της συσχέτισης μεγάλης εμβέλειας αφορά στη συμπεριφορά της συσχέτισης μιας χρονοσειράς για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα [Gao et al. 2006].

Η DFA αποτελείται από τα εξής βήματα [Varotsos et al. 2009]: Έχοντας μια χρονοσειρά $u(i)$, όπου $i=1, 2, \dots, N$, και N το μήκος της χρονοσειράς, αρχικά ολοκληρώνουμε το $u(i)$ και παίρνουμε:

$$y(i) = \sum_{j=1}^i [u(j) - \bar{u}] \quad (2.3.1)$$

όπου η μέση τιμή

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u(j) \quad (2.3.2)$$

Στην συνέχεια διαιρούμε το $y(i)$ σε κουτιά ίσου μήκους n . Σε κάθε κουτί, προσαρμόζουμε την $y(i)$ χρησιμοποιώντας μια πολυωνυμική συνάρτηση $y_n(i)$ η οποία αντιπροσωπεύει την τοπική τάση μέσα στο κουτί. Έπειτα αφαιρούμε τις τάσεις από την $y(i)$ ως εξής:

$$Y_n(i) = y(i) - y_n(i) \quad (2.3.3)$$

Τέλος, η διακύμανση δίνεται από:

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Y_n(i)]^2} \quad (2.3.4)$$

Η συμπεριφορά της $F(n)$ σε έναν μεγάλο αριθμό κλιμάκων υπολογίζεται επαναλαμβάνοντας τους παραπάνω υπολογισμούς για διάφορα μήκη κουτιού n . Για χρονοσειρές που δεν εξαρτώνται από την κλίμακα προκύπτει ότι:

$$F(n) \propto n^\alpha \quad (2.3.5)$$

όπου α , ο εκθέτης κλιμάκωσης. Λογαριθμίζοντας τη σχέση (2.3.5) παίρνουμε:

$$\log F(n) \propto \alpha \log(n) \quad (2.3.6)$$

Από την κλίση της ευθείας $\log F(n)$ συναρτήσεως του $\log(n)$ παίρνουμε τον εκθέτη κλιμάκωσης α .

Αν $\alpha = 0.5$, το σήμα είναι ασυσχέτιστο (λευκός θόρυβος), ενώ για $\alpha > 0.5$ το σήμα παρουσιάζει συσχέτιση.

3. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER

Οι σεισμικοί κατάλογοι που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (www.gein.noa.gr)

Ο κατάλογος που θα χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό είναι ο πλήρης σεισμικός κατάλογος με την ονομασία “[Πλήρης κατάλογος \(από το 1964 μέχρι σήμερα\)](#)”

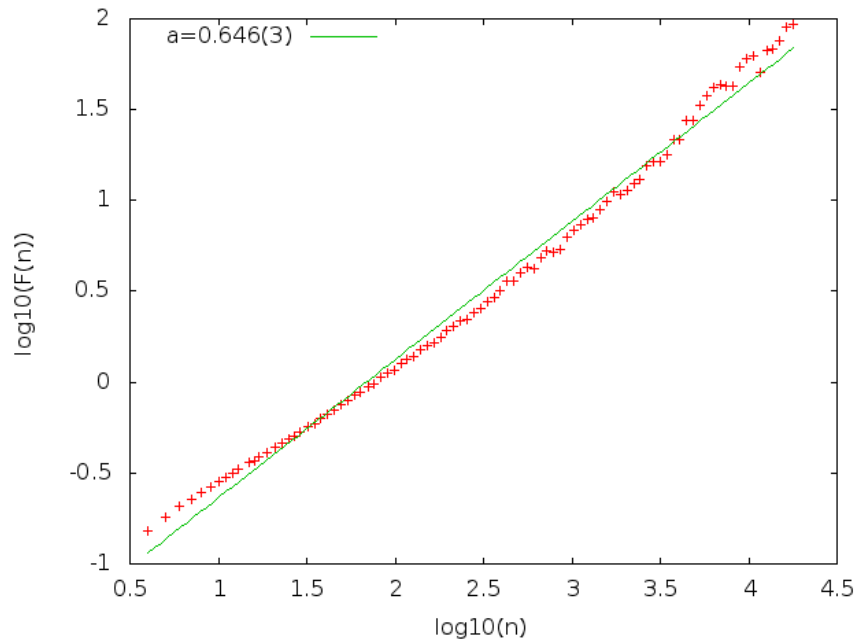
(http://www.gein.noa.gr/services/full_catalogue.php) όπως ήταν αναρτημένος στις 2 Φεβρουαρίου 2015.

Το ελάχιστο μέγεθος σεισμού που θα χρησιμοποιήσουμε το καλούμε μέγεθος κατωφλίου M_{thres} . Για να πάρουμε τον πλήρη κατάλογο, προχωρήσαμε σε φιλτράρισμα ως προς το μέγεθος κάθε σεισμού απαιτώντας $M_L \geq M_{\text{thres}}$.

Το επόμενο βήμα είναι το φιλτράρισμα του καταλόγου ως προς τις γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό πλάτος βόρειο N και γεωγραφικό μήκος ανατολικό E). Στην παρούσα εργασία μελετάται η Ελληνική επικράτεια στα όρια $N_{34,5}^{42}$ και $E_{19}^{28,5}$.

3.1. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.0$

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.0$ των σεισμών και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](http://www.gnuplot.info)" [Williams T. and Kelley C 1986] σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:
 $y = 0.646(3) * x - 1.207(6)$. Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στο παρακάτω (Σχ. 3.1.1).



Σχ. 3.1.1: DFA για $M \geq 3.0$

Σε αρκετές περιπτώσεις οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες και παρατηρούνται διαφορετικοί εκθέτες κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

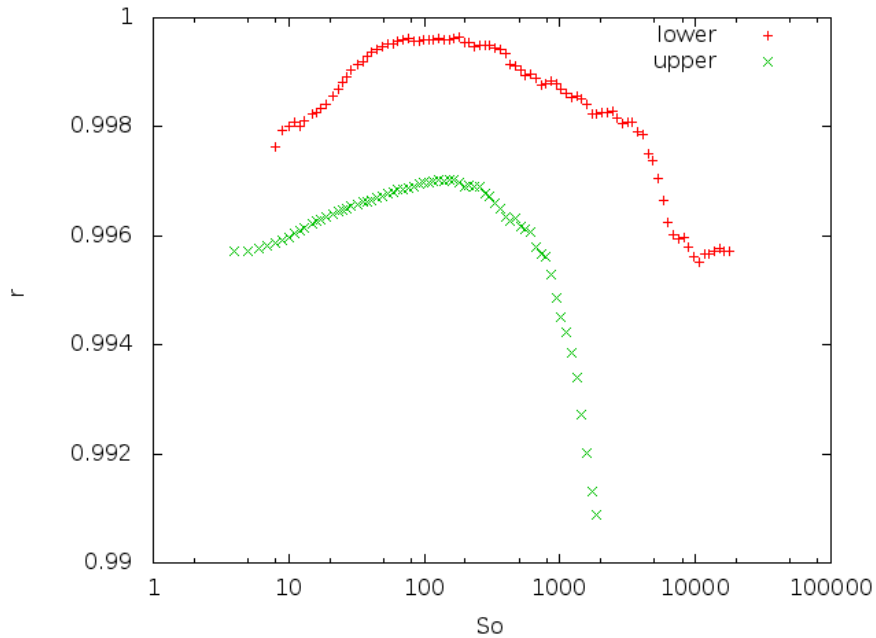
Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 93], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_0 [4, 10^4] που αντιστοιχεί

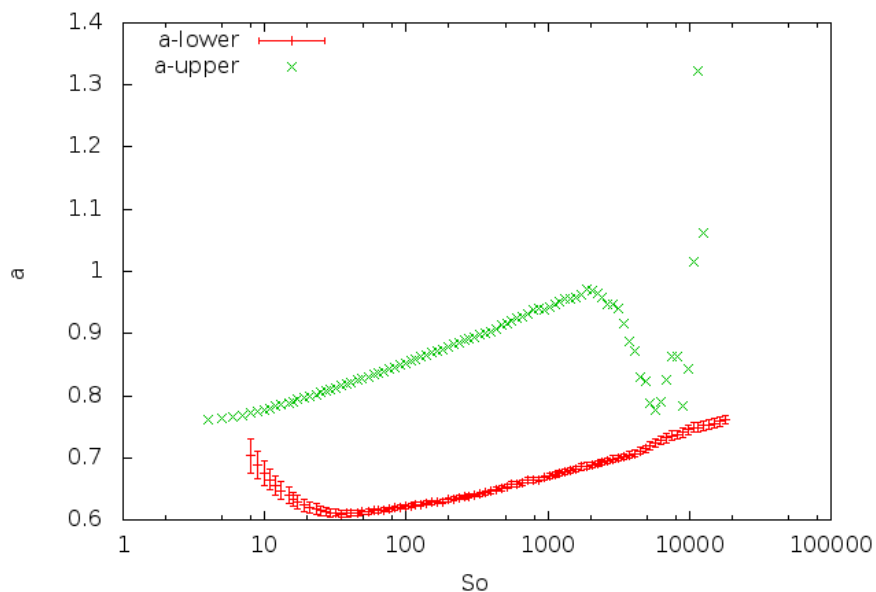
στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω Σχ. 3.1.2:



Σχ. 3.1.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o για τιμές $M \geq 3.0$

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.1.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :

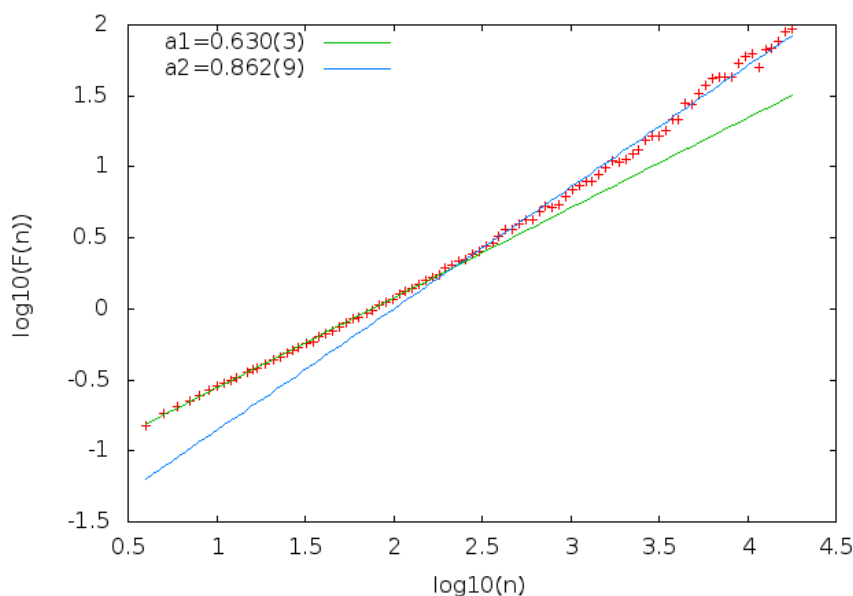


Σχ. 3.1.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του Μεγέθους $M \geq 3.0$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.0$ βρέθηκε ότι είναι 2.3605678, στο $10^{2.36} = 229$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο:

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.1.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετραγώνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:

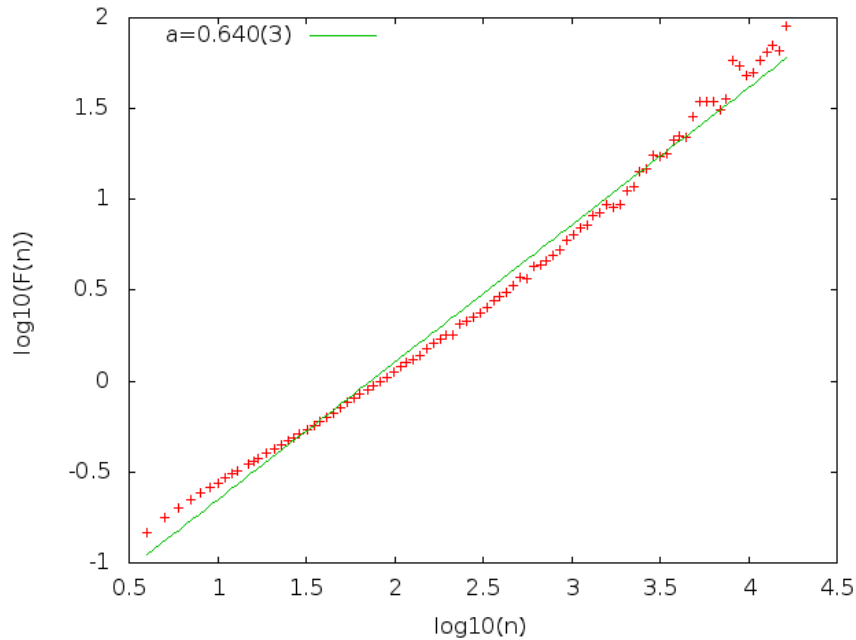


Σχ. 3.1.4: DFA για $M \geq 3.0$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.2. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.1$

Με όμοια διαδικασία για τα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.1$ των σεισμών σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής: $y = 0.640(3) \cdot x - 1.215(6)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στο παρακάτω (Σχ. 3.2.1).

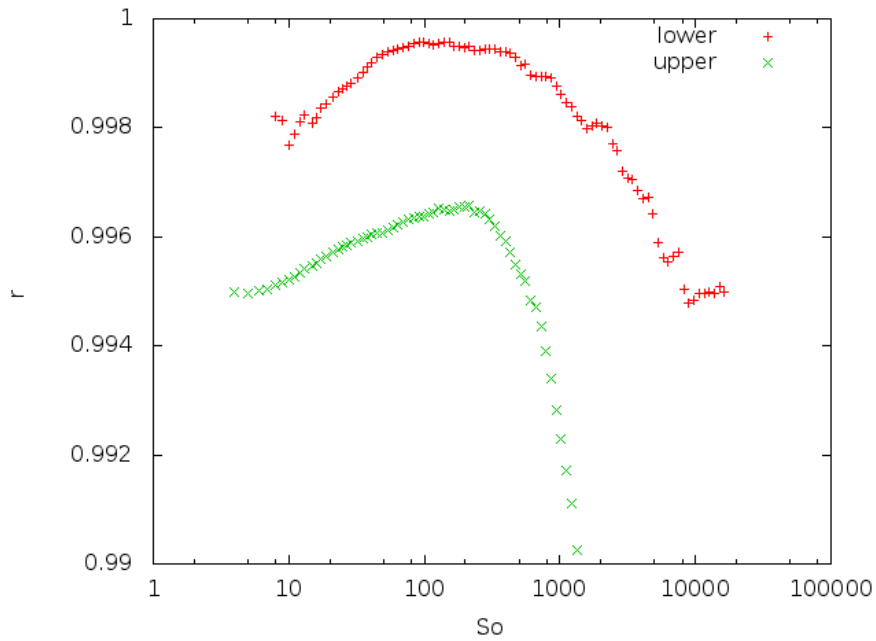


Σχ. 3.2.1: DFA για $M \geq 3.1$

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 92], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

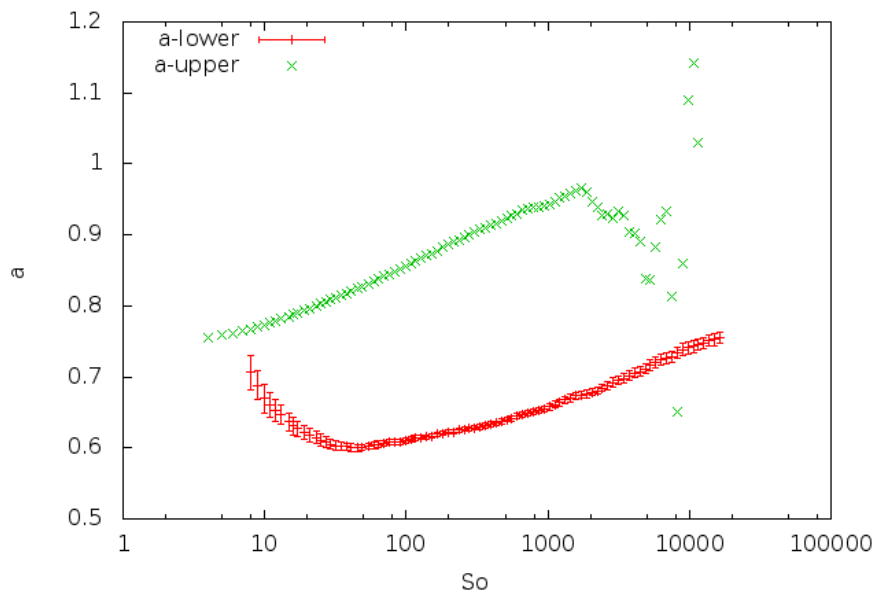
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_0 [4, 10^4] που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα (Σχ. 3.2.2) που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_0 ,



Σχ. 3.2.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 για τιμές $M \geq 3.1$

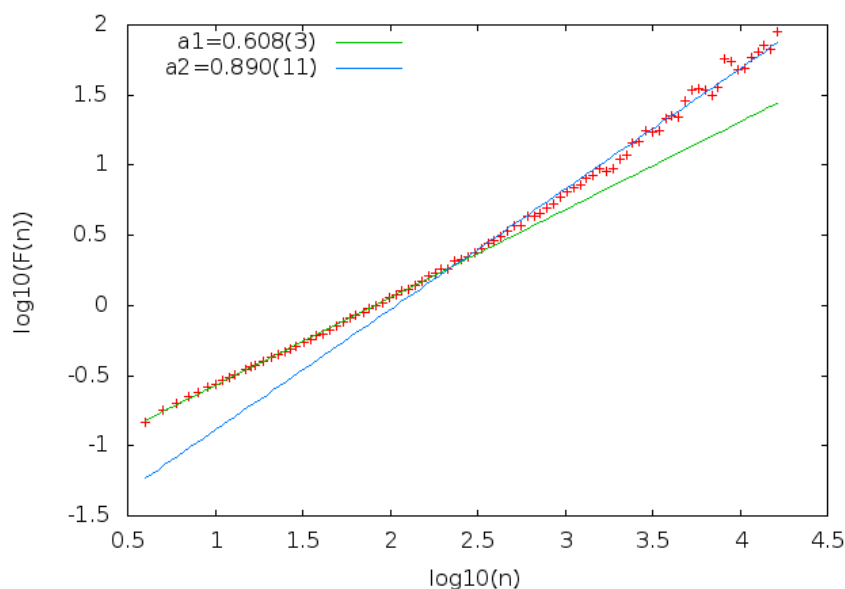
Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.2.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 :



Σχ. 3.2.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 του Μεγέθους $M \geq 3.1$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.1$ βρέθηκε ίσο με 2.4244936, στο $10^{2.4244936} = 263$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο: Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.2.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετράγωνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:

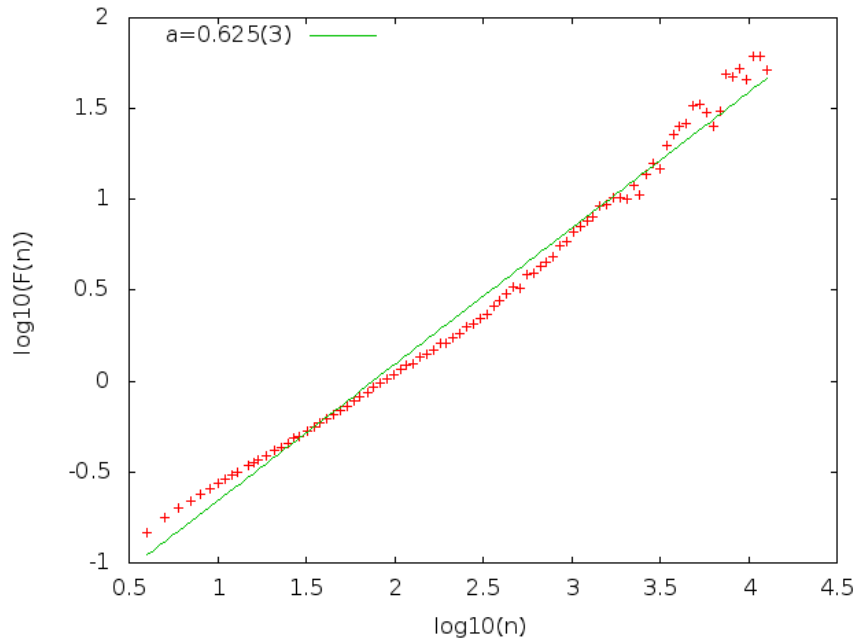


Σχ. 3.2.4: DFA για $M \geq 3.1$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.3. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$

Με όμοια διαδικασία για τα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ των σεισμών σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής: $y = 0.625(3) \cdot x - 1.204(6)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται παρακάτω (Σχ.3.3.1).

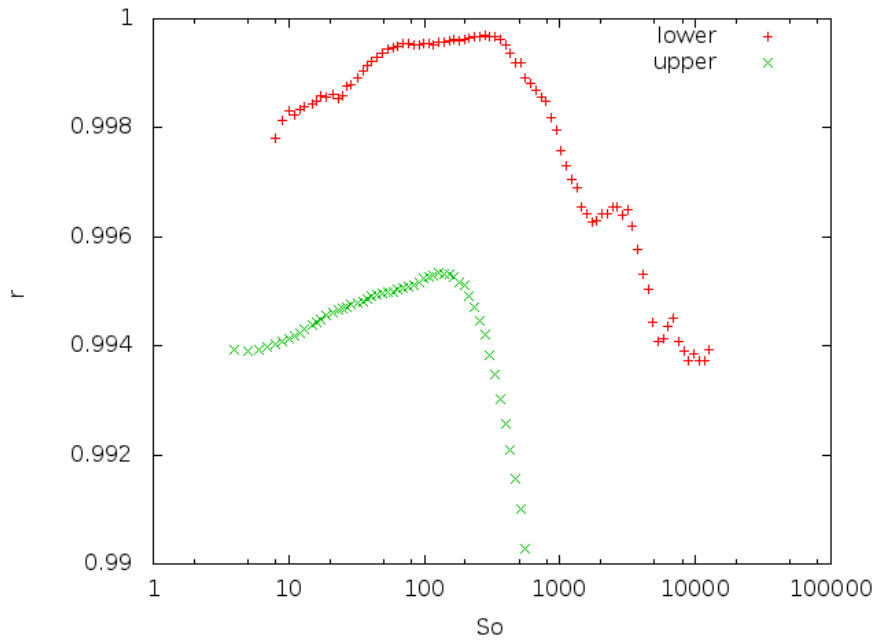


Σχ.3.3.1: DFA για $M \geq 3.2$

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 89], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

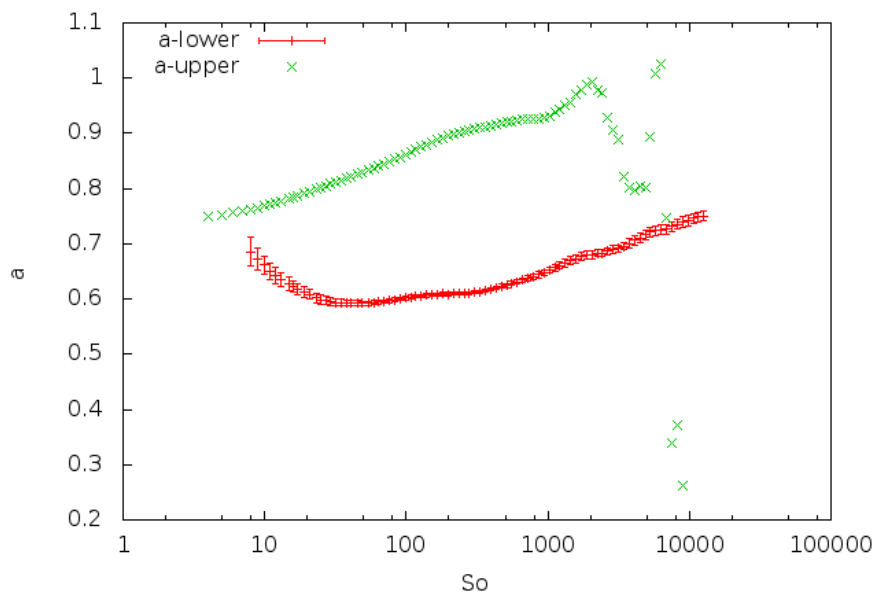
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_0 [4, 10^4] που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_0 , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 3.3.2):



Σχ. 3.3.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 για τιμές $M \geq 3.2$

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.3.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 :

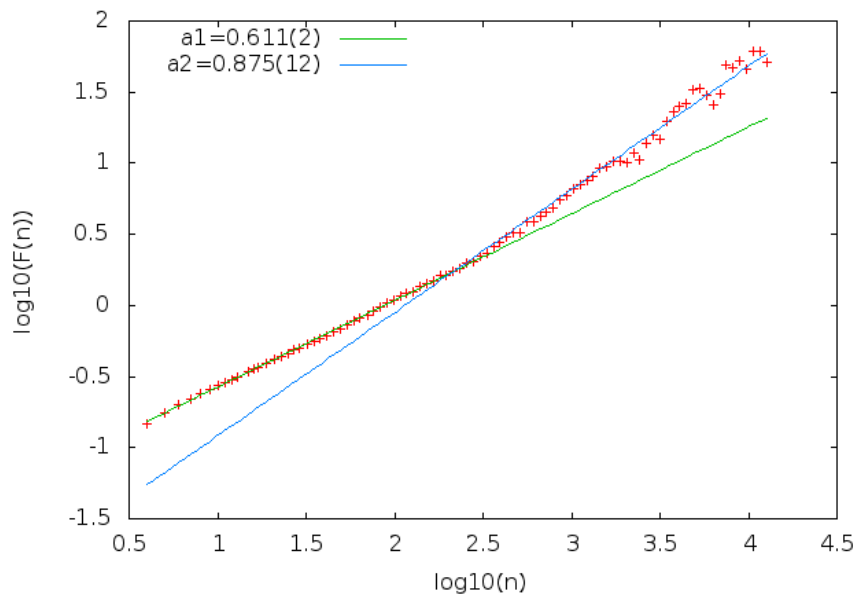


Σχ. 3.3.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ βρέθηκε ίσο με 2.3768840, στο $10^{2.3768840} = 238$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο: Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του

συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.3.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετράγωνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:



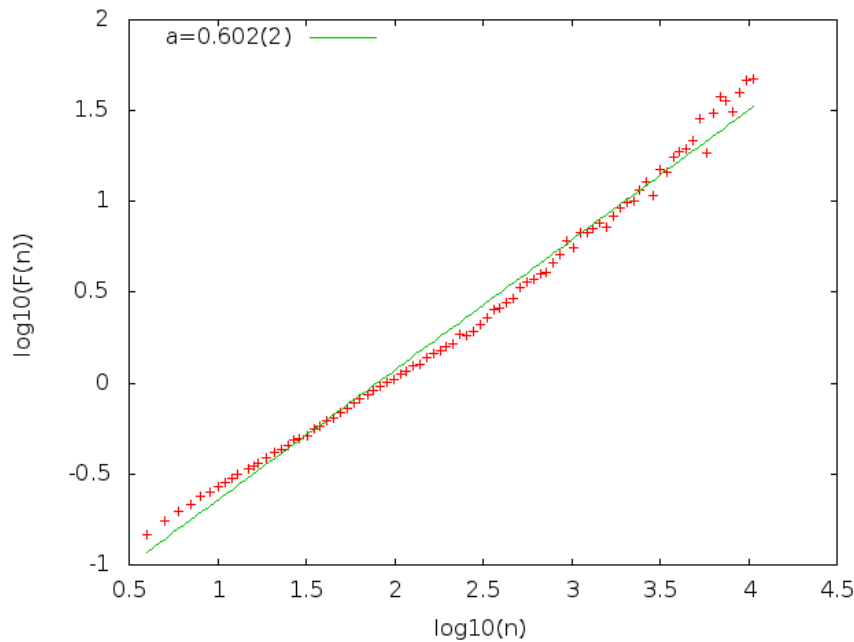
Σχ. 3.3.4: DFA για $M \geq 3.2$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.4. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.3$

Με όμοια διαδικασία για τα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.3$ των σεισμών σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA.

Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής: $y = 0.602(2) * x - 1.179(3)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στο παρακάτω (Σχ. 3.4.1).

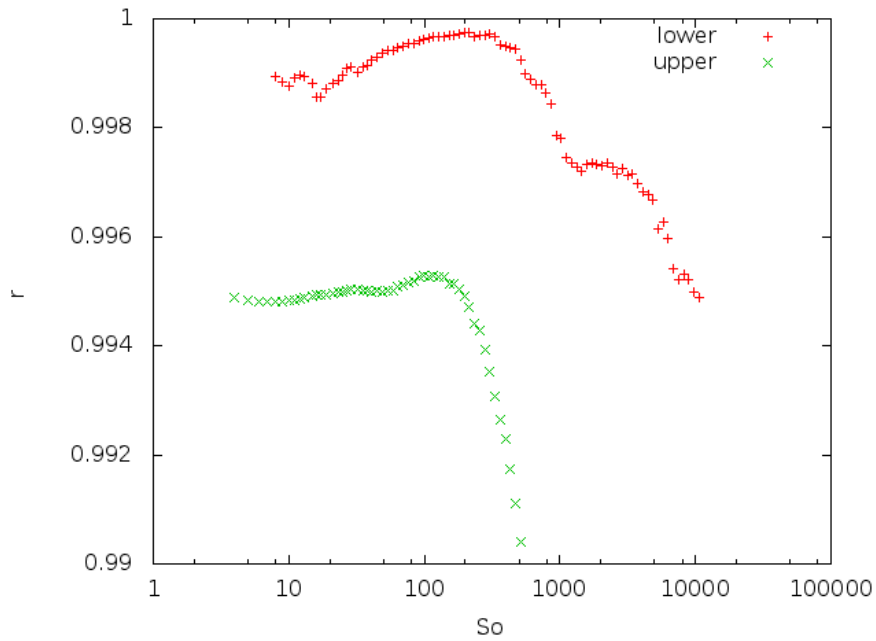


Σχ. 3.4.1: DFA για $M \geq 3.3$

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 87], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

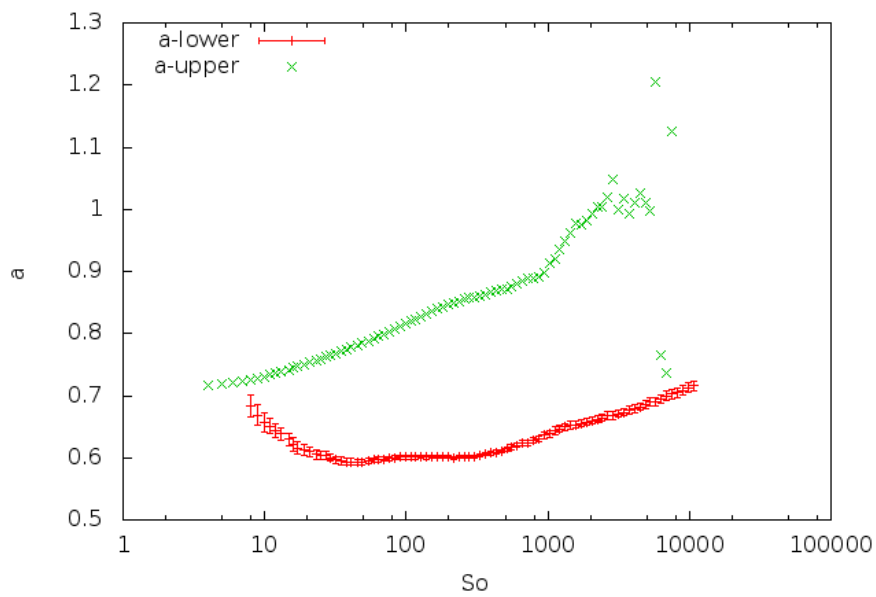
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_o [4, 10^4] που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 3.4.2):



Σχ. 3.4.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 για τιμές $M \geq 3.3$

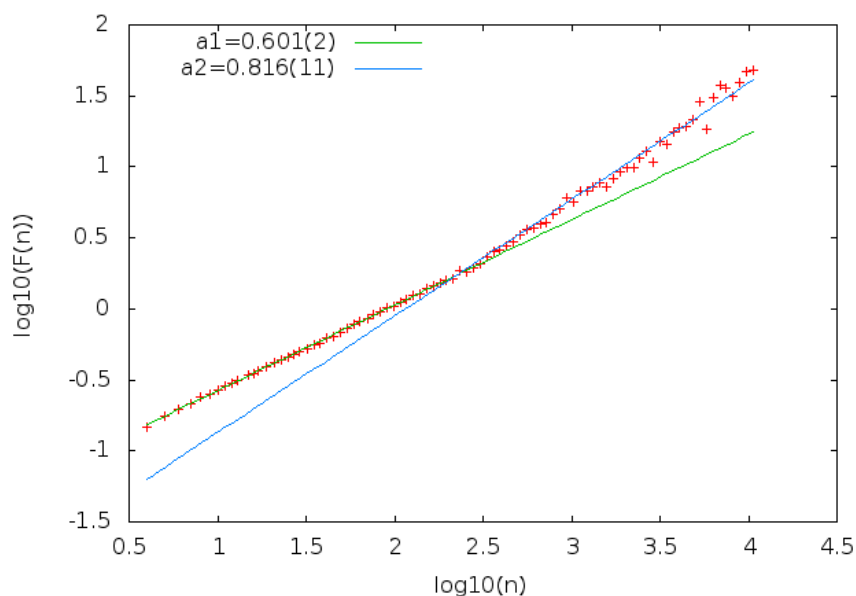
Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.4.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 :



Σχ. 3.4.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.3$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.3$ βρέθηκε ίσο με 2.3314526, στο $10^{2.3314526} = 214$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο: Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.4.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετράγωνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:

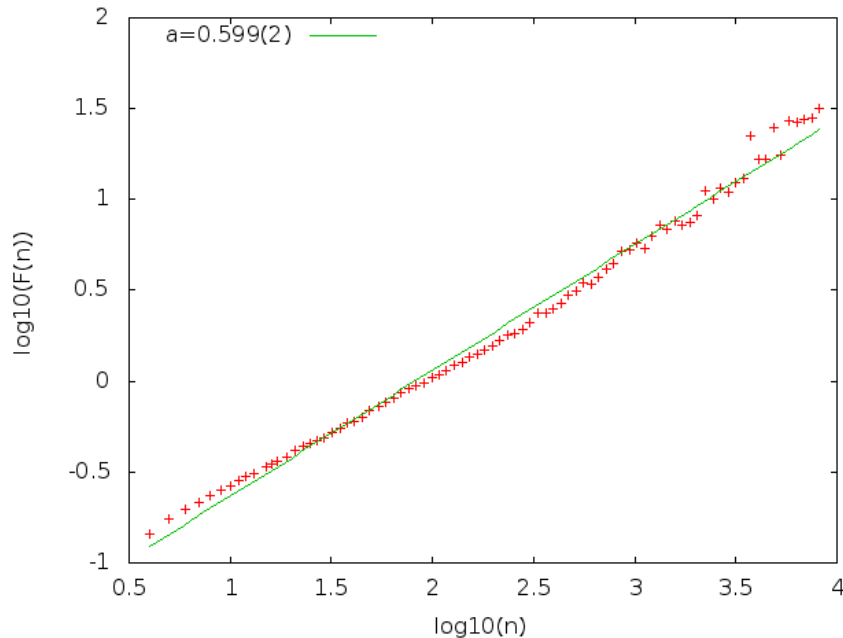


Σχ. 3.4.4: DFA για $M \geq 3.3$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.5. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.4$

Με όμοια διαδικασία για τα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.4$ των σεισμών σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής: $y = 0.599(2) * x - 1.178(3)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στο παρακάτω (Σχ. 3.5.1).

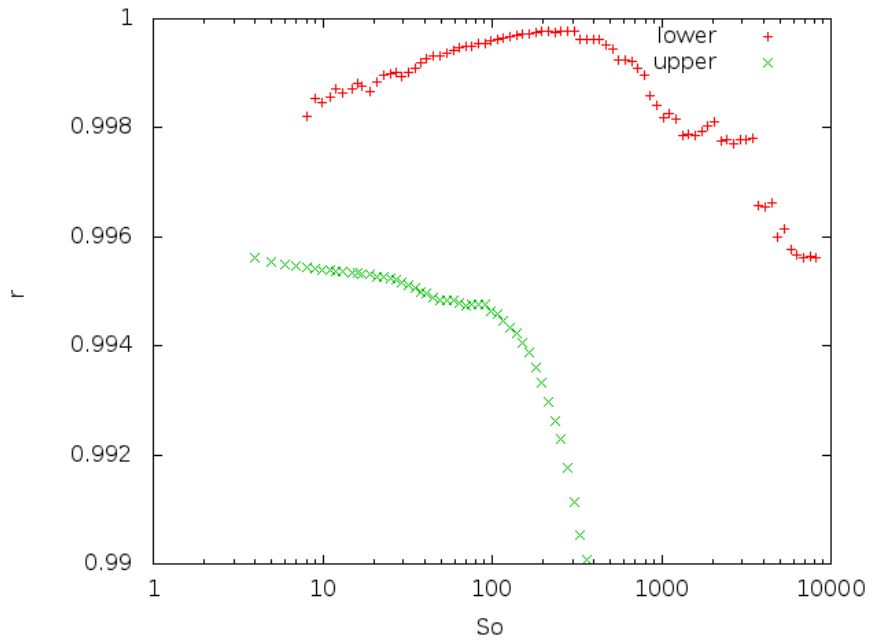


Σχ. 3.5.1 : DFA για $M \geq 3.4$

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 84], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

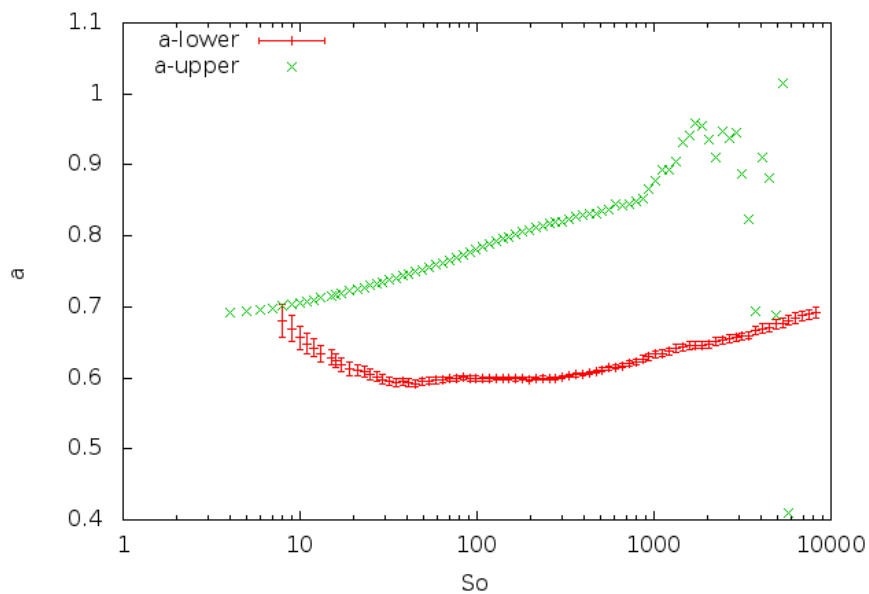
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_o [4, 10^4] που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 3.5.2):



Σχ. 3.5.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 για τιμές $M \geq 3.4$

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.5.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 :

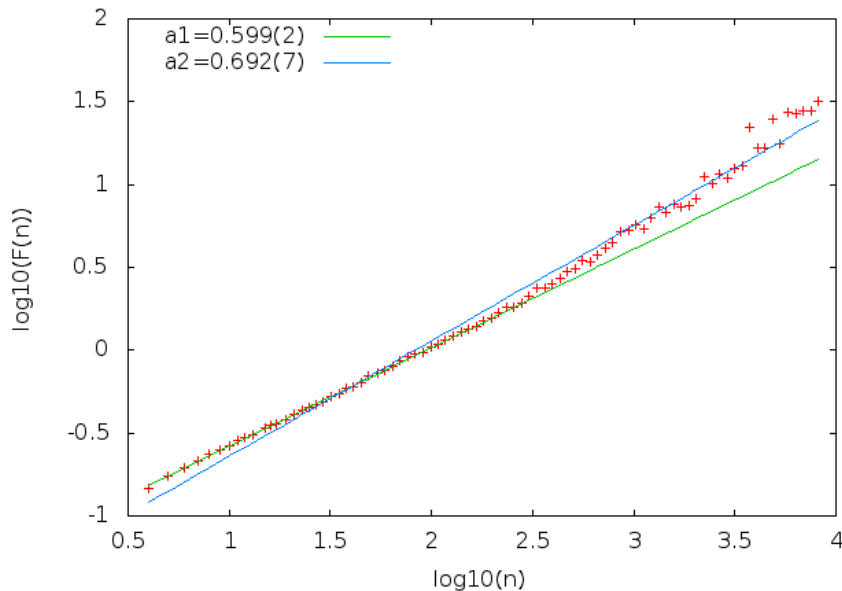


Σχ. 3.5.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.4$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.4$ βρέθηκε ίσο με 1.5769793, στο $10^{1.5769793} = 38$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί).

Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο: Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.5.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετράγωνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:

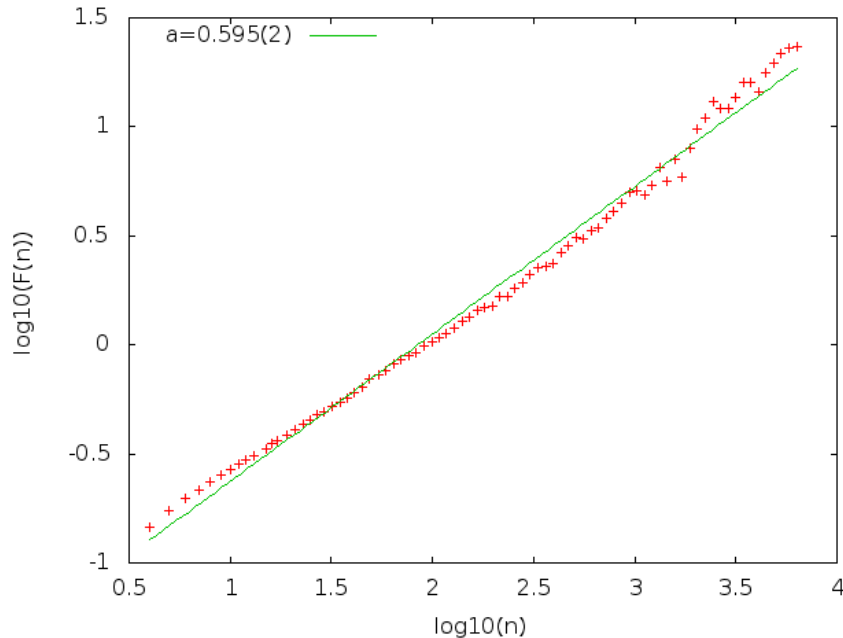


Σχ. 3.5.4: DFA για $M \geq 3.4$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.6. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$

Με όμοια διαδικασία για τα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ των σεισμών σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής: $y = 0.595(2) \cdot x - 1.174(3)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στο παρακάτω (Σχ. 3.6.1).

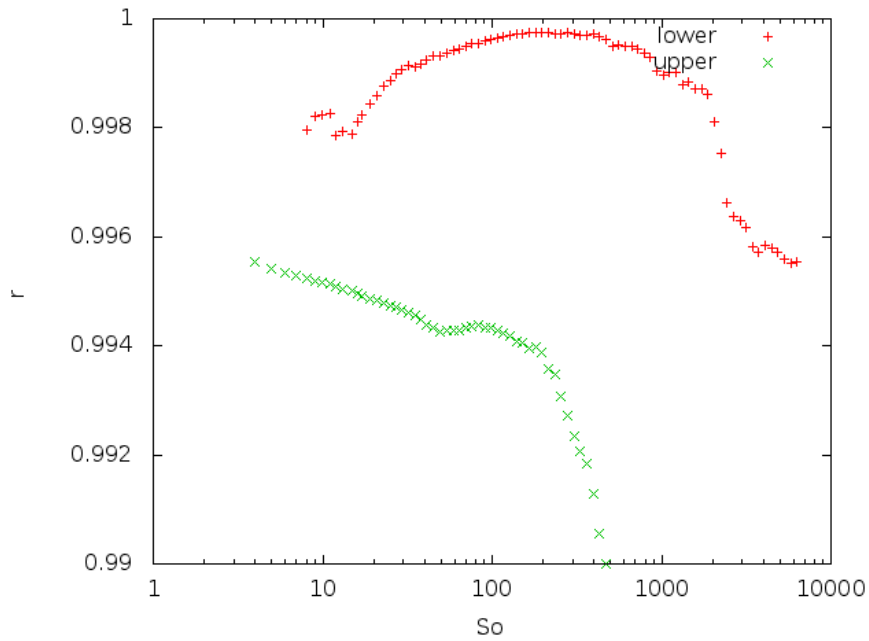


Σχ. 3.6.1: DFA για $M \geq 3.5$

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 81], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

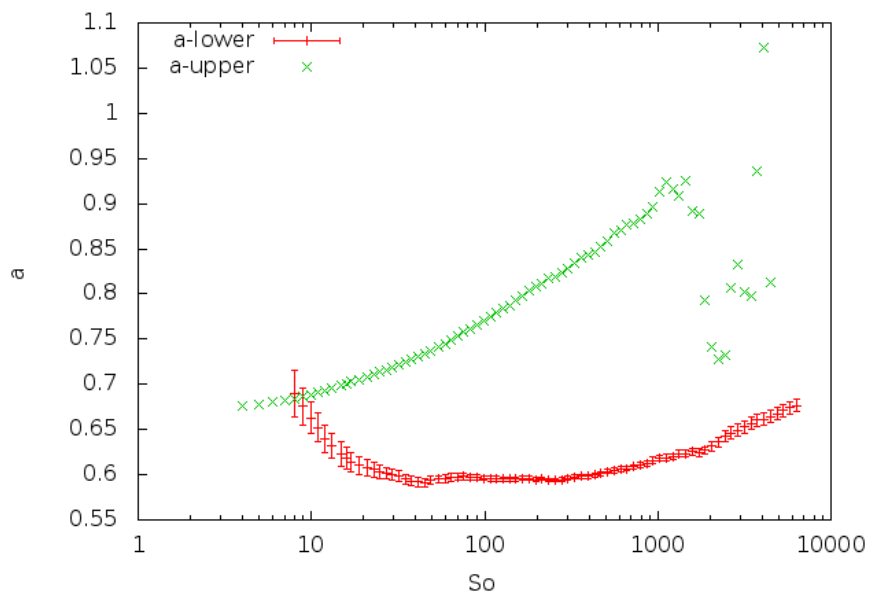
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_o [4, 10^4] που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 3.6.2):



Σχ. 3.6.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 για τιμές $M \geq 3.5$

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.6.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 :

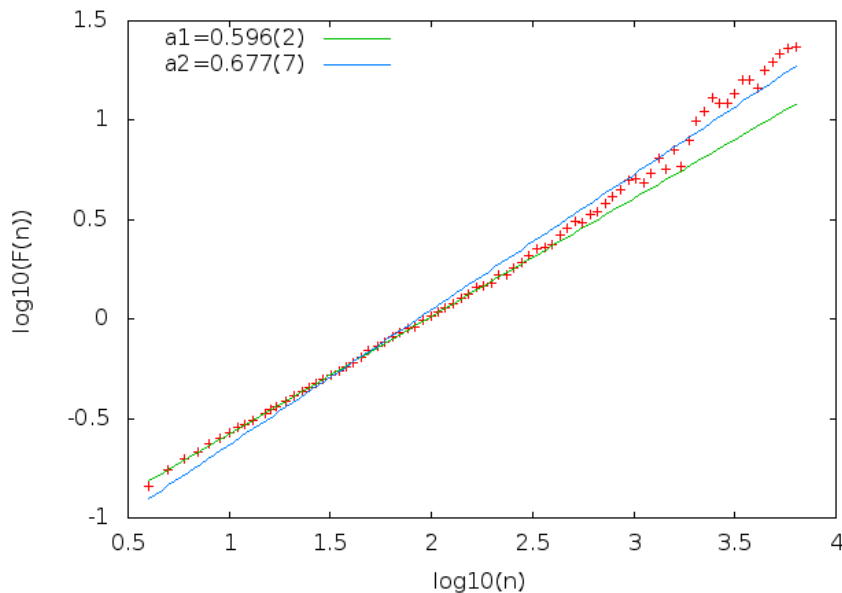


Σχ. 3.6.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ βρέθηκε ίσο με 1.5890510, στο $10^{1.5890510} = 39$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί).

Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο: Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.6.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετράγωνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:

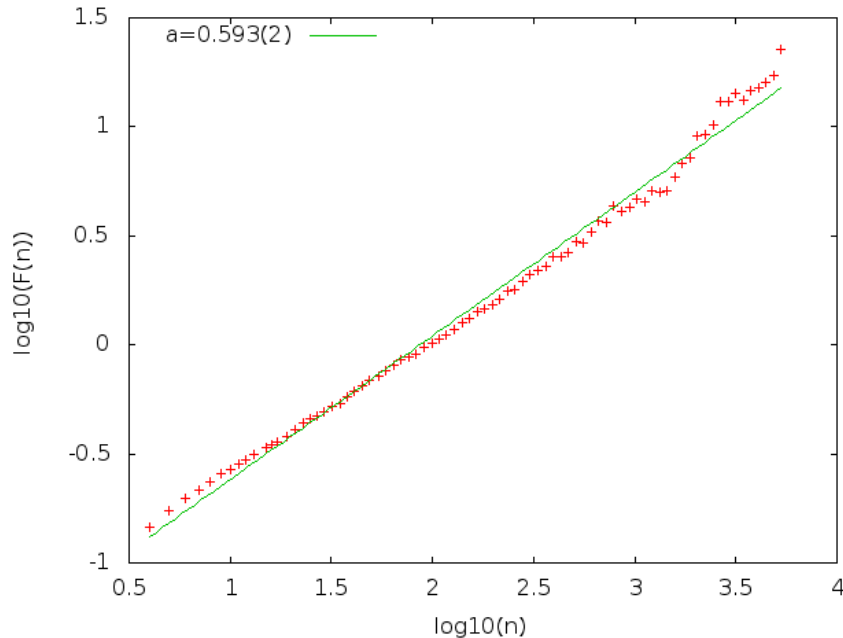


Σχ. 3.6.4: DFA για $M \geq 3.5$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.7. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.6$

Με όμοια διαδικασία για τα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.6$ των σεισμών σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής: $y = 0.593(2) \cdot x - 1.171(3)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στο παρακάτω (Σχ. 3.7.1).

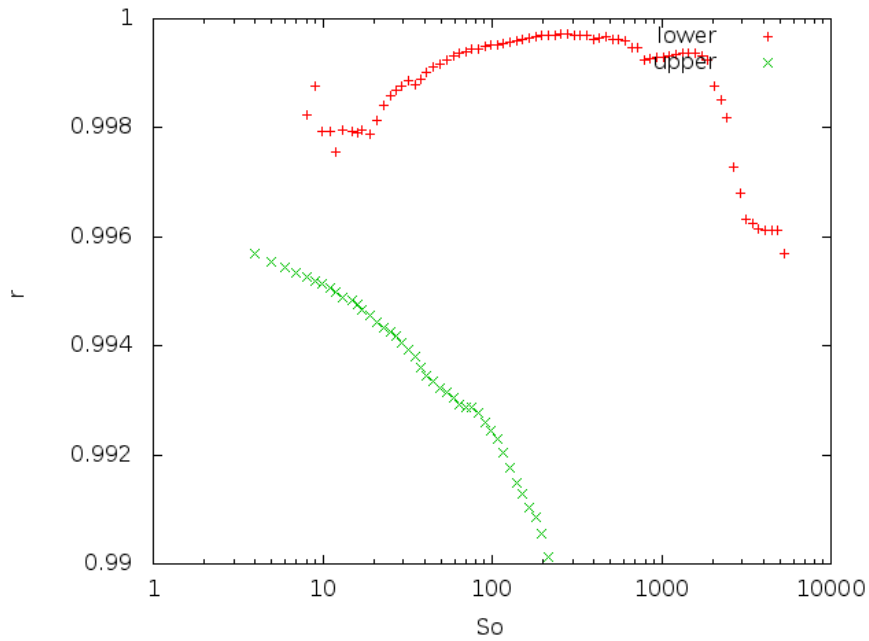


Σχ. 3.7.1: DFA για $M \geq 3.6$

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 79], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

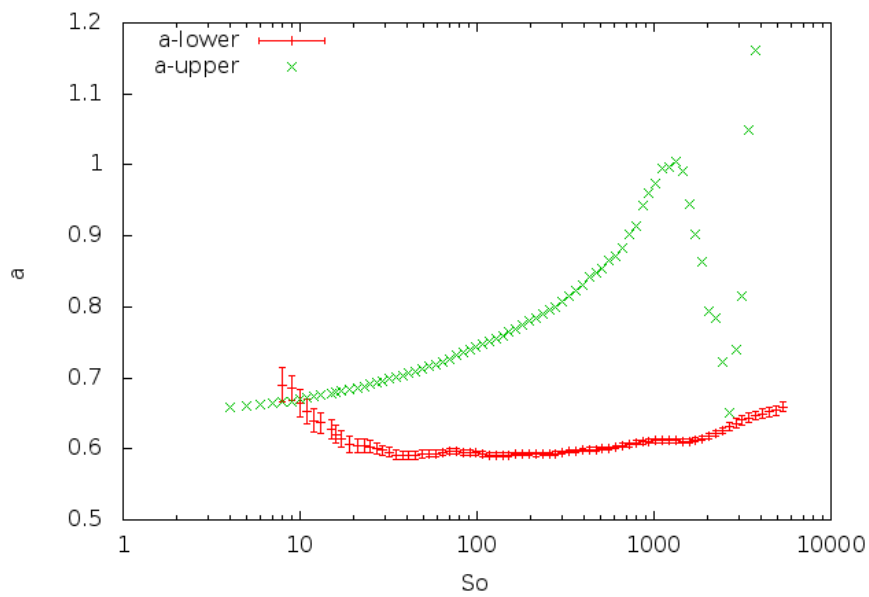
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_0 [4, 10^4] που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_0 , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 3.7.2):



Σχ. 3.7.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 για τιμές $M \geq 3.6$

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.7.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 :

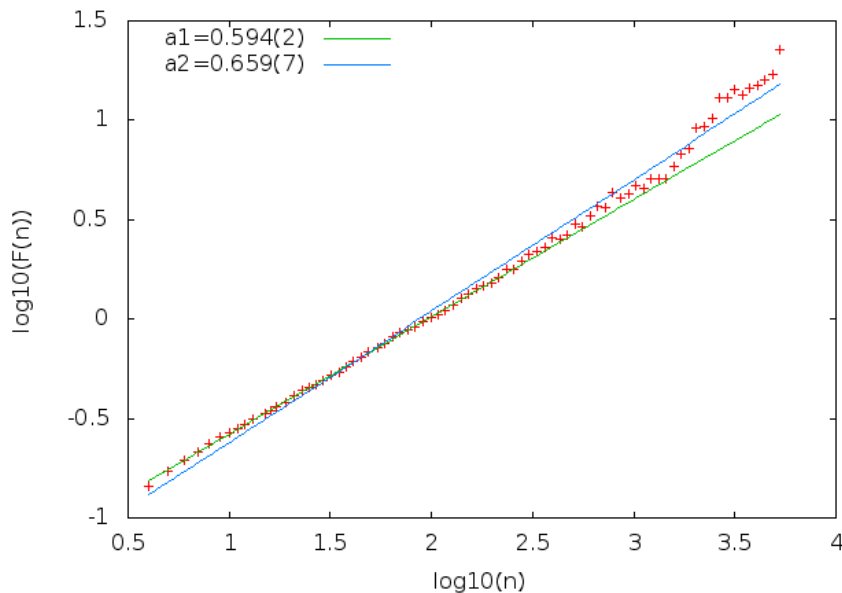


Σχ. 3.7.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.6$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.6$ βρέθηκε ίσο με 1.5884191, στο $10^{1.5884191} = 39$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί).

Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο: Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.7.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετράγωνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:

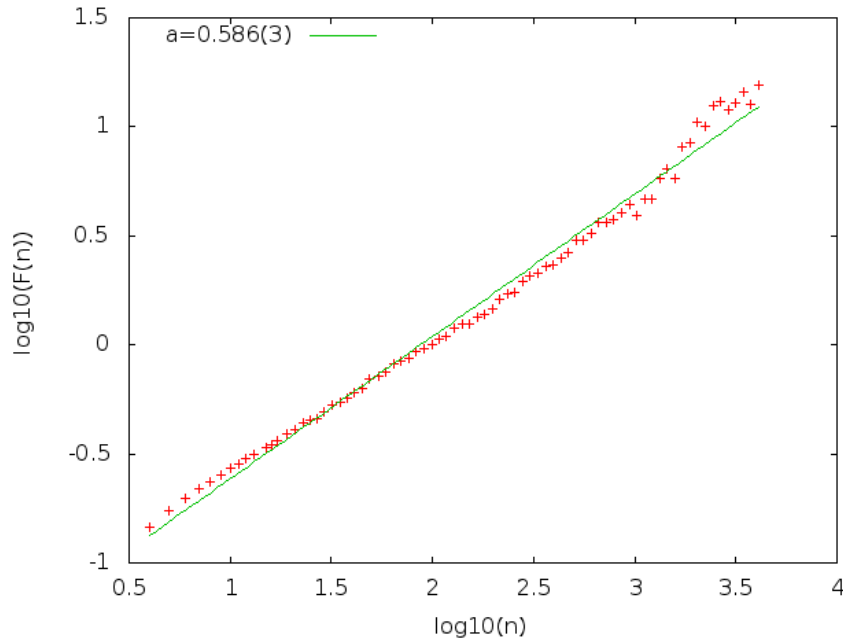


Σχ. 3.7.4: DFA για $M \geq 3.6$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.8. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.7$

Με όμοια διαδικασία για τα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.7$ των σεισμών σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής: $y = 0.586(3) \cdot x - 1.163(5)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στο παρακάτω (Σχ. 3.8.1).

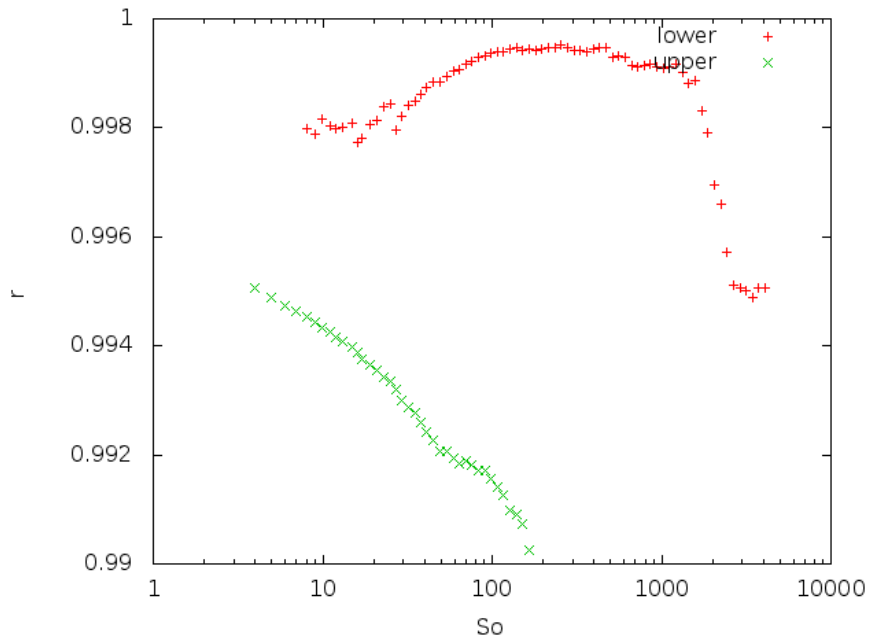


Σχ. 3.8.1: DFA για $M \geq 3.7$

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 76], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

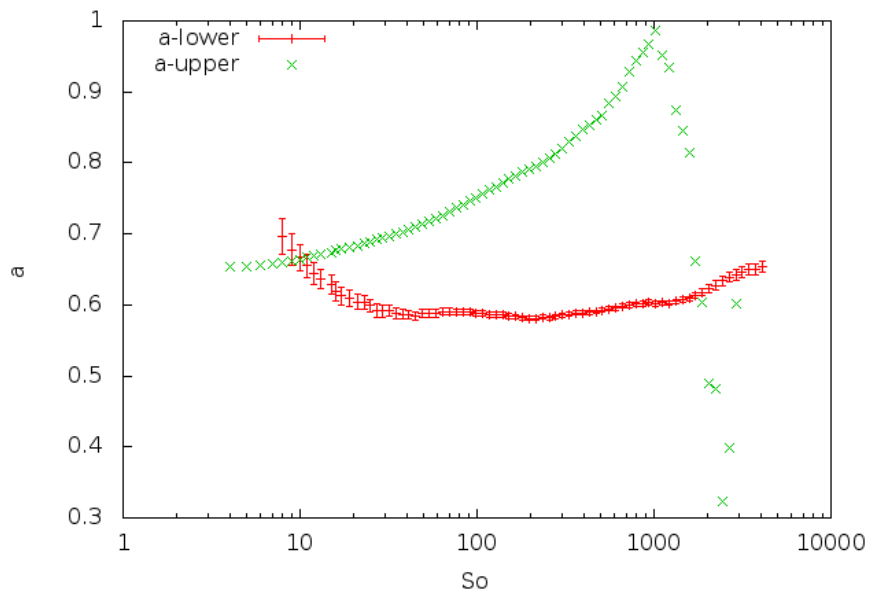
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_o [4, 10^4] που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 3.8.2):



Σχ. 3.8.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 για τιμές $M \geq 3.7$

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.8.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 :

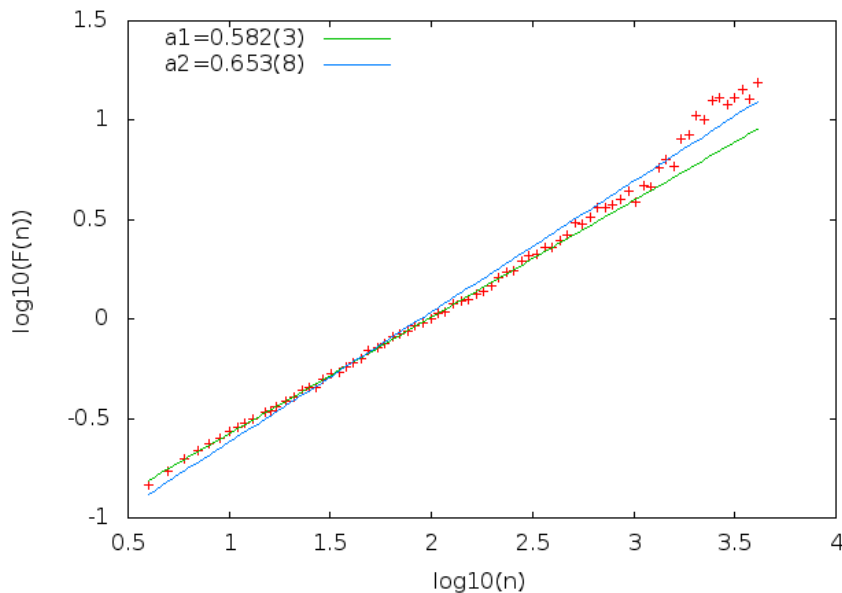


Σχ. 3.8.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.7$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.7$ βρέθηκε ίσο με 1.5489656, στο $10^{1.5489656} = 35$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί).

Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο: Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.8.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετράγωνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:

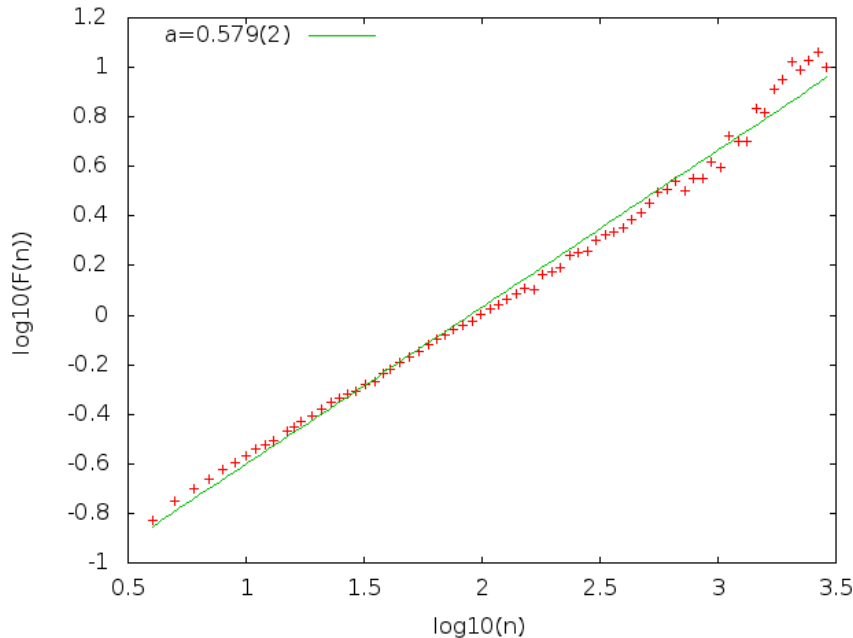


Σχ. 3.8.4: DFA για $M \geq 3.7$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.9. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.8$

Με όμοια διαδικασία για τα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.8$ των σεισμών σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής: $y = 0.579(2) * x - 1.150(3)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στο παρακάτω (Σχ. 3.9.1).

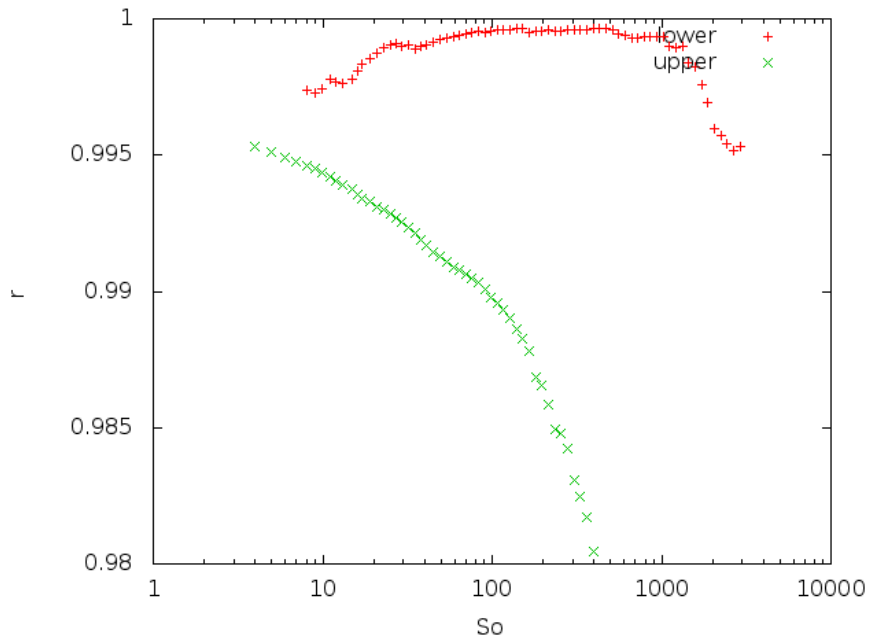


Σχ. 3.9.1: DFA για $M \geq 3.8$

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 72], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

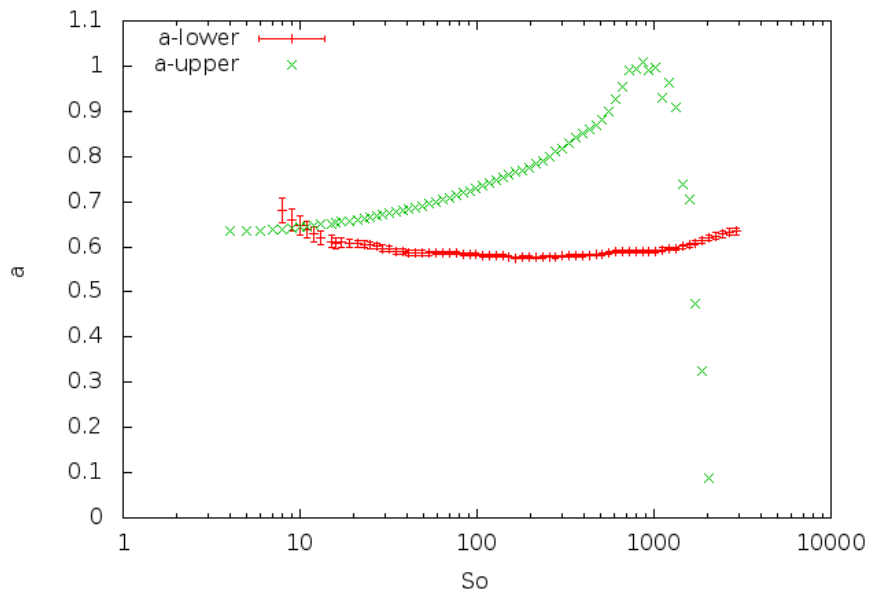
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_0 [4, 10^4] που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_0 , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ.3.9.2):



Σχ. 3.9.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 για τιμές $M \geq 3.8$

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.9.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 :

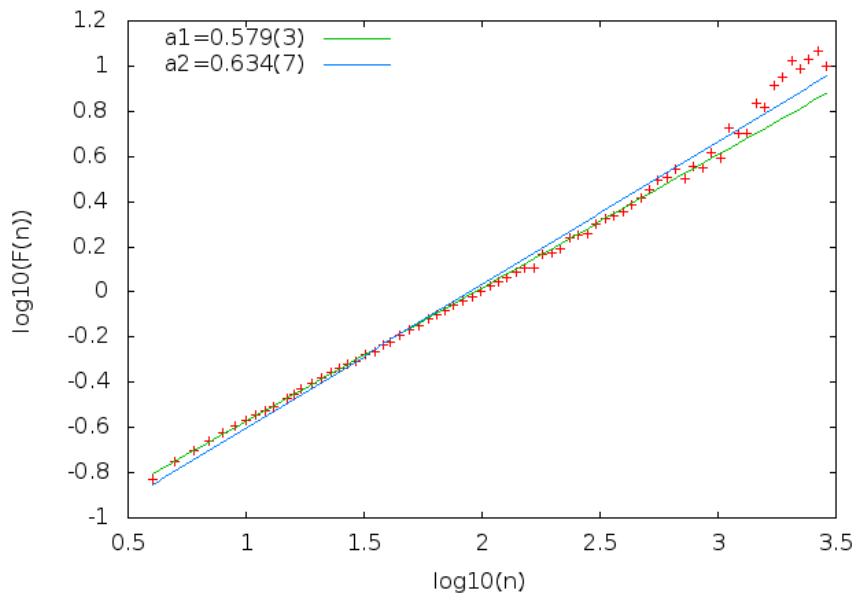


Σχ. 3.9.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.8$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.8$ βρέθηκε ίσο με 1.5445658, στο $10^{1.5445658} = 35$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί).

Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο: Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.9.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετράγωνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:

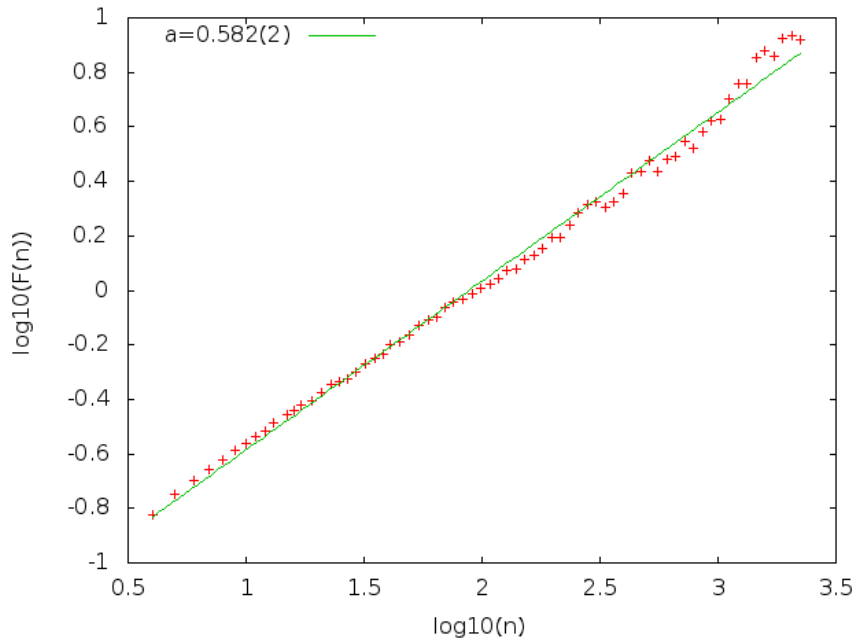


Σχ. 3.9.4: DFA για $M \geq 3.8$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.10 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.9$

Με όμοια διαδικασία για τα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.9$ των σεισμών σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής: $y = 0.582(3) \cdot x - 1.148(4)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στο παρακάτω (Σχ. 3.10.1).

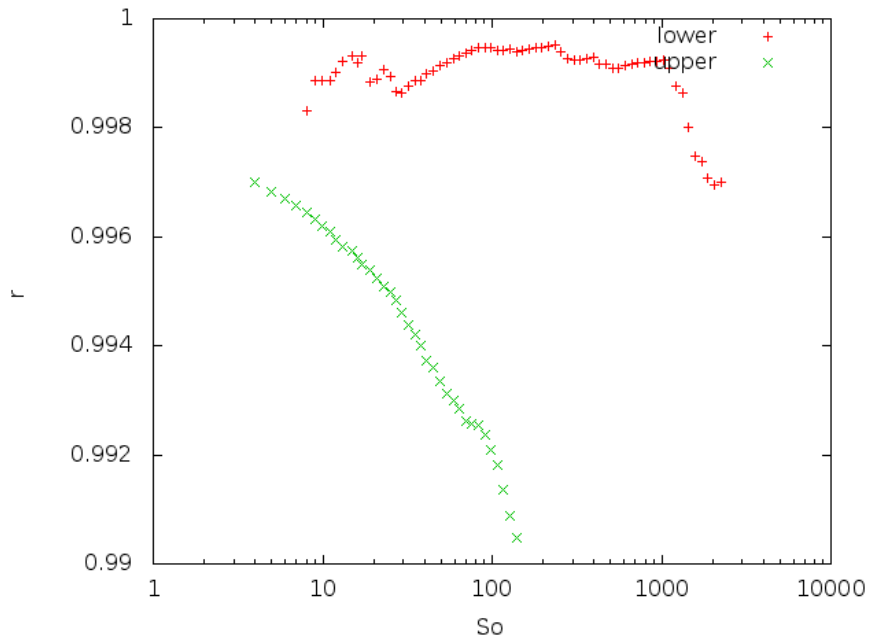


Σχ. 3.10.1: DFA για $M \geq 3.9$

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 69], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

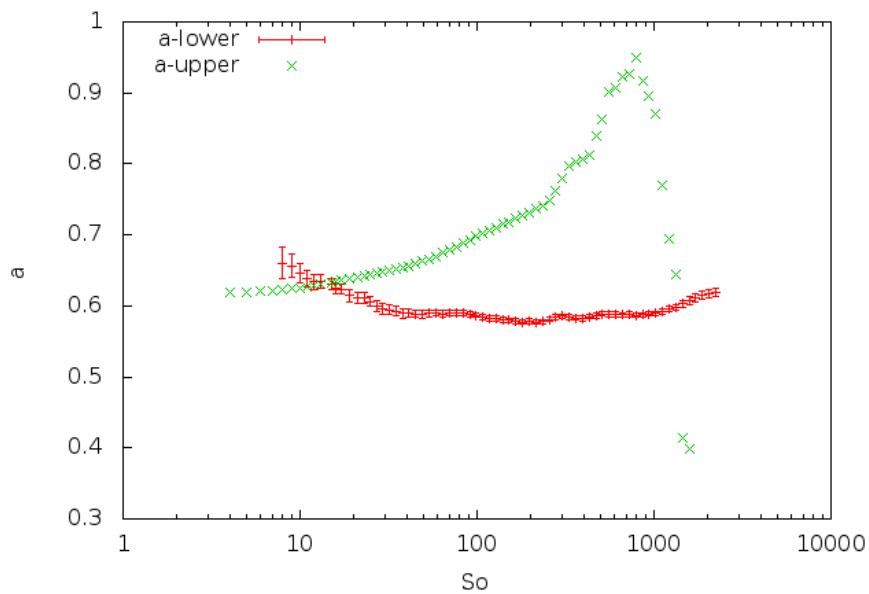
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_0 [4, 10^4] που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_0 , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 3.10.2):



Σχ. 3.10.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o για τιμές $M \geq 3.9$

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.10.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :

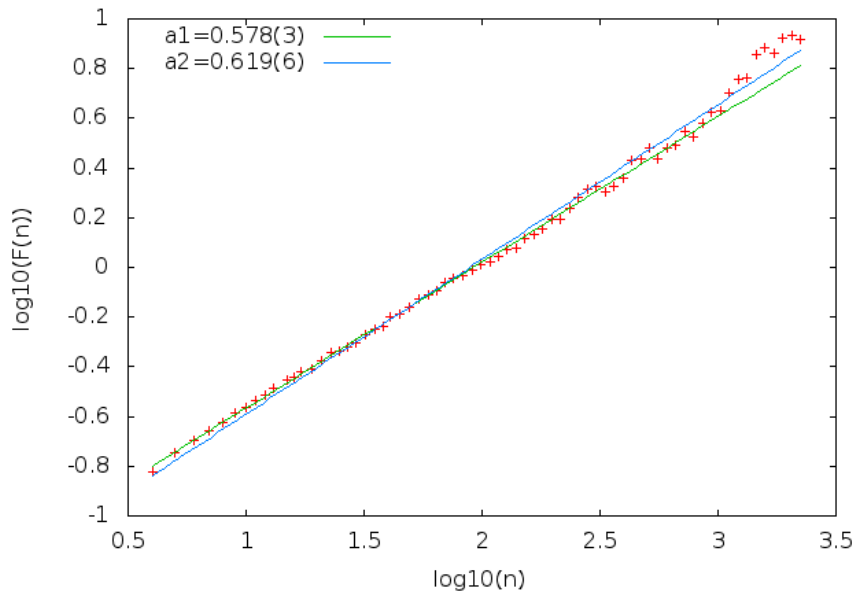


Σχ.3.10.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.9$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.9$ βρέθηκε ίσο με 1.5002719, στο $10^{1.5002719} = 32$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί).

Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο: Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.10.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετραγώνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:

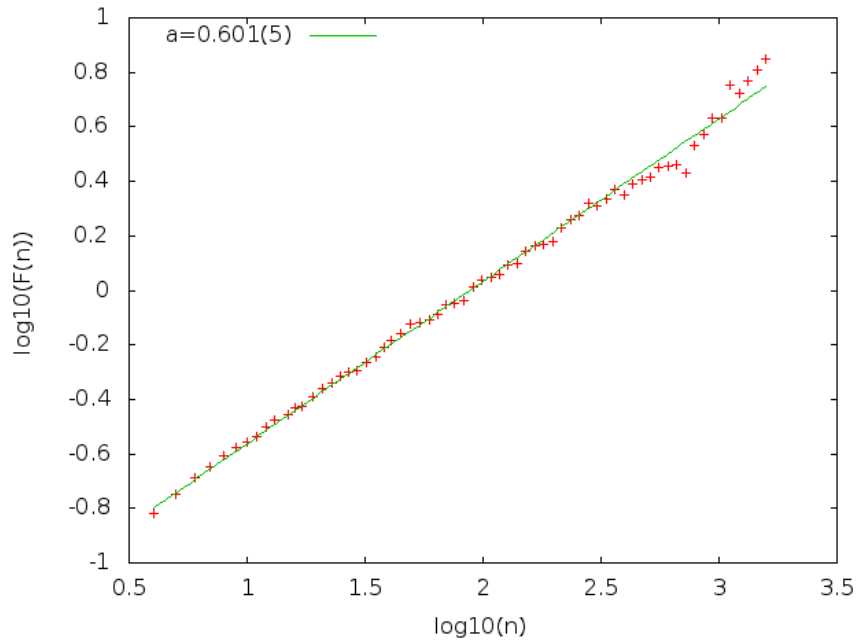


Σχ. 3.10.4: DFA για $M \geq 3.9$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.11 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 4.0$

Με όμοια διαδικασία για τα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 4.0$ των σεισμών σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής: $y = 0.601(5) \cdot x - 1.159(7)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στο παρακάτω (Σχ. 3.11.1).

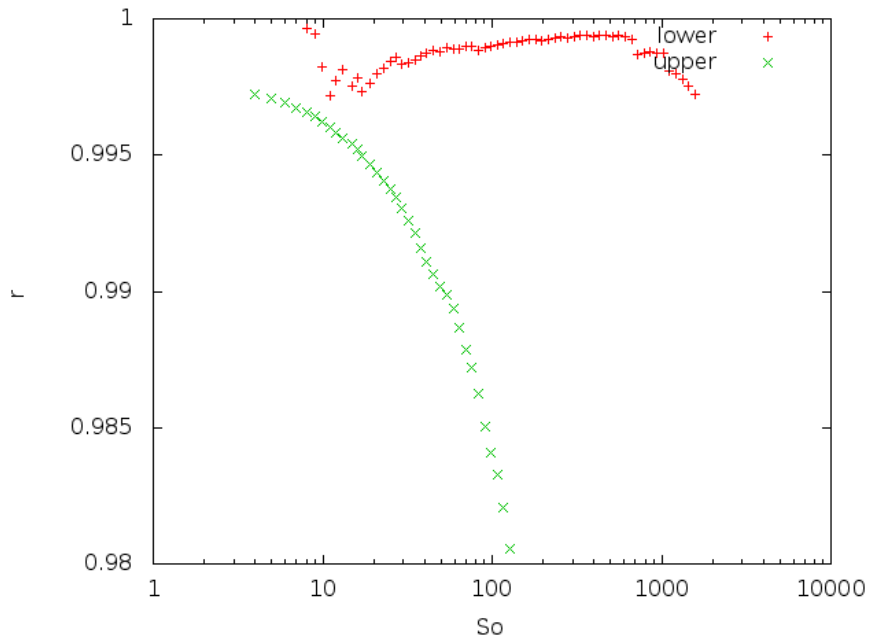


Σχ. 3.11.1: DFA για $M \geq 4.0$

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων $[5, 65]$, στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

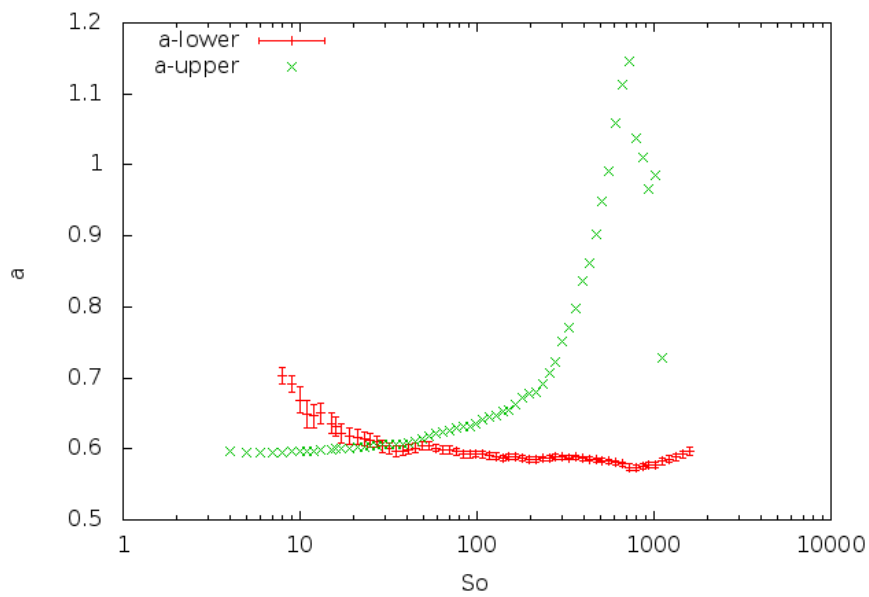
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_0 $[4, 10^4]$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_0 , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 3.11.2):



Σχ. 3.11.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o για τιμές $M \geq 4.0$

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 3.11.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :

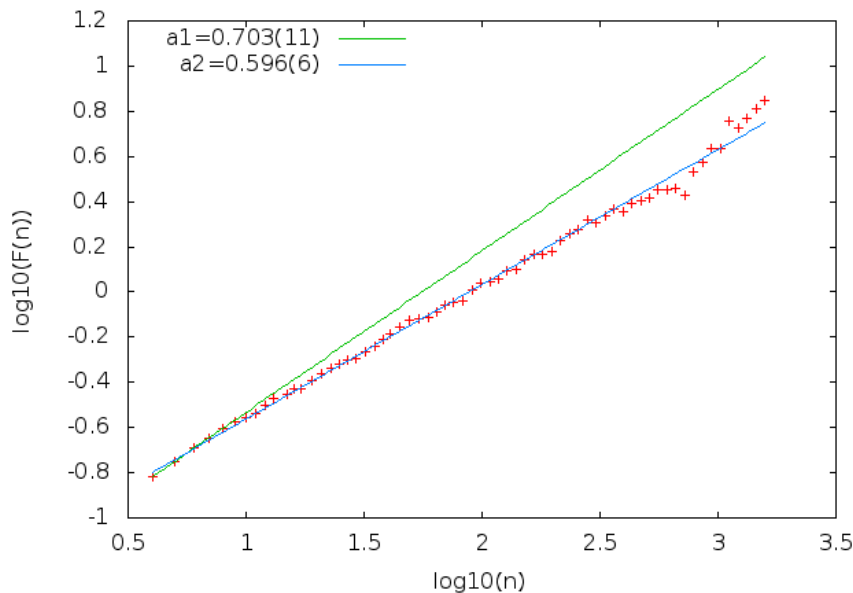


Σχ. 3.11.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 4.0$

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 4.0$ βρέθηκε ίσο με 0.7580030 , στο $10^{0.7580030} = 6$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί).

Η εύρεση του crossover έγινε με τον εξής τρόπο: Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση της κλίμακας δεδομένων S_0 . Στη συνέχεια έγινε ταυτοποίηση της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και της μέγιστης τιμής του r όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο (upper) τμήμα της καμπύλης της DFA. Αυτό οδήγησε και σχηματικά στο Σχ. 3.11.2. Επιλέγοντας τις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες οδηγούν σε κάθε περίπτωση (lower ή upper) σε μέγιστο r , κατασκευάσαμε τις αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετράγωνων και προσδιορίστηκε το σημείο τομής τους που αντιστοιχεί και στο σημείο crossover.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο παρακάτω σχήμα:



Σχ. 3.11.4: DFA για $M \geq 4.0$ με σημείο αλλαγής (crossover)

3.12 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στον παρακάτω πίνακα 3.1. συνοψίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του crossover στα δεδομένα για διαφορετικές τιμές του μεγέθους καταφλίου.

M_{thres}	α	α (lower)	α (upper)	Σεισμοί S
3.0	0.646(3)	0.630(3)	0.862(9)	229
3.1	0.640(3)	0.608(3)	0.890(11)	263
3.2	0.625(3)	0.611(2)	0.875(12)	238
3.3	0.602(2)	0.601(2)	0.816(11)	214
3.4	0.599(2)	0.599(2)	0.692(7)	38
3.5	0.595(2)	0.596(2)	0.677(7)	39
3.6	0.593(2)	0.594(2)	0.659(7)	39
3.7	0.586(3)	0.582(3)	0.653(8)	35
3.8	0.579(2)	0.579(3)	0.634(7)	35
3.9	0.582(3)	0.578(3)	0.619(6)	32
4.0	0.601(5)	0.703(11)	0.596(6)	6

Πίνακας 3.1: Οι τιμές των α , α (lower), α (upper) και ο αριθμός των σεισμών που αντιστοιχεί στο crossover που προσδιορίστηκε για κάθε M_{thres} που μελετήθηκε στην περίοδο 1964-2015.

4. ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Στην ενότητα αυτή γίνεται η μελέτη του crossover σαν συνάρτηση του χρόνου.

Ο κατάλογος που θα χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό είναι ο πλήρης σεισμικός κατάλογος “[Πλήρης κατάλογος \(από το 1964 μέχρι σήμερα\)](#)” όπως ήταν αναρτημένος στις 2 Φεβρουαρίου 2015.

Το επόμενο βήμα είναι το φιλτράρισμα του καταλόγου ως προς τις γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό πλάτος N και γεωγραφικό μήκος E). Στην παρούσα εργασία μελετάται η Ελληνική επικράτεια στα όρια $N_{34,5}^{42}$ και $E_{19}^{28,5}$.

Ο κατάλογος χωρίστηκε ανά δεκαετίες και μελετήθηκε για τιμές μεγεθών $M_{thres} \geq 3.2$ και $M_{thres} \geq 3.5$.

Πιο συγκεκριμένα χωρίστηκε στις παρακάτω «δεκαετίες»:

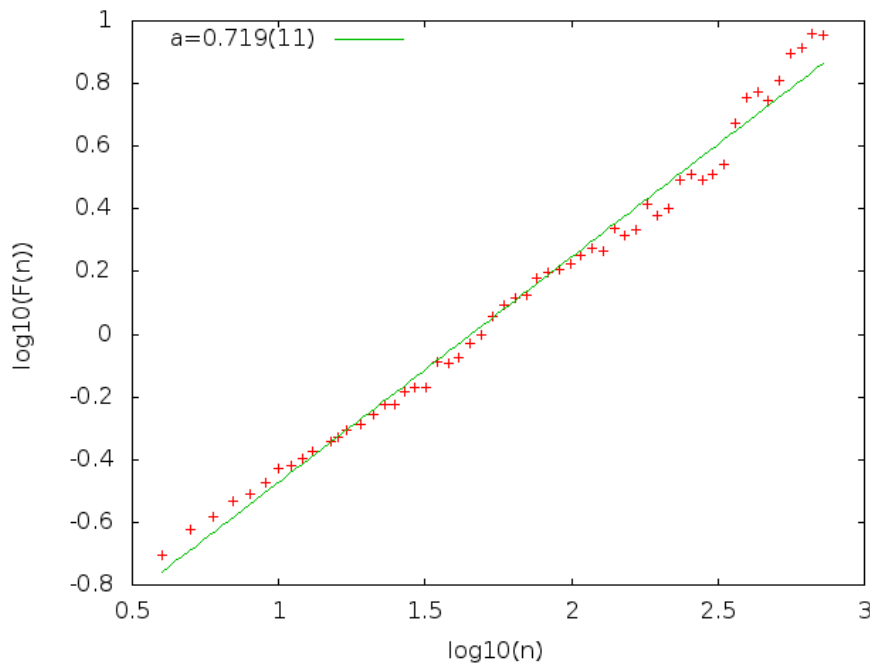
- 1964 – 1973
- 1974 – 1983
- 1984 – 1993
- 1994 – 2003
- 2004 – 2015

4.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 1964-1973

4.1.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$ (1964 – 1973)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ των σεισμών για τη δεκαετία 1964 - 1973 και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](http://www.gnuplot.info)" (<http://www.gnuplot.info>) σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:
 $y = 0.719(10) * x - 1.190(20)$.

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Σχ. 4.1.1.1)



Σχ. 4.1.1.1. DFA για $M \geq 3.2$, 1964 - 1973

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες, και παρατηρούνται διαφορετικά συστήματα κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

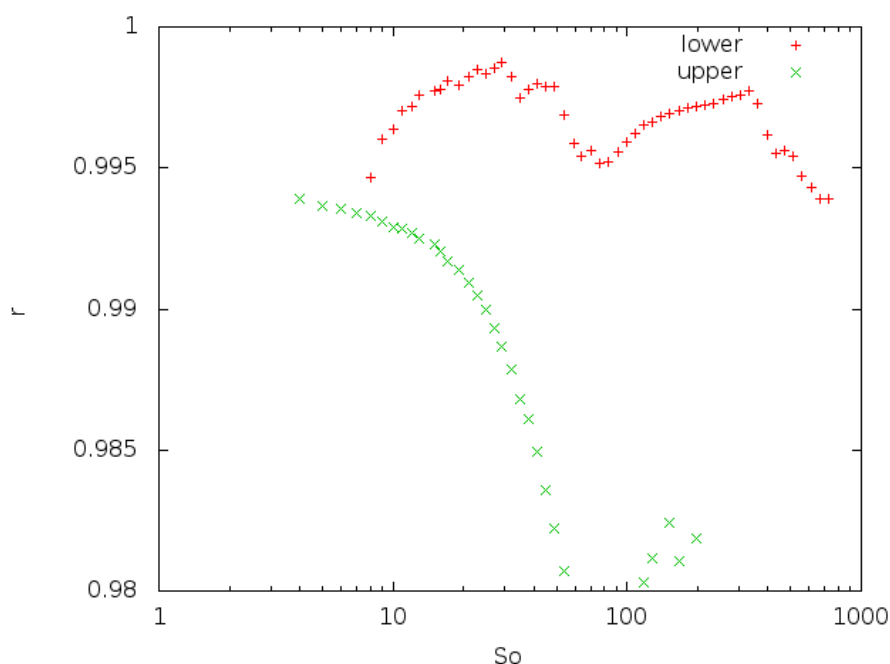
Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k=5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 56], στη συνέχεια για $k=6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

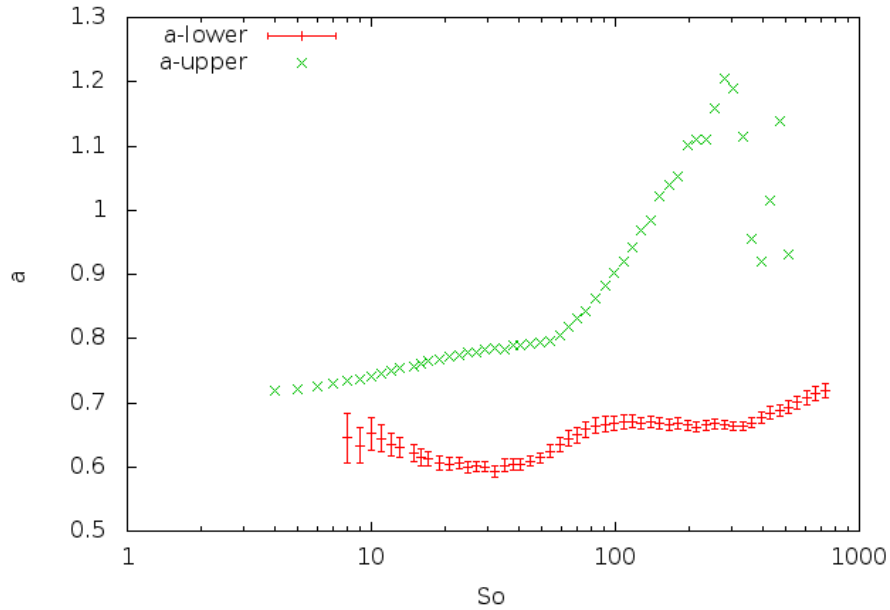
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα $S_o [4, 10^3]$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 4.1.1.2):



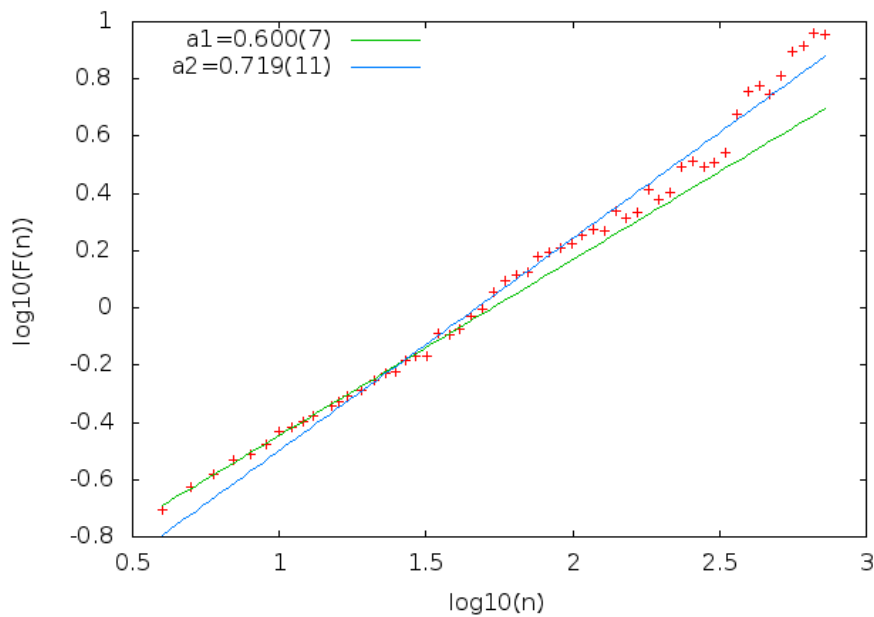
Σχ.4.1.1.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση των δεδομένων S_o για τιμές $M \geq 3.2$, 1964 - 1973

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4.1.1.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :



Σχ.4.1.1.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$, 1964 - 1973

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ για τη δεκαετία 1964 - 1973 βρέθηκε ότι είναι 1.2045099, στο $10^{1.2045099} = 16$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με την διαδικασία που ακολουθήσαμε στη παράγραφο 3.1. Με αυτή τη διαδικασία βρέθηκαν δύο ευθείες και το σημείο τομής των οποίων αντιστοιχεί στο crossover όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



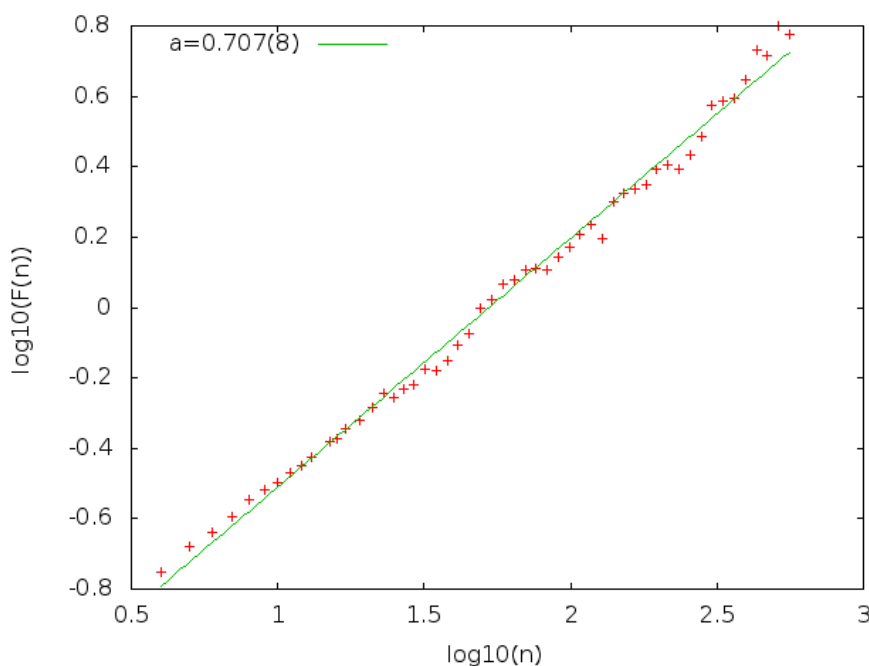
Σχ. 4.1.1.4: DFA για $M \geq 3.2$ με σημείο αλλαγής (crossover), 1964 - 1973

4.1.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$ (1964 – 1973)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ των σεισμών για τη δεκαετία 1964 - 1973 και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](#)" σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:

$$y = 0.707(2) * x - 1.217(15).$$

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Σχ. 4.1.2.1.)



Σχ. 4.1.2.1. DFA για $M \geq 3.5$, 1964 - 1973

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες, και παρατηρούνται διαφορετικά συστήματα κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

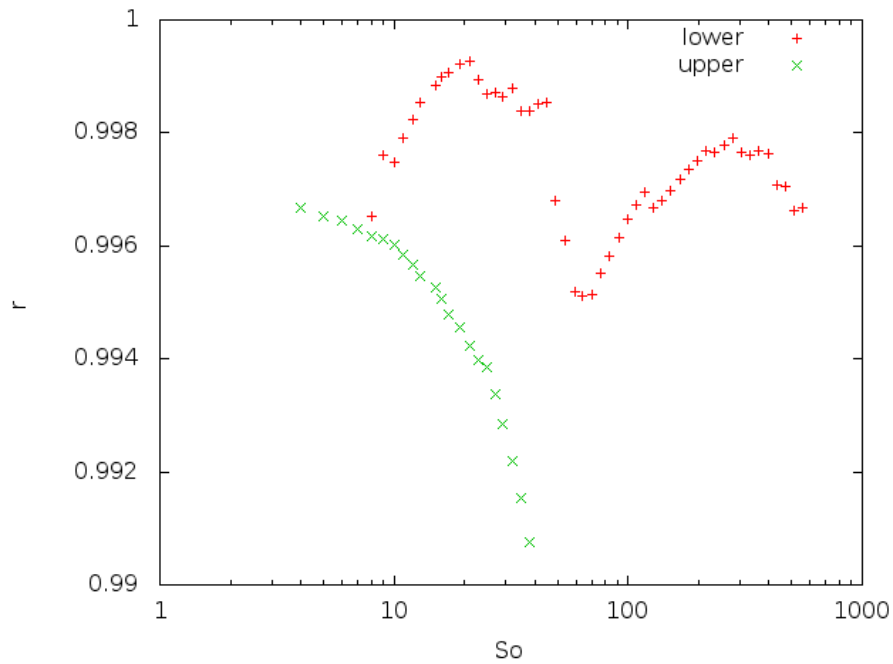
Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 53], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

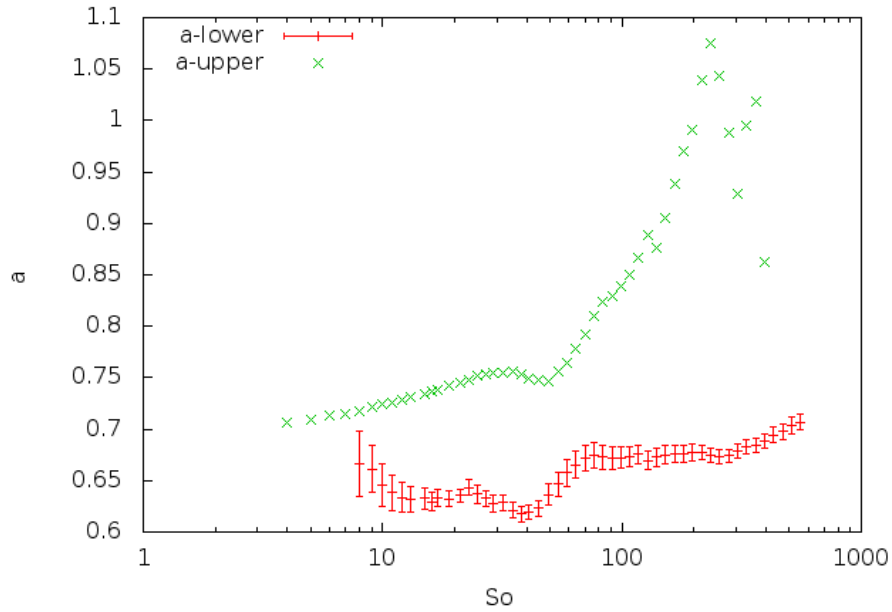
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα $S_o [4, 10^3]$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 4.1.2.2):



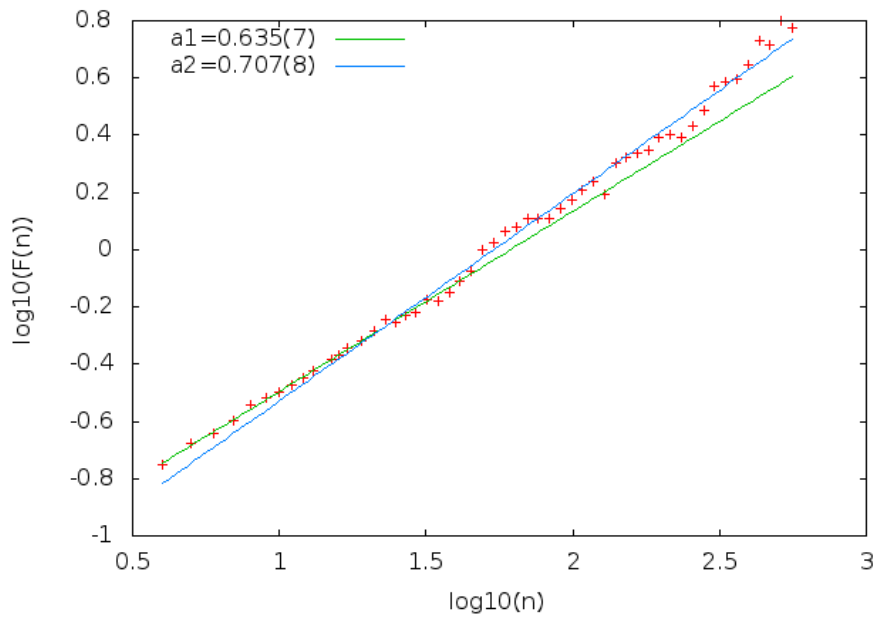
Σχ.4.1.2.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση των δεδομένων S_o για τιμές $M \geq 3.5$, 1964 - 1973

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4.1.2.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :



Σχ.4.1.2.3: Εκθέτης a της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$, 1964 - 1973

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ για τη δεκαετία 1964 - 1973 βρέθηκε ότι είναι 1.2089363, στο $10^{1.2089363} = 16$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με την διαδικασία που ακολουθήσαμε στη παράγραφο 3.1. Με αυτή τη διαδικασία βρέθηκαν δύο ευθείες και το σημείο τομής των οποίων αντιστοιχεί στο crossover όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 4.1.2.4: DFA για $M \geq 3.5$ με σημείο αλλαγής (crossover), 1964 – 1973

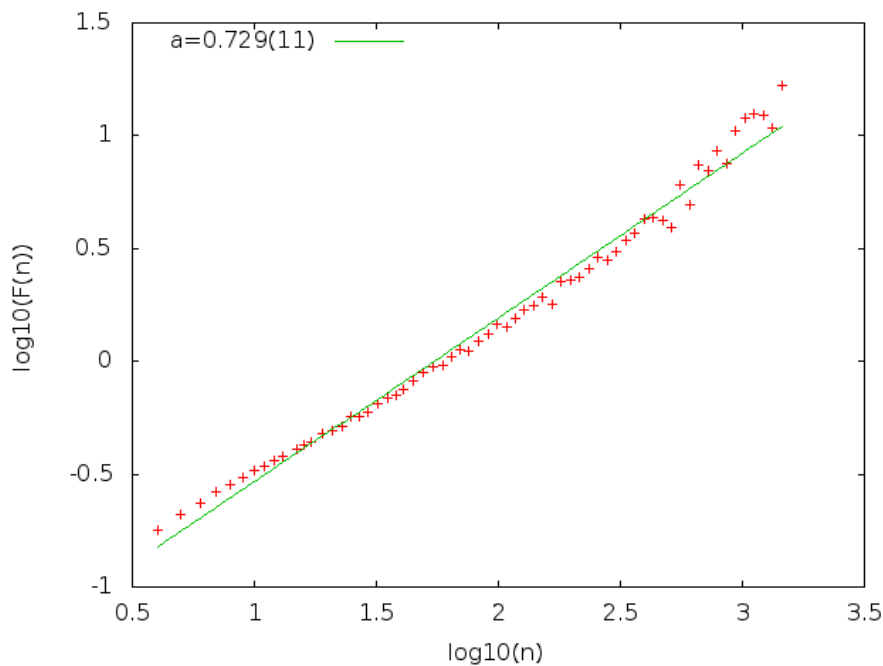
4.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 1974-1983

4.2.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$ (1974 – 1983)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ των σεισμών για τη δεκαετία 1974 - 1983 και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](#)" σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:

$$y = 0.729(10) \cdot x - 1.264(22).$$

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Σχ. 4.2.1.1.)



Σχ. 4.2.1.1. DFA για $M \geq 3.2$, 1974 - 1983

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες και παρατηρούνται διαφορετικά συστήματα κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

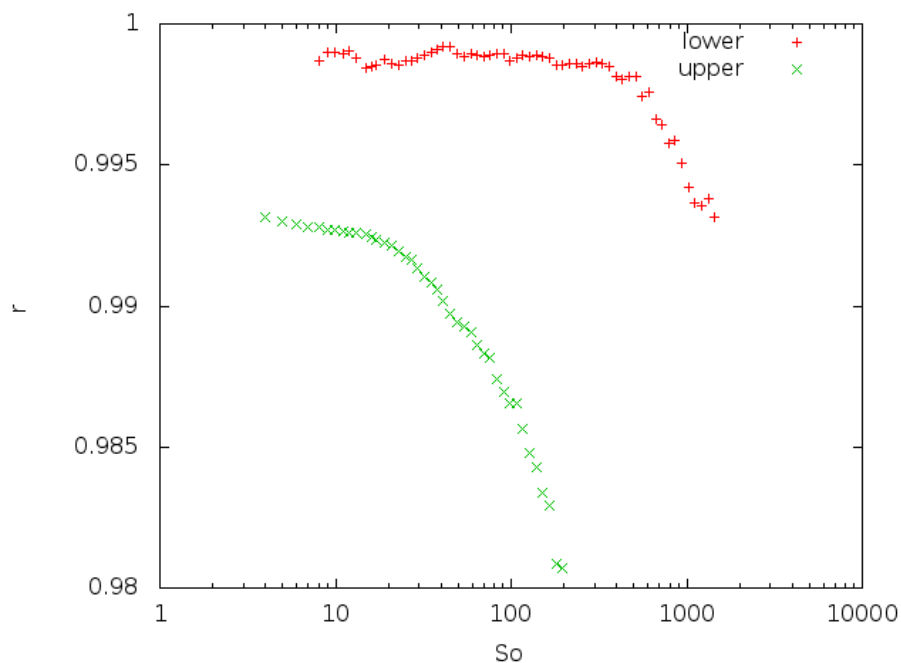
Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k=5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 64], στη συνέχεια για $k=6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

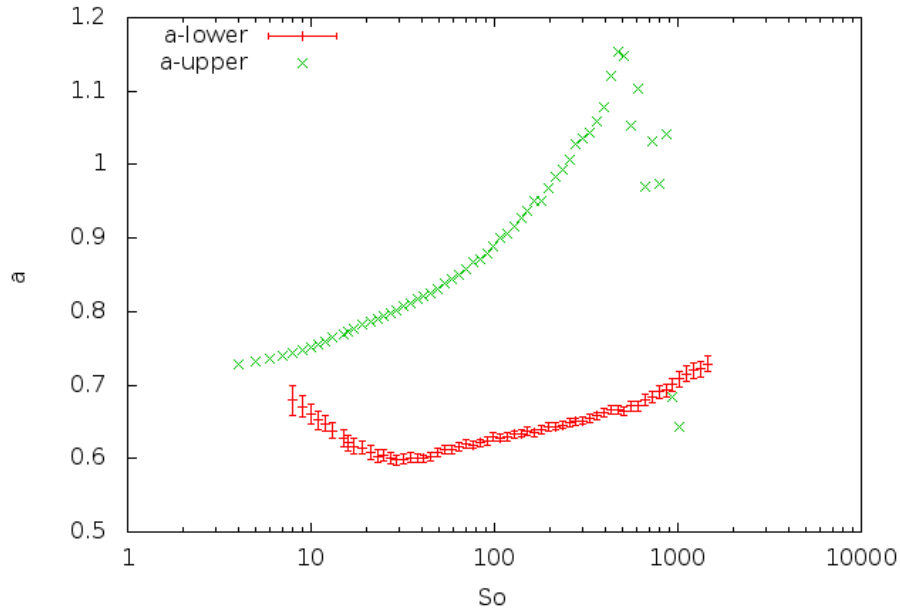
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα $S_0 [4, 10^3]$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_0 , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 4.2.1.2):



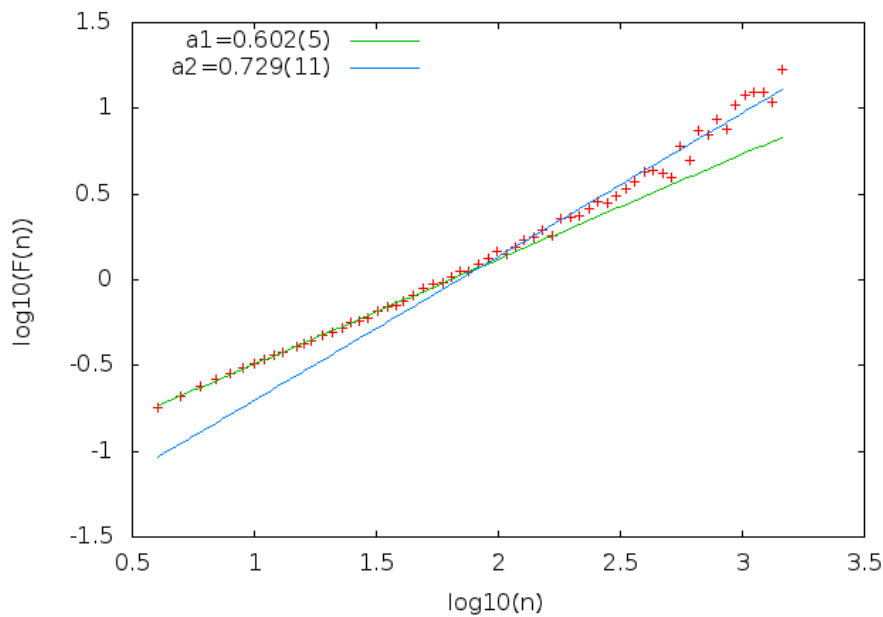
Σχ.4.2.1.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση των δεδομένων S_0 για τιμές $M \geq 3.2$, 1974 - 1983

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4.2.1.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 :



Σχ.4.2.1.3: Εκθέτης a της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$, 1974 - 1983

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ για τη δεκαετία 1974 – 1983 βρέθηκε ότι είναι 1.3345739, στο $10^{1.3345739} = 21$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με την διαδικασία που ακολουθήσαμε στη παράγραφο 3.1. Με αυτή τη διαδικασία βρέθηκαν δύο ευθείες και το σημείο τομής των οποίων αντιστοιχεί στο crossover όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



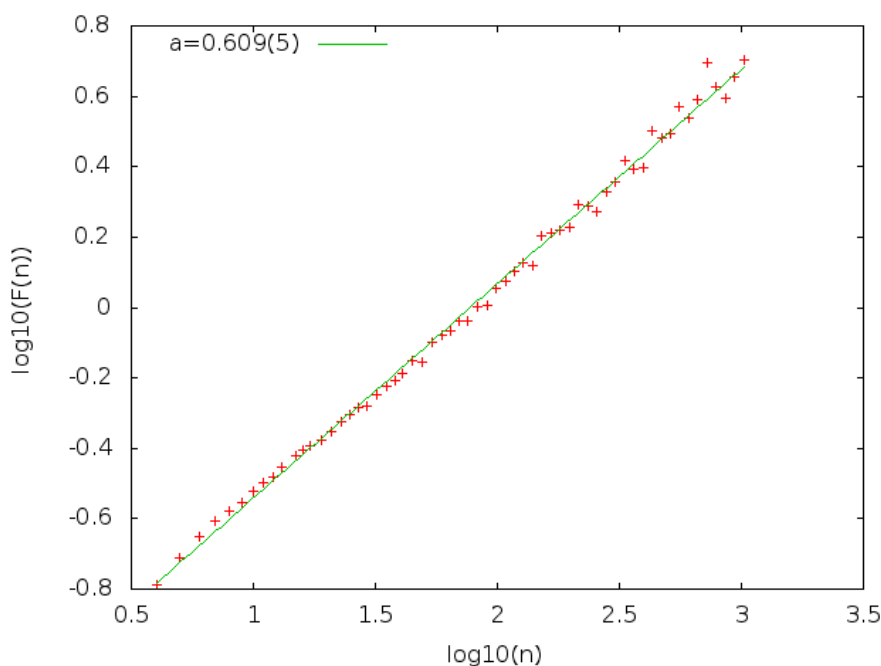
Σχ. 4.2.1.4: DFA για $M \geq 3.2$ με σημείο αλλαγής (crossover), 1974 - 1983

4.2.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$ (1974 – 1983)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ των σεισμών για τη δεκαετία 1974 - 1983 και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](#)" σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:

$$y = 0.609(4) * x - 1.151(9).$$

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Σχ. 4.2.2.1.)



Σχ. 4.2.2.1. DFA για $M \geq 3.5$, 1974 - 1983

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες, και παρατηρούνται διαφορετικά συστήματα κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

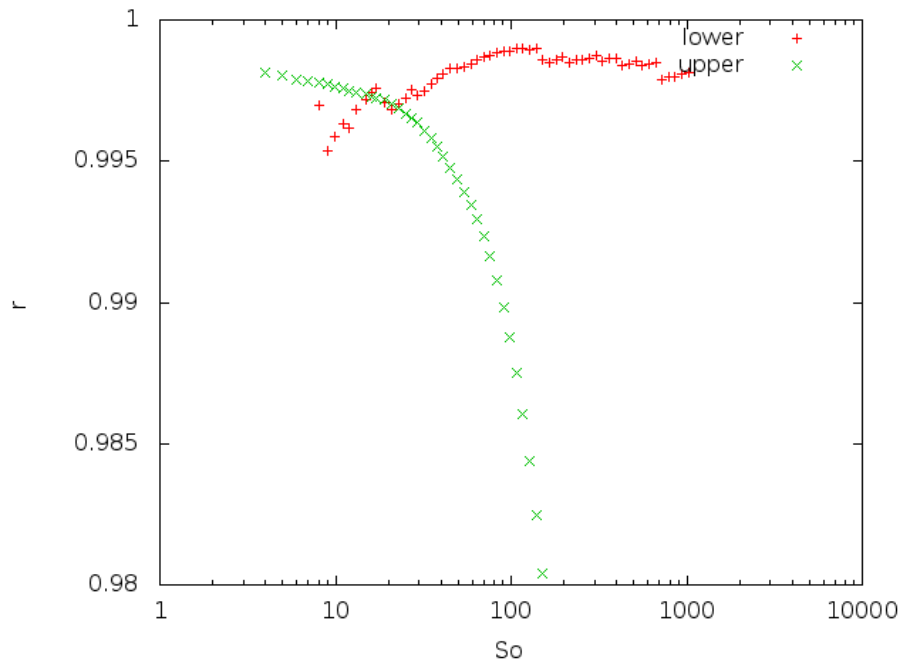
Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 60], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

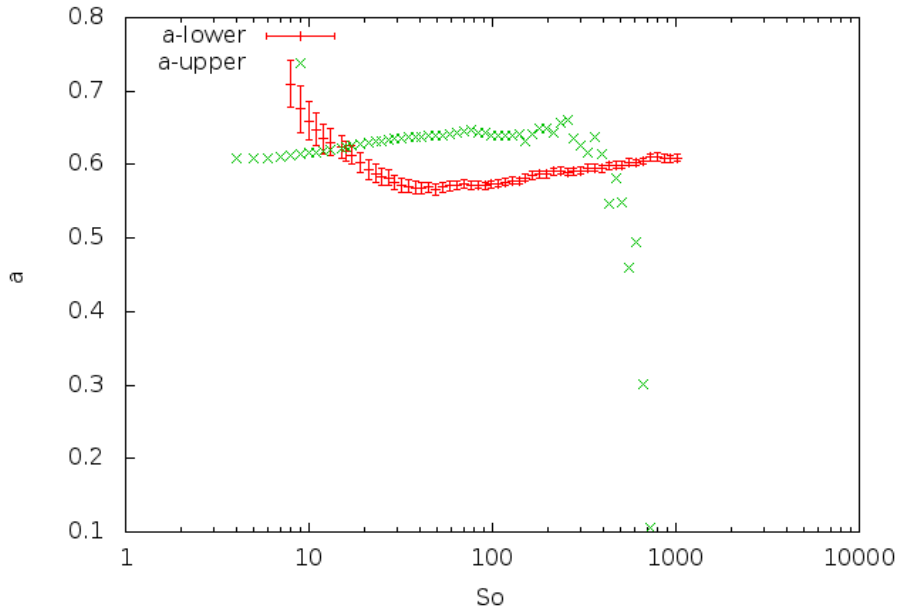
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα $S_o [4, 10^3]$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 4.2.2.2):



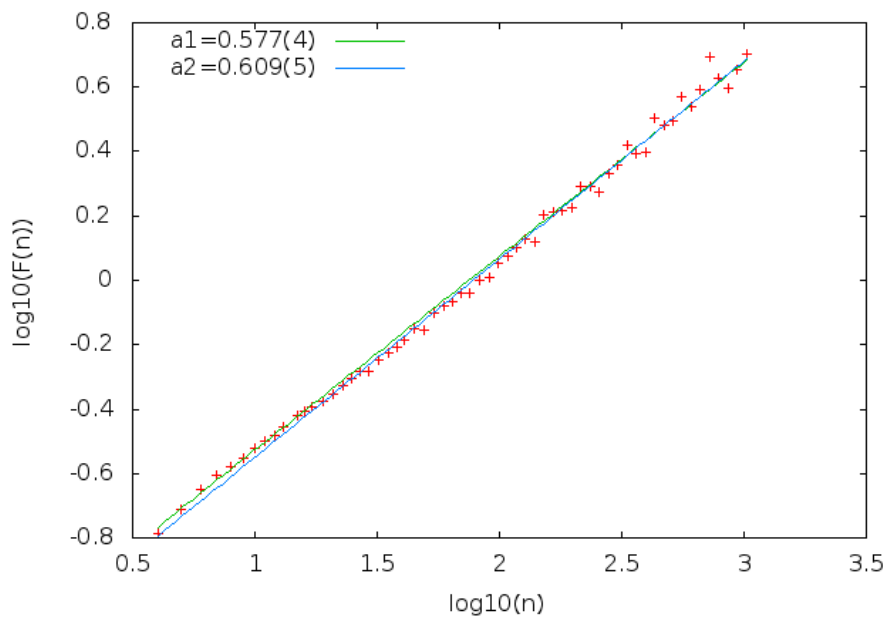
Σχ.4.2.2.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση των δεδομένων S_o για τιμές $M \geq 3.5$, 1974 - 1983

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4.2.2.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :



Σχ.4.2.2.3: Εκθέτης a της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$, 1974 - 1983

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ για τη δεκαετία 1974 - 1983 βρέθηκε ότι είναι 1.3179549, στο $10^{1.3179549} = 20$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με την διαδικασία που ακολουθήσαμε στη παράγραφο 3.1. Με αυτή τη διαδικασία βρέθηκαν δύο ευθείες και το σημείο τομής των οποίων αντιστοιχεί στο crossover όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 4.2.2.4: DFA για $M \geq 3.5$ με σημείο αλλαγής (crossover), 1974 - 1983

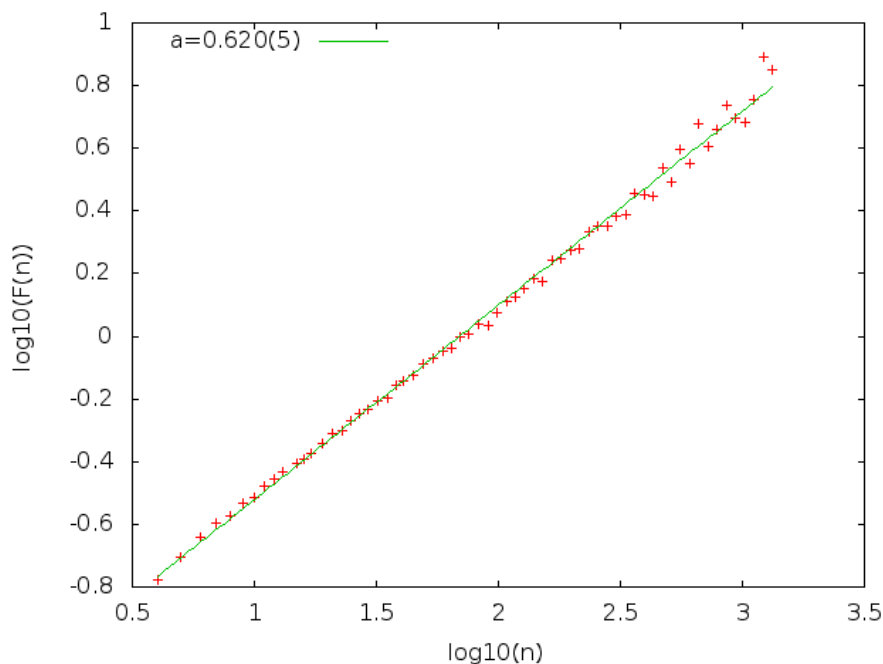
4.3 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 1984-1993

4.3.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$ (1984 – 1993)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ των σεισμών για τη δεκαετία 1984 - 1993 και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](#)" σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:

$$y = 0.620(4) * x - 1.141(10).$$

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Σχ. 4.3.1.1.)



Σχ. 4.3.1.1. DFA για $M \geq 3.2$, 1984 - 1993

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες, και παρατηρούνται διαφορετικά συστήματα κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

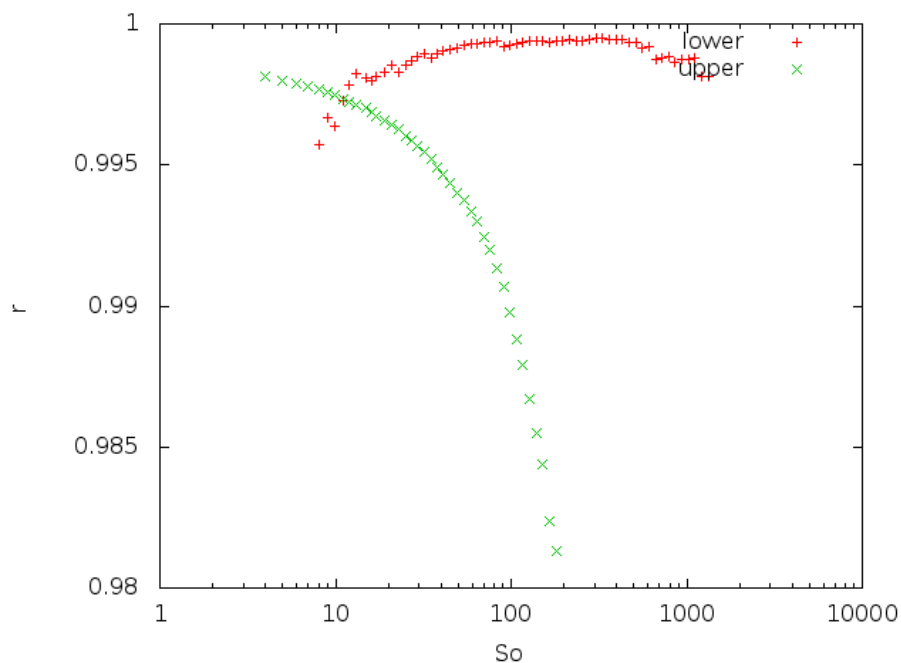
Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k=5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 65], στη συνέχεια για $k=6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

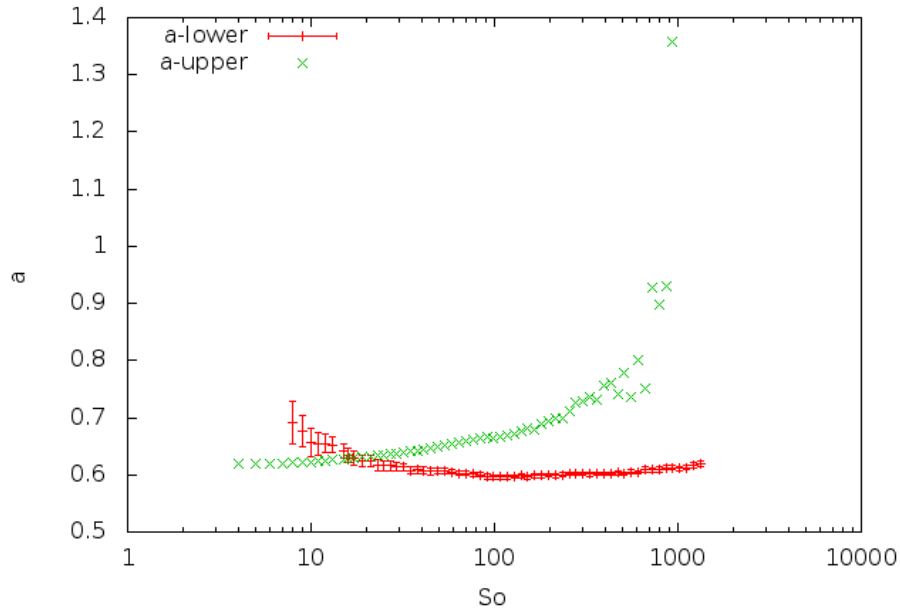
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα $S_o [4, 10^3]$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 4.3.1.2):



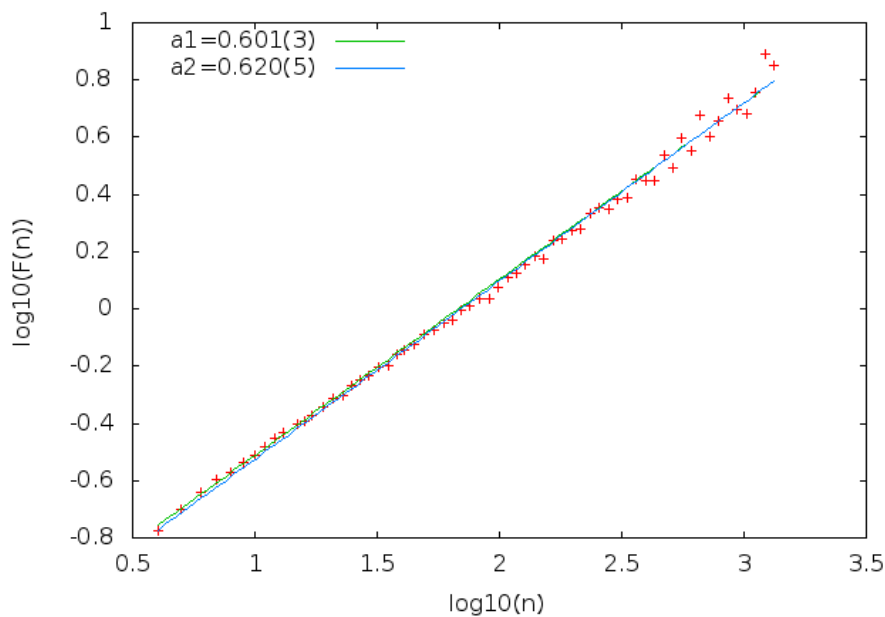
Σχ.4.3.1.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση των δεδομένων S_o για τιμές $M \geq 3.2$, 1984 - 1993

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4.3.1.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :



Σχ.4.3.1.3: Εκθέτης a της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$, 1984 - 1993

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ για τη δεκαετία 1984 – 1993 βρέθηκε ότι είναι 1.4591675, στο $10^{1.4591675} = 28$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με την διαδικασία που ακολουθήσαμε στη παράγραφο 3.1. Με αυτή τη διαδικασία βρέθηκαν δύο ευθείες και το σημείο τομής των οποίων αντιστοιχεί στο crossover όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



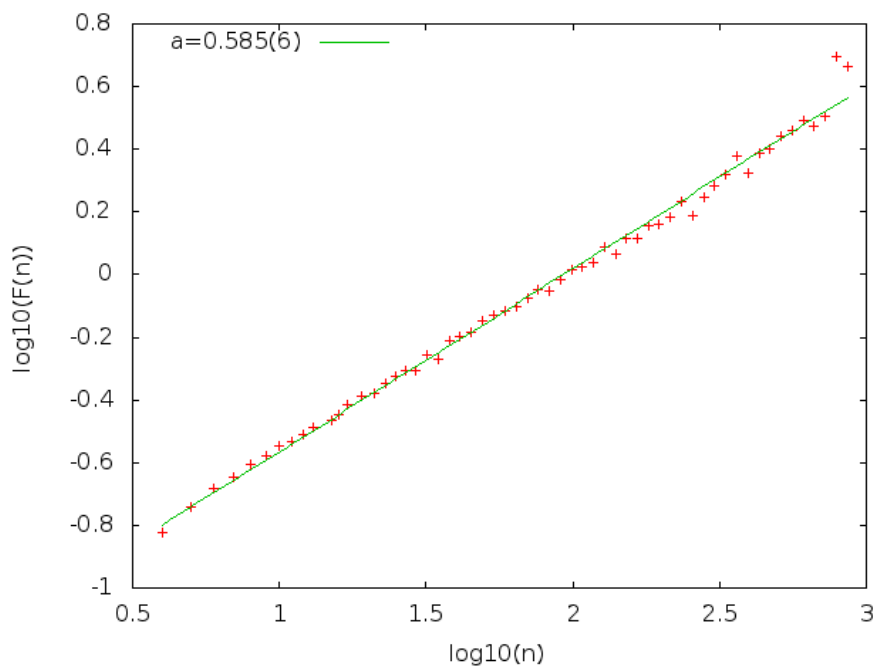
Σχ. 4.3.1.4: DFA για $M \geq 3.2$ με σημείο αλλαγής (crossover), 1984 - 1993

4.3.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$ (1984 – 1993)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ των σεισμών για τη δεκαετία 1984 - 1993 και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](#)" σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:

$$y = 0.585(6) \cdot x - 1.150(12).$$

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Σχ. 4.3.2.1.)



Σχ. 4.3.2.1. DFA για $M \geq 3.5$, 1984 - 1993

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες, και παρατηρούνται διαφορετικά συστήματα κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

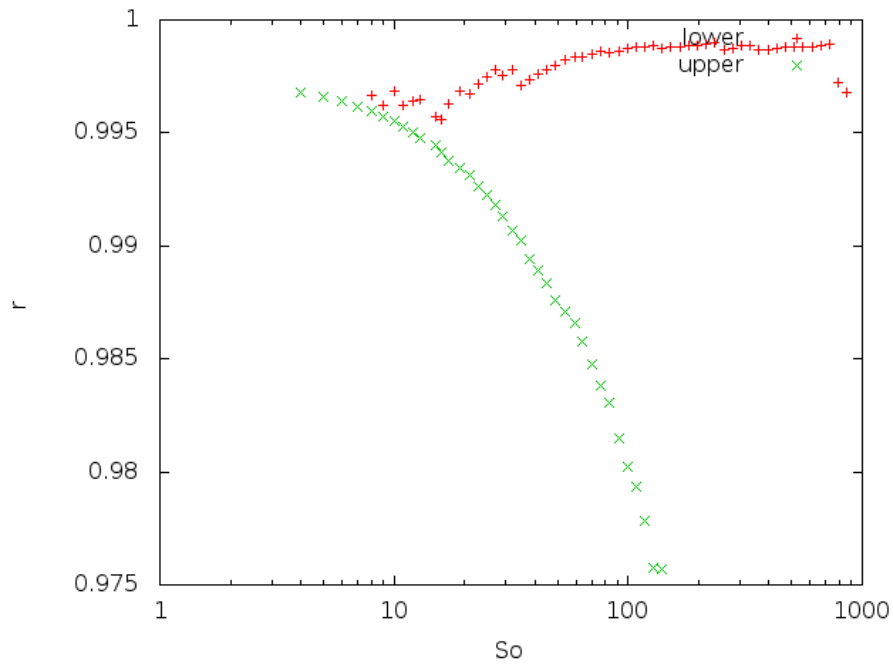
Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 58], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

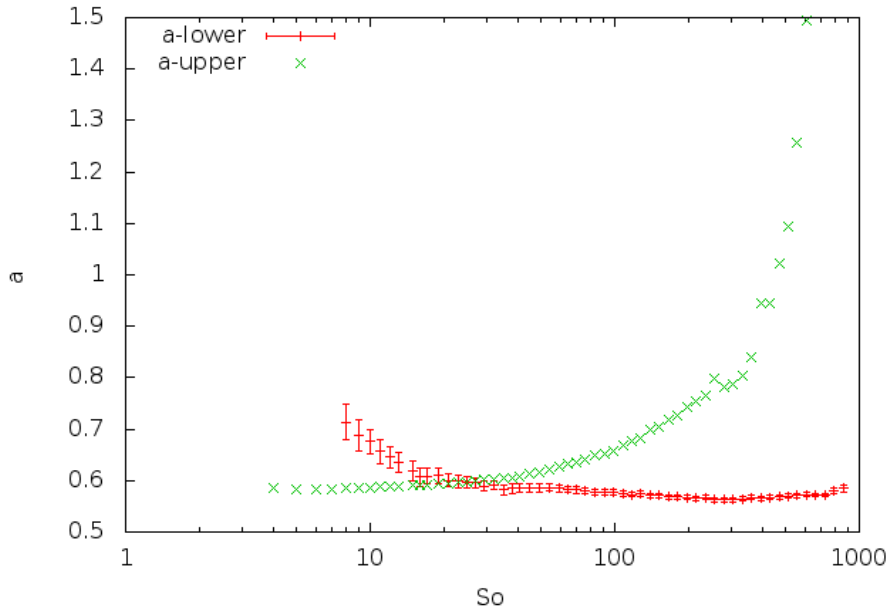
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα $S_o [4, 10^3]$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 4.3.2.2):



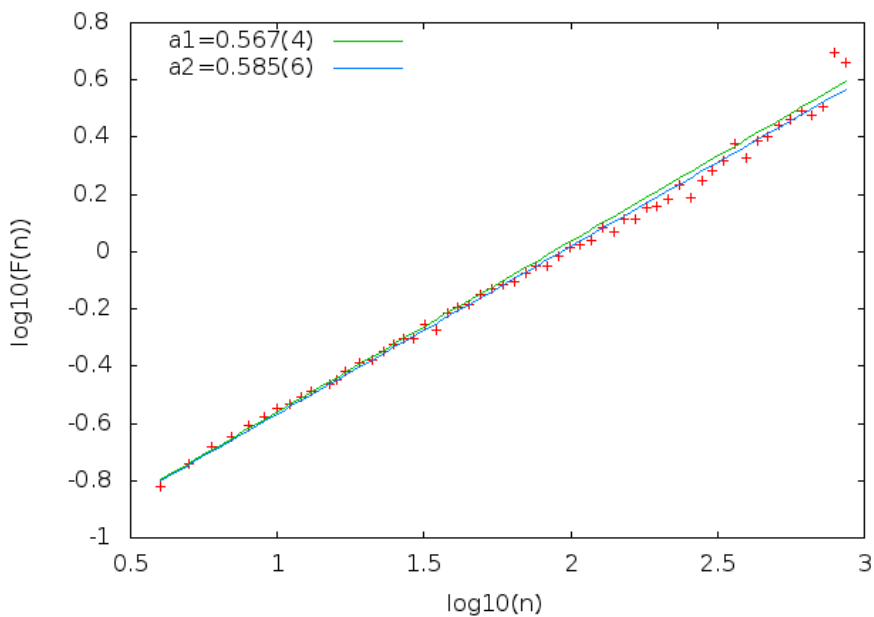
Σχ.4.3.2.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση των δεδομένων S_o για τιμές $M \geq 3.5$, 1984 - 1993

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4.3.2.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :



Σχ.4.3.2.3: Εκθέτης a της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$, 1984 - 1993

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ για τη δεκαετία 1984 - 1993 βρέθηκε ότι είναι 1.4505157. Στο $\log_{10}(S) = 10^{1.4505157} = 28$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με την διαδικασία που ακολουθήσαμε στη παράγραφο 3.1. Με αυτή τη διαδικασία βρέθηκαν δύο ευθείες και το σημείο τομής των οποίων αντιστοιχεί στο crossover όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 4.3.2.4: DFA για $M \geq 3.5$ με σημείο αλλαγής (crossover), 1984 - 1993

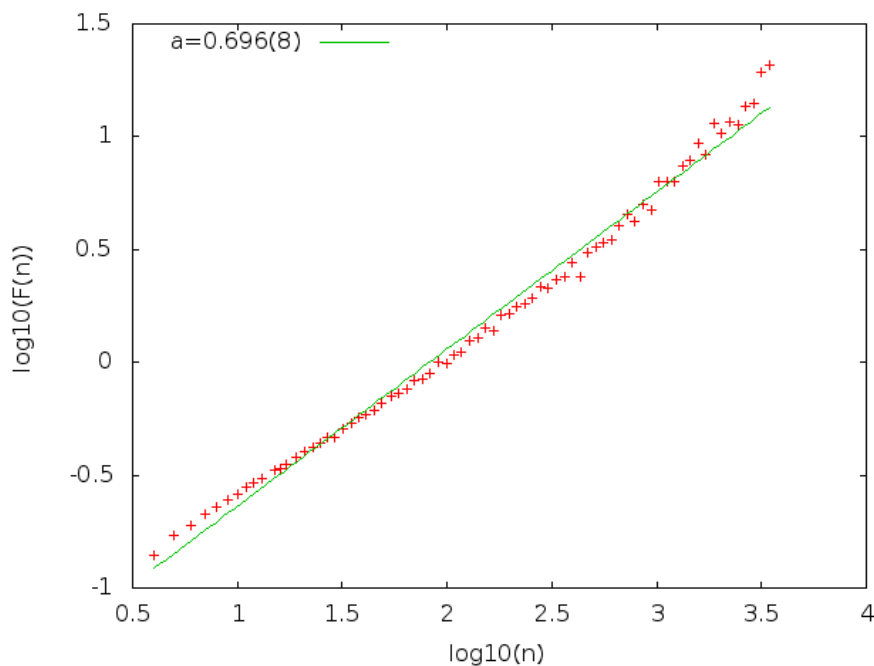
4.4 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 1994-2003

4.4.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$ (1994 – 2003)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ των σεισμών για τη δεκαετία 1994 - 2003 και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](#)" σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:

$$y = 0.696(8) * x - 1.134(19).$$

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Σχ. 4.4.1.1.)



Σχ. 4.4.1.1. DFA για $M \geq 3.2$, 1994 - 2003

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες, και παρατηρούνται διαφορετικά συστήματα κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

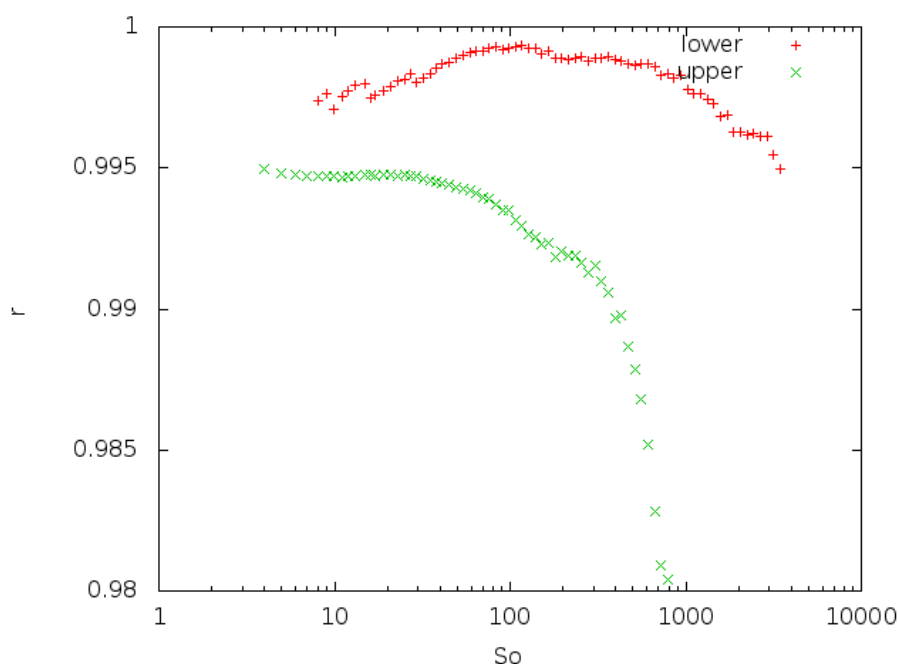
Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k=5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 74], στη συνέχεια για $k=6$ κ.ο.κ. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

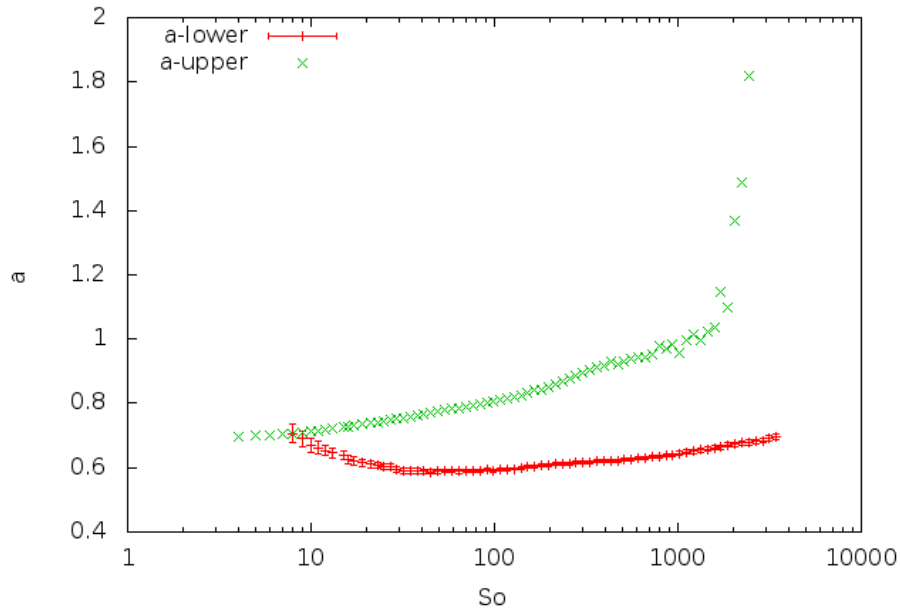
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_0 [4, 10^4] που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_0 , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 4.4.1.2):



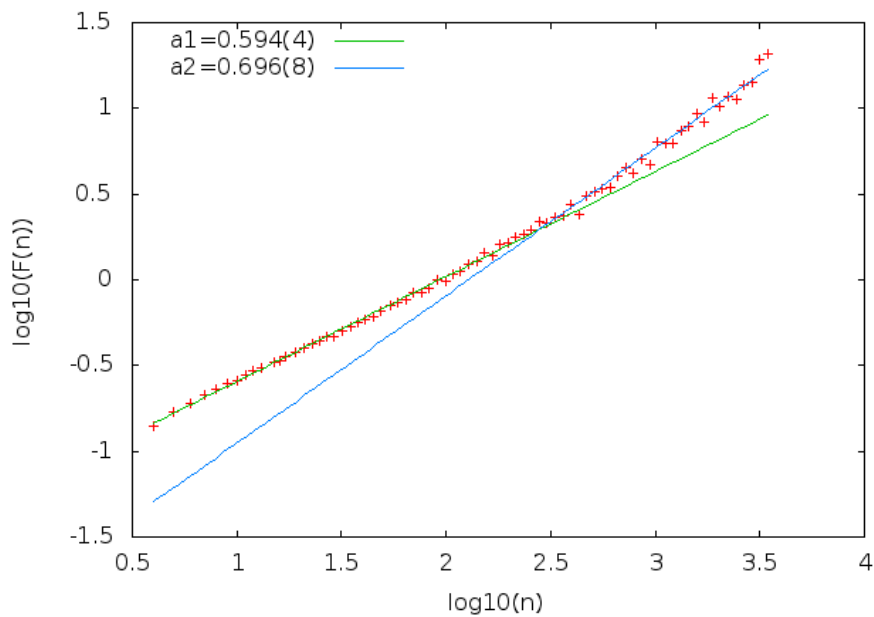
Σχ.4.4.1.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση των δεδομένων S_0 για τιμές $M \geq 3.2$, 1994 - 2003

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4.4.1.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_0 :



Σχ.4.4.1.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$, 1994 - 2003

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ για τη δεκαετία 1994 – 2003 βρέθηκε ότι είναι 1.4680219, στο $10^{1.4680219} = 29$ σεισμοί. ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με την διαδικασία που ακολουθήσαμε στη παράγραφο 3.1. Με αυτή τη διαδικασία βρέθηκαν δύο ευθείες και το σημείο τομής των οποίων αντιστοιχεί στο crossover όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



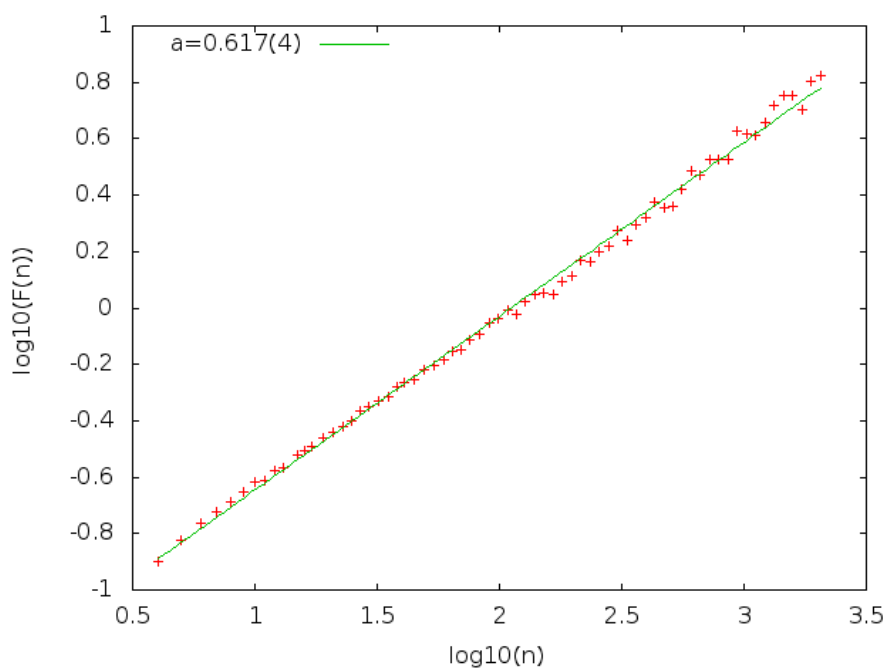
Σχ. 4.4.1.4: DFA για $M \geq 3.2$ με σημείο αλλαγής (crossover), 1994 - 2003

4.4.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$ (1994 – 2003)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ των σεισμών για τη δεκαετία 1994 - 2003 και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](#)" σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:

$$y = 0.617(4) \cdot x - 1.263(9).$$

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Σχ. 4.4.2.1.)



Σχ. 4.4.2.1. DFA για $M \geq 3.5$, 1994 - 2003

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες, και παρατηρούνται διαφορετικά συστήματα κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

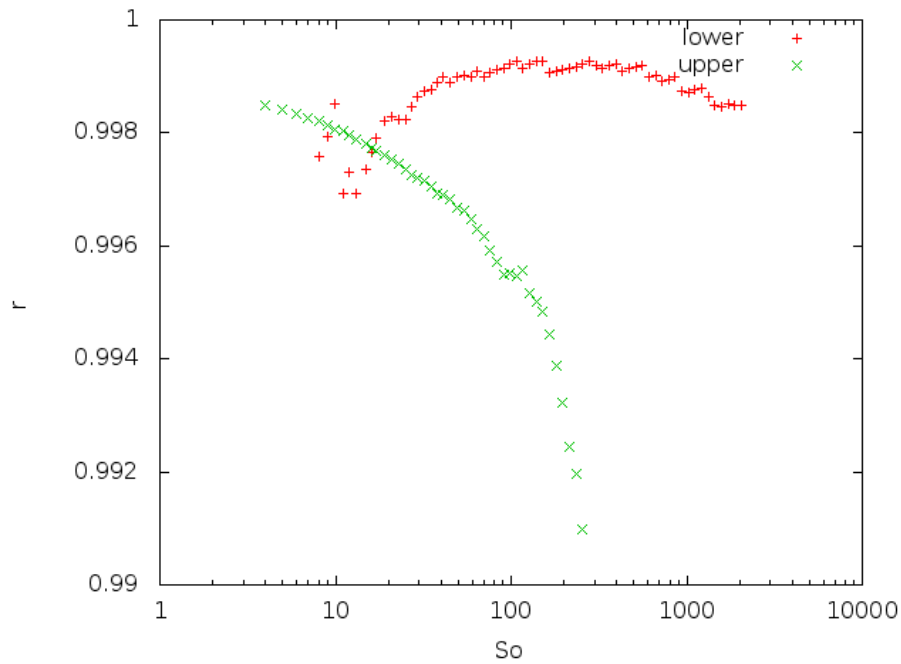
Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k = 5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 68], στη συνέχεια για $k = 6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

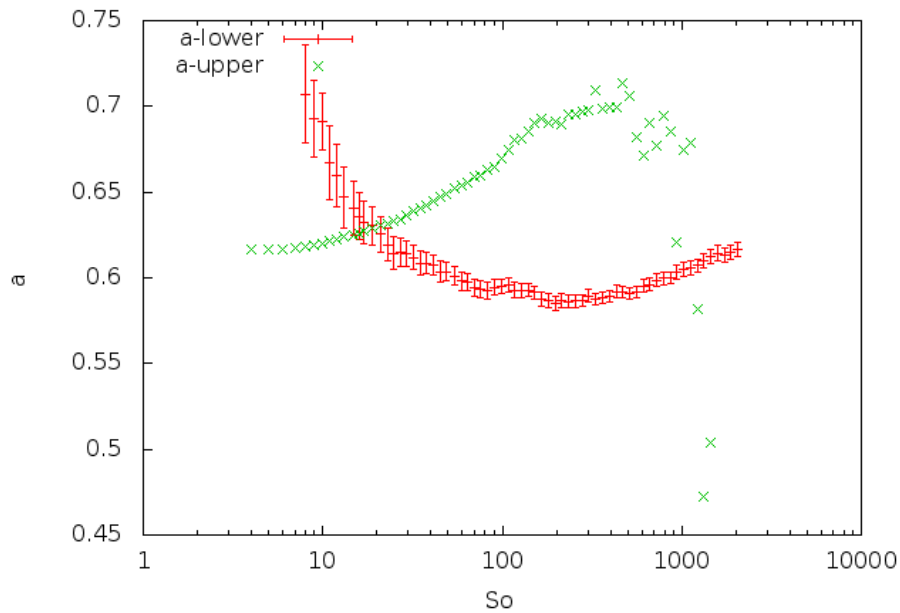
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_o $[4, 10^4]$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 4.4.2.2):



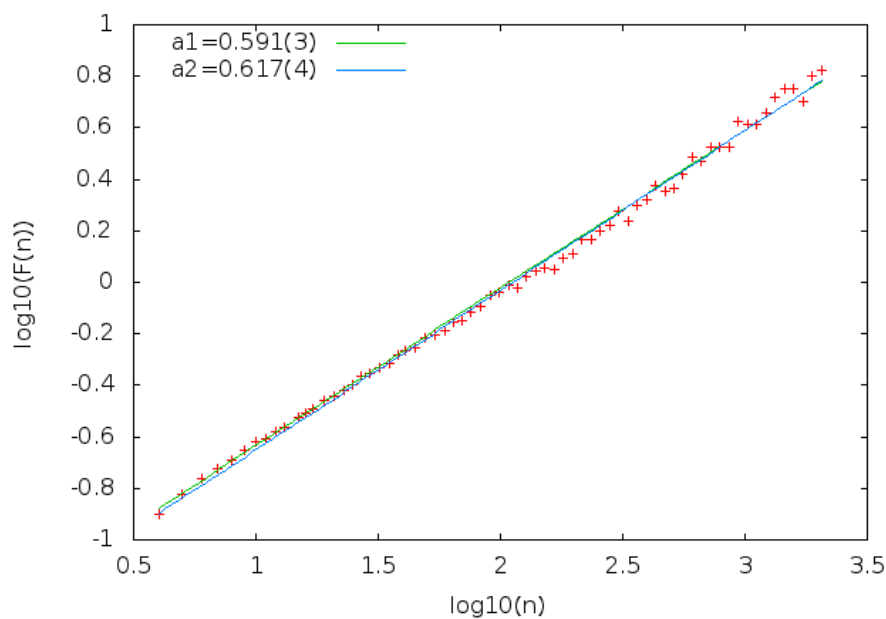
Σχ.4.4.2.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση των δεδομένων S_o για τιμές $M \geq 3.5$, 1994 - 2003

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4.4.2.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη a της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :



Σχ.4.4.2.3: Εκθέτης a της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$, 1994 - 2003

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ για τη δεκαετία 1994 - 2003 βρέθηκε ότι είναι 1.5180049, στο $10^{1.5180049} = 32$ σεισμοί. ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με την διαδικασία που ακολουθήσαμε στη παράγραφο 3.1. Με αυτή τη διαδικασία βρέθηκαν δύο ευθείες και το σημείο τομής των οποίων αντιστοιχεί στο crossover όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 4.4.2.4: DFA για $M \geq 3.5$ με σημείο αλλαγής (crossover), 1994 - 2003

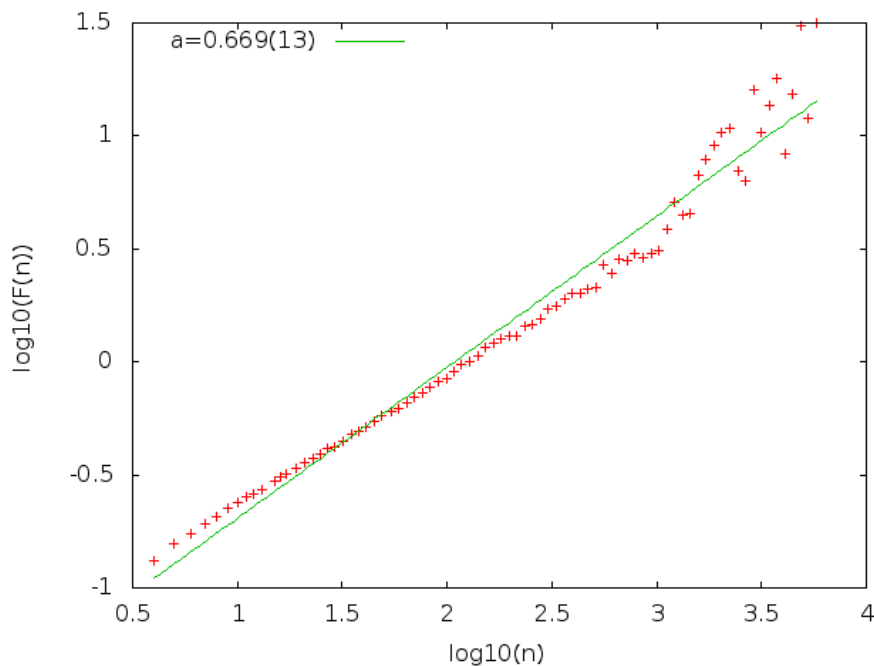
4.5 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2004-2015

4.5.1 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.2$ (2004 – 2015)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ των σεισμών για τη δεκαετία 2004 - 2015 και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](#)" σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:

$$y = 0.669(13) * x - 1.361(31).$$

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Σχ. 4.5.1.1.)



Σχ. 4.5.1.1. DFA για $M \geq 3.2$, 2004 – 2015

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες, και παρατηρούνται διαφορετικά συστήματα κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

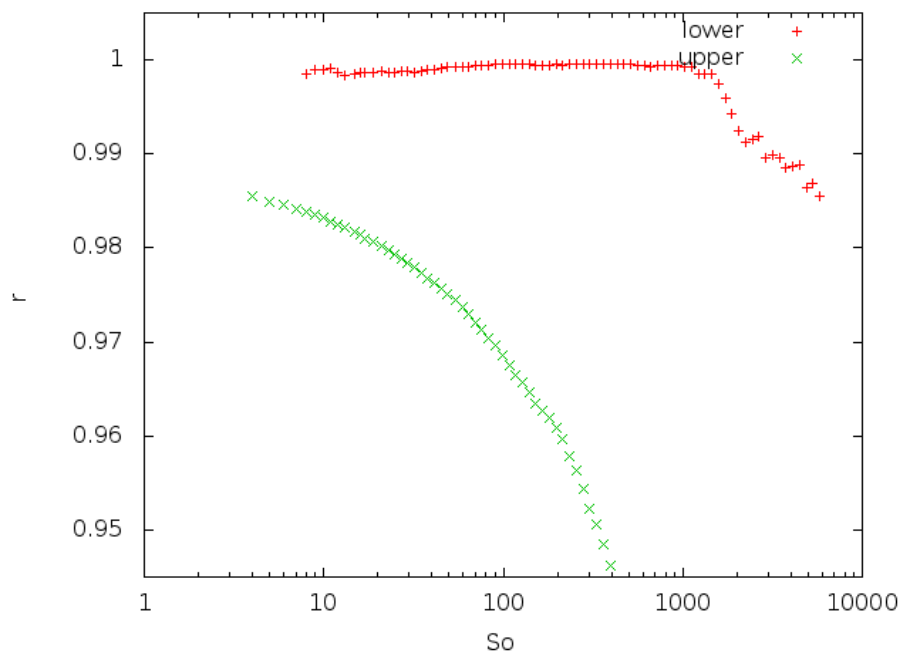
Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k=5$, όπου k ο αριθμός σημείων $[5, 80]$, στη συνέχεια για $k=6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

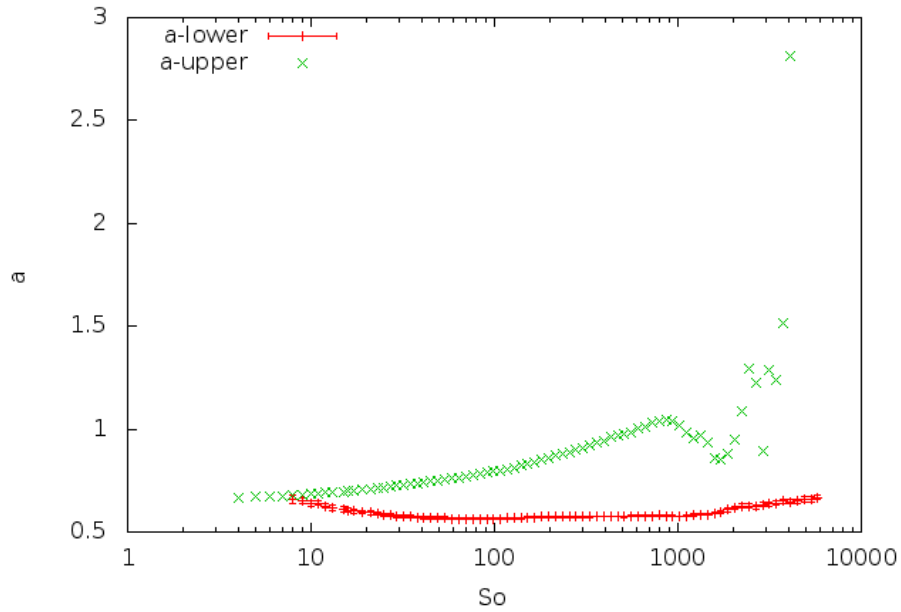
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα S_o $[4, 10^4]$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 4.5.1.2):



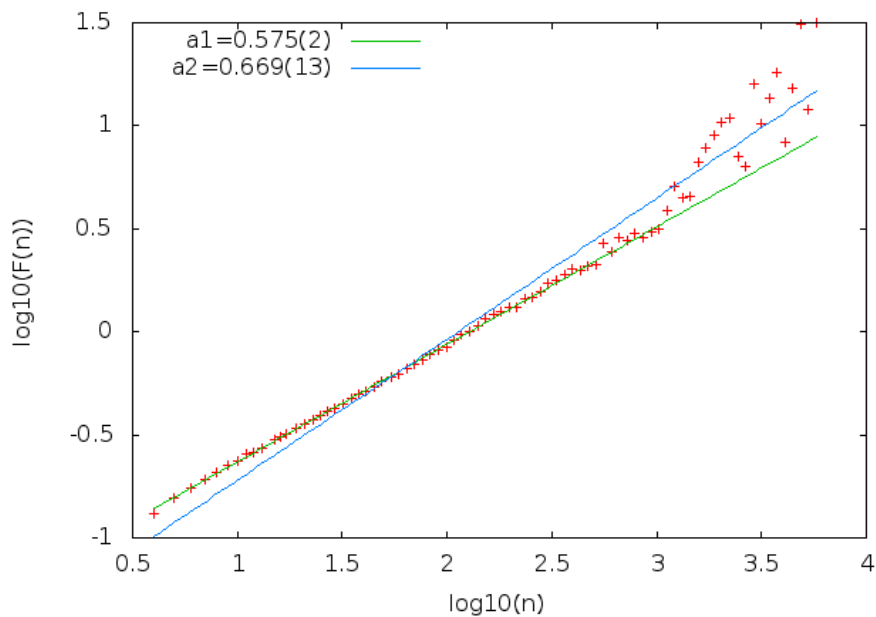
Σχ. 4.5.1.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση των δεδομένων S_o για τιμές $M \geq 3.2$, 2004 - 2015

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4.5.1.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :



Σχ. 4.5.1.3: Εκθέτης a της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$, 2004 - 2015

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.2$ για τη δεκαετία 2004 - 2015 βρέθηκε ότι είναι 1.6278558, στο $10^{1.6278558} = 42$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με την διαδικασία που ακολουθήσαμε στη παράγραφο 3.1. Με αυτή τη διαδικασία βρέθηκαν δύο ευθείες και το σημείο τομής των οποίων αντιστοιχεί στο crossover όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



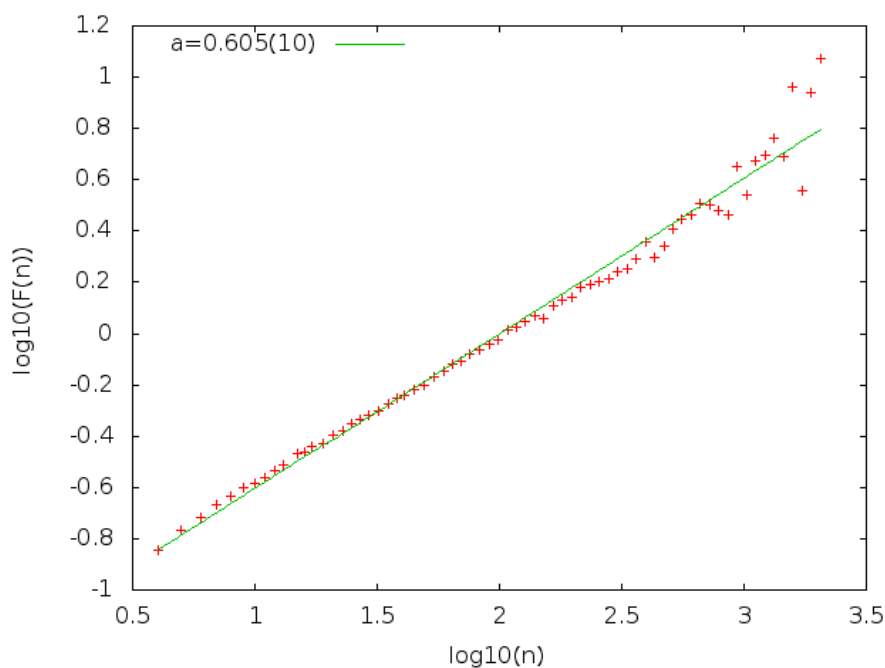
Σχ. 4.5.1.4: DFA για $M \geq 3.2$ με σημείο αλλαγής (crossover), 2004 - 2015

4.5.2 ΜΕΛΕΤΗ CROSSOVER ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M \geq 3.5$ (2004 – 2015)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος DFA στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ των σεισμών για τη δεκαετία 2004 - 2015 και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "[gnuplot](#)" σχεδιάστηκε η ευθεία που σχηματίστηκε από τα δεδομένα της DFA. Κατόπιν υπολογίστηκε η κλίση του διαγράμματος. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε ήταν η εξής:

$$y = 0.605(10) * x - 1.210(22)$$

Το διάγραμμα και η κλίση του διαγράμματος φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Σχ. 4.5.2.1.)



Σχ. 4.5.2.1. DFA για $M \geq 3.5$, 2004 - 2015

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι συσχετίσεις των δεδομένων δεν ακολουθούν τον ίδιο νόμο κλίμακας για όλες τις εξεταζόμενες κλίμακες, και παρατηρούνται διαφορετικά συστήματα κλιμάκωσης με μία ή περισσότερες κλίμακες crossover.

Δηλαδή παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά σε μικρές κλίμακες και διαφορετική συμπεριφορά σε μεγάλες κλίμακες.

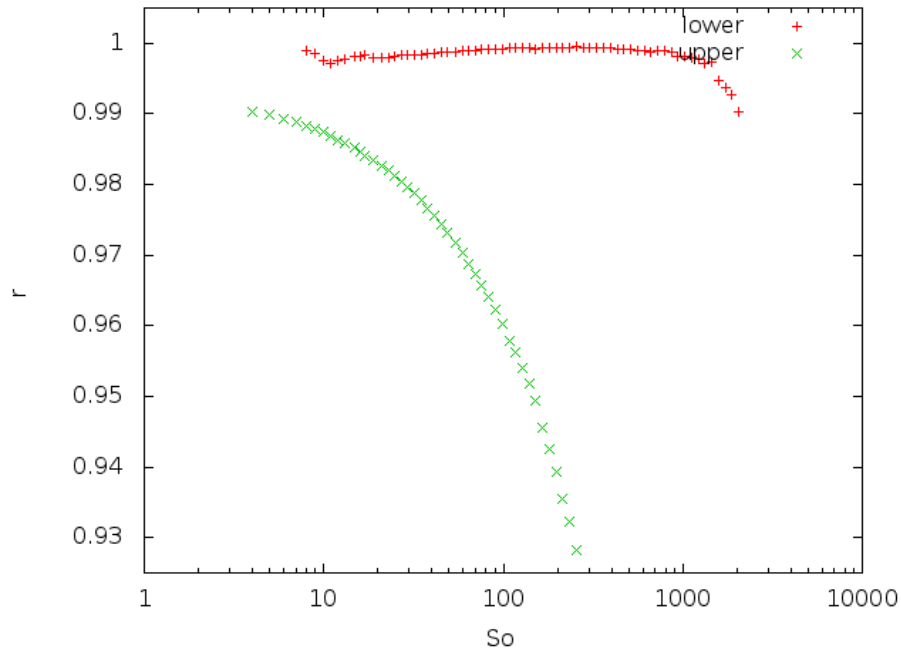
Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του «σημείου αλλαγής» (crossover).

Αρχικά μελετήθηκαν τα δεδομένα της DFA σε μικρές κλίμακες.

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η συμπεριφορά των δεδομένων ξεκινώντας για $k=5$, όπου k ο αριθμός σημείων [5, 68], στη συνέχεια για $k=6$ κ.ο.κ.. Όμοια ακολουθήθηκε η μελέτη δεδομένων σε μεγάλες κλίμακες.

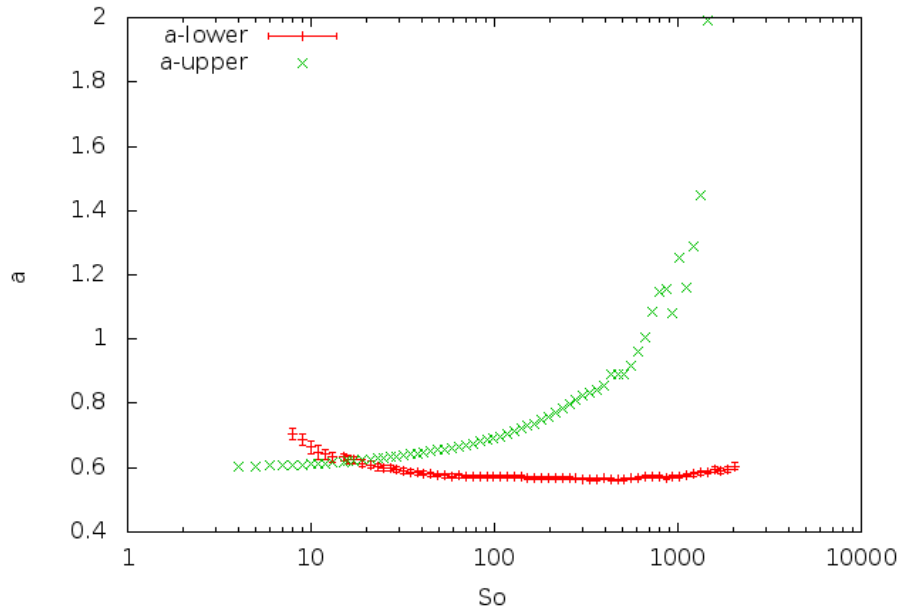
Για τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης και φτιάχτηκε ένας πίνακας με τον αριθμό σημείων k , τον συντελεστή συσχέτισης r και την κλίμακα $S_o [4, 10^4]$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του n όταν κάνουμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA και στην ελάχιστη τιμή του n όταν επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για το ανώτερο (upper) τμήμα της DFA.

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά την συμπεριφορά του συντελεστή συσχέτισης r με την κλίμακα δεδομένων S_o , το οποίο φαίνεται παρακάτω (Σχ. 4.5.2.2):



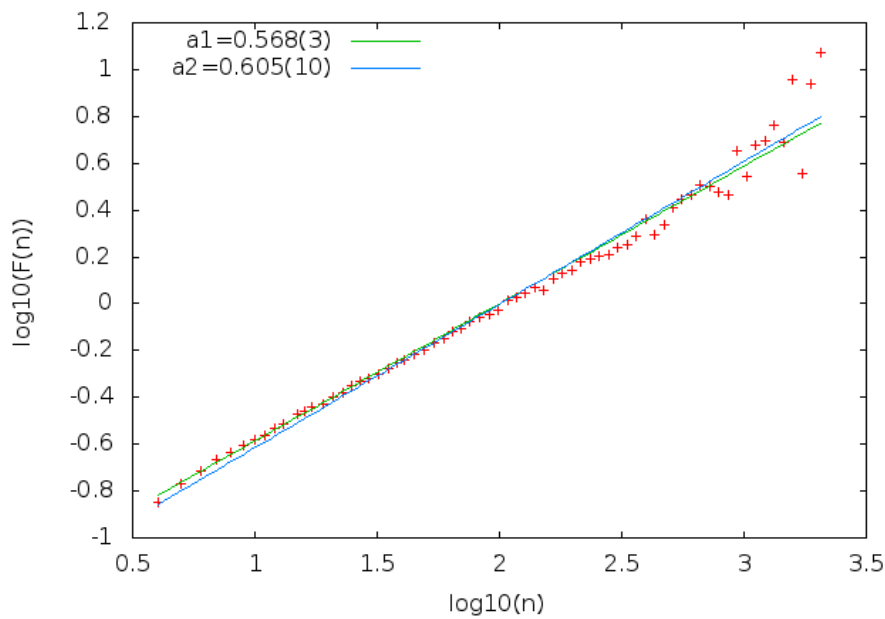
Σχ.4.5.2.2: Διάγραμμα συντελεστή συσχέτισης r σαν συνάρτηση των δεδομένων S_o για τιμές $M \geq 3.5$, 2004 - 2015

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4.5.2.3) εμφανίζεται η συμπεριφορά του εκθέτη α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o :



Σχ.4.5.2.3: Εκθέτης α της DFA σαν συνάρτηση της κλίμακας S_o στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$, 2004 - 2015

Το σημείο αλλαγής (crossover) στα δεδομένα του μεγέθους $M \geq 3.5$ για τη δεκαετία 2004 – 2015 βρέθηκε ότι είναι 1.5536945, στο $10^{1.5536945} = 35$ σεισμοί ($S \equiv$ σεισμοί). Η εύρεση του crossover έγινε με την διαδικασία που ακολουθήσαμε στη παράγραφο 3.1. Με αυτή τη διαδικασία βρέθηκαν δύο ευθείες και το σημείο τομής των οποίων αντιστοιχεί στο crossover όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 4.5.2.4: DFA για $M \geq 3.5$ με σημείο αλλαγής (crossover), 2004 - 2015

4.6 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στους παρακάτω πίνακες συνοψίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του crossover σαν συνάρτηση του χρόνου για μέγεθος κατωφλίου 3.2 και 3.5 αντίστοιχα.

«δεκαετία»	α	α (lower)	α (upper)	Σεισμοί S
1964 - 1973	0.719(11)	0.600(7)	0.719(11)	16
1974 - 1983	0.729(11)	0.602(11)	0.729(11)	21
1984 - 1993	0.620(5)	0.601(3)	0.620(5)	28
1994 - 2003	0.696(8)	0.594(4)	0.696(8)	29
2004 - 2015	0.669(13)	0.575(2)	0.669(13)	42

Πίνακας 4.1: Οι τιμές των α , α (lower), α (upper) και ο αριθμός των σεισμών που αντιστοιχεί στο crossover που προσδιορίστηκε για $M \geq 3.2$

«δεκαετία»	α	α (lower)	α (upper)	Σεισμοί S
1964 - 1973	0.707(8)	0.635(7)	0.707(8)	16
1974 - 1983	0.609(5)	0.577(4)	0.609(5)	20
1984 - 1993	0.585(6)	0.567(4)	0.585(6)	28
1994 - 2003	0.617(4)	0.591(3)	0.617(4)	32
2004 - 2015	0.605(10)	0.568(3)	0.605(10)	35

Πίνακας 4.2: Οι τιμές των α , α (lower), α (upper) και ο αριθμός των σεισμών που αντιστοιχεί στο crossover που προσδιορίστηκε για $M \geq 3.5$

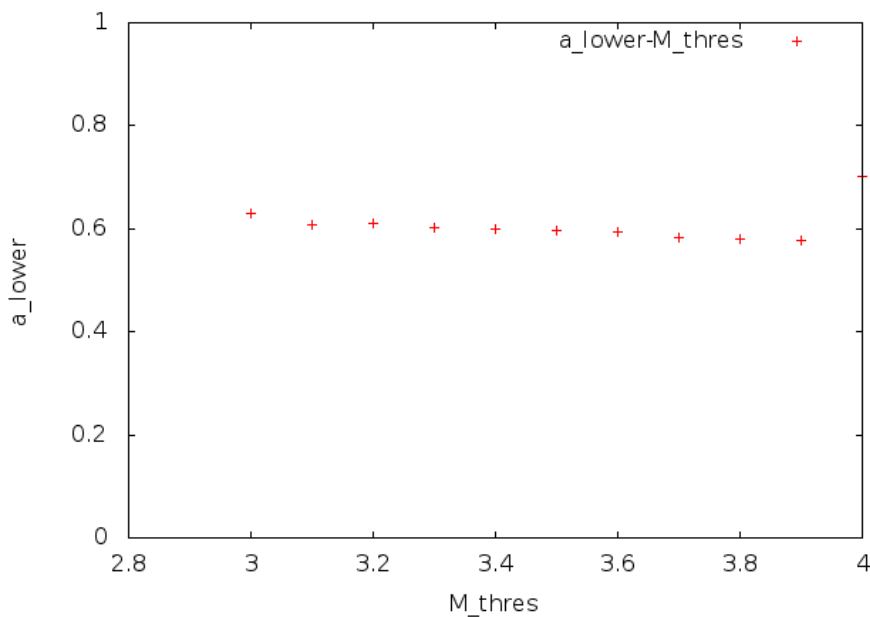
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μια αρχική διαπίστωση από τα αποτελέσματα όπως αυτά αποτυπώνονται στον πίνακα 3.1 είναι ότι ο εκθέτης κλιμάκωσης είναι σχετικά σταθερός και συνεχώς μεγαλύτερος του 0.5 ($\alpha > 0.5$), άρα υπάρχει συσχέτιση δεδομένων, γεγονός που επαληθεύει την μέθοδο ανάλυσης της αποκλιμακούμενης διακύμανσης (Detrended Fluctuation Analysis, DFA).

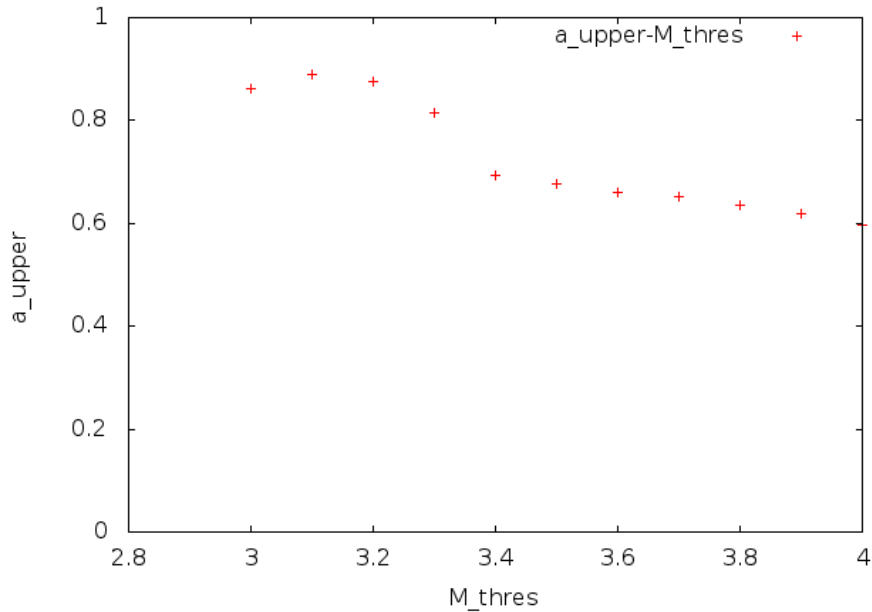
Επίσης ο εκθέτης κλιμάκωσης που αντιστοιχεί όταν κάναμε γραμμική προσαρμογή στο κατώτερο (lower) τμήμα της καμπύλης της DFA, παραμένει και αυτός σχετικά σταθερός σαν συνάρτηση του αριθμού σεισμών S και συνεχώς μεγαλύτερος του 0.5. Η τιμή του $\alpha_{(lower)}$ για διάφορες τιμές του μεγέθους κατωφλίου κυμαίνεται σύμφωνα με τον πίνακα 3.1 γύρω από την τιμή 0.6.

Όμοια και ο εκθέτης κλιμάκωσης που αντιστοιχεί όταν κάναμε γραμμική προσαρμογή στο ανώτερο(upper) τμήμα της καμπύλης της DFA, παραμένει και αυτός σχετικά σταθερός σαν συνάρτηση του αριθμού σεισμών S και μεγαλύτερος του 0.5. Η τιμή του $\alpha_{(upper)}$ για διάφορες τιμές του μεγέθους κατωφλίου κυμαίνεται σύμφωνα με τον πίνακα 3.1 γύρω από την τιμή 0.75. Εδώ σημειώνουμε ότι ο εκθέτης κλιμάκωσης $\alpha_{(upper)}$ σχετίζεται [Sarlis et al. 2010b] με την σεισμικότητα που επακολουθεί τους ισχυρούς σεισμούς.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις φαίνονται και στα διαγράμματα 5.1 και 5.2 αντίστοιχα.



Σχ. 5.1: Εκθέτης κλιμάκωσης α_{lower} σαν συνάρτηση του μεγέθους κατωφλίου



Σχ. 5.2: Εκθέτης κλιμάκωσης a_{upper} σαν συνάρτηση του μεγέθους κατωφλίου

Επίσης παρατηρείται σύμφωνα με τον πίνακα 3.1, ότι καθώς αυξάνεται η τιμή του μεγέθους κατωφλίου η κλίμακα μετάβασης (crossover) τείνει να μειωθεί. Είναι γεγονός ωστόσο ότι μείωση του μεγέθους κατωφλίου θα έπρεπε να οδηγεί σε συνεχή αύξηση της τιμής του crossover, δηλαδή αύξηση του αριθμού σεισμών S . Όμως κάτι τέτοιο δεν ισχύει, διότι εμφανίζεται κόρος όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.1. Η εμφάνιση κόρου είναι ένδειξη ότι υπάρχει τιμή μεγέθους κατωφλίου πληρότητας κάτω από την οποία χάνεται αριθμός σεισμών. Σημειώνουμε ότι η περιοχή μεγέθους κατωφλίου για την οποία εμφανίζεται ο κόρος είναι σε πλήρη συμφωνία με τα πρόσφατα αποτελέσματα [Mignan, A. and Chouliaras, 2014] για το κατώφλι πληρότητας που έχουν ληφθεί χρησιμοποιώντας εντελώς ανεξάρτητη μέθοδο.

Σύμφωνα με τους πίνακες 4.1 και 4.2 που αφορούν στα αποτελέσματα της συμπεριφοράς των συσχετίσεων μακράς εμβέλειας ανά δεκαετία για 2 τιμές του μεγέθους κατωφλίου, παρατηρείται όμοια όπως παραπάνω ότι ο εκθέτης κλιμάκωσης a είναι σχετικά σταθερός και συνεχώς μεγαλύτερος του 0.5 ($a > 0.5$), άρα υπάρχει συσχέτιση μακράς εμβέλειας στα μεγέθη.

Επίσης παρατηρείται ότι ανά δεκαετία οι τιμές της κλίμακας μετάβασης (crossover) αυξάνουν συστηματικά και για τις δύο τιμές του μεγέθους κατωφλίου πληρότητας 3.2 και 3.5 αντίστοιχα αντικατοπτρίζοντας τις βελτιώσεις που έχουν γίνει στο Ελληνικό σεισμολογικό δίκτυο [Mignan, A. and Chouliaras, 2014]. Οι αντίστοιχοι εκθέτες κλιμάκωσης ωστόσο δεν εμφανίζουν μεταβολές αισθητά μεγαλύτερες του ενός δεκάτου.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Acton ,F. S. *Analysis of Straight – Line Data*, New York: Dover (1966)
- Gao J. B. ,Hu J. ,Tung W. W., Cao Y. H., Sarshar N. ,Roychowdhury V.P., Assessment of long range correlation in time series : How to avoid pitfalls , *Phys. Rev. E***73**, 016117 (2006)
- Mignan, A. and Chouliaras, G., *Fifty Years of Seismic Network Performance in Greece (1964–2013): Spatiotemporal Evolution of the Completeness Magnitude* *Seismol. Res. Lett.***85**, 657-667 (2014)
- Moore, D. and McCabe G., *Introduction to the practice of statistics*, W.H.Freeman and Co. , London, (2003)
- Peng C-K , Buldyrev SV, Havlin S , Simons M, Stanley HE, Goldberger AL. Mosaic organization of DNA nucleotides , *Phys . Rev. E***49**, 1685-1689 (1994)
- Pérez O. and Scholz C.,Heterogeneity of the instrumental seismicity catalog (1904–1980) for strong shallow earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.***74**, 669-686 (1984)
- Sarlis N.V., Skordas E. S. and Varotsos P. A., Nonextensivity and natural time: The case of seismicity, *Phys. Rev. E***82**, 021110 (2010a)
- Sarlis N.V., Skordas E. S. and Varotsos P. A., Order parameter fluctuations of seismicity in natural time before and after mainshocks, *EPL* **91**, 59001 (2010b)
- Spiegel , M . R “*Correlation Theory*” *Ch. 14 in Theory and problems of Probability and Statistics*, 2nd ed New York : McGraw – Hill pp. 294 – 323, (1992)
- Telesca L., Cuomo, V., Lapenna, V., and Macchiato M., Depth-dependent time-clustering behaviour in seismicity of southern California, *Geophys. Res. Lett.* **28**, 4323-4326 (2001)
- Varotsos, P., Sarlis N. and SkordasE., Spatiotemporal complexity aspects on the interrelation between Seismic Electric Signals and seismicity, *Practica of Athens Acad.***76**, 294-321 (2001)
- Varotsos, P., Sarlis N. and SkordasE., Long range correlations in the signals that precede rupture, *Phys. Rev. E***66**, 011902(2002)
- Varotsos P. , Sarlis N. , Skordas E., Detrended fluctuation analysis of the magnetic and electric field variations that precede rupture, *Chaos***19**, 023114 (2009)
- Varotsos P.A., Sarlis N. V. and Skordas E. S., Scale-specific order parameter fluctuations of seismicity before mainshocks: Natural time and Detrended Fluctuation Analysis, *EPL***99**, 59001 (2012)
- Varotsos P.A., Sarlis N. V. and Skordas E. S., Study of the temporal correlations in the magnitude time series before major earthquakes in Japan, *J. Geophys. Res. Space Physics***119**, 9192-9206 (2014)
- Williams T. and Kelley C. computer code gnuplot (copyright 1986 – 1993, 1998, 2004) available from <http://gnuplot.info>