ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Διπλωματική Εργασία

Μελέτη της επίδρασης των χρηματοοικονομικών κρίσεων στη δυναμική χρηματιστηριακών δεικτών με χρήση μέτρων από τη θεωρία πληροφορίας

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΝΔΡΑΒΕΛΗΣ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Κύρτσου Αικατερίνη, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Χρηματιστήρια στα οποία οι οικονομίες των χωρών που εδρεύουν ήταν αναπτυσσόμενες τα τελευταία 20 χρόνια επιλέχτηκαν έτσι ώστε να μελετηθούν οι επιδράσεις των χρηματοοικονομικών κρίσεων σε αυτά. Τα χρηματιστήρια μελέτης είναι αυτά της Κίνας, του Χονγκ Κονγκ, της Ινδίας, της Ινδονησίας, της Σιγκαπούρης, του Μεξικό, της Ταϊβάν και της Νοτίου Κορέας. Η μελέτη αυτή έγινε με τη βοήθεια μέτρων από τη θεωρία πληροφορίας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το πιο θεμελιώδες και βασικό μέτρο της θεωρίας αυτής, που δεν είναι άλλο από την εντροπία του Shannon. Για κάθε χώρα λοιπόν λήφθηκαν 3 διαγράμματα με τη χρήση της εντροπίας αυτής. Το πρώτο αφορούσε κάθε έτος ξεχωριστά, το δεύτερο αφορούσε 48 διαστήματα 250 παρατηρήσεων το καθένα με επικάλυψη και το τρίτο ήταν 3 διαστημάτων (πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την κρίση). Από τα αποτελέσματα που λάβαμε συμπεραίνουμε οτι αναμφισβήτητα η εντροπία εμφανίζει πολύ χαμηλές τιμές σε περιόδους οικονομικών κρίσεων. Ακόμα οτι υψηλές τιμές εντροπίας συνεπάγονται αύξηση της αβεβαιότητας και μπορεί να αποτελέσει ένα πρώτο σήμα κινδύνου για μία επερχόμενη κρίση. Τέλος παρόμοιες αντιδράσεις σε κοντινές αλλά διαφορετικές χρονικές περιόδους φανερώνουν ουσιαστικά τη διαφορετική χρονική υστέρηση με την οποία φτάνει η πληροφορία στην εκάστοτε χώρα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΕΤΡΑ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ.....6

1.1 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΤΡΟΠΙΑ.....6

1.2 ΘΕΩΡΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ.....9

1.2.1 ΕΝΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ SHANNON 9

1.2.2 ΑΛΛΑ ΜΕΤΡΑ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ.....13

1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ.....16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΡΗΜΑΤΙΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ ΧΩΡΩΝ.....27

2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ.....27

2.2 ΚΙΝΑ.....30

2.3 ΧΟΝΓΚ ΚΟΝΓΚ.....35

2.4 ΙΝΔΙΑ.....39

2.5 ΙΝΔΟΝΗΣΙΑ.....42

2.6 ΜΕΞΙΚΟ.....46

2.7 ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗ.....49

2.8 ΤΑΪΒΑΝ.....53

2.9 ΝΟΤΙΑ ΚΟΡΕΑ.....56

2.10 ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....60

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....65

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....67

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι χρηματοοικονομικές κρίσεις αποτελούν αναμφίβολα ένα ιδιαίτερα ξεχωριστό και συνάμα κομβικό κομμάτι ολόκληρης της οικονομικής θεωρίας. Επί χρόνια γίνονται προσπάθειες να μελετηθούν σε βάθος προκειμένου να αποκτήσουμε πλήρη γνώση των επιδράσεων που έχουν στις διάφορες οικονομίες ανά τον κόσμο. Επειδή μάλιστα πολλές φορές ολόκληρο το οικοδόμημα της οικονομίας τραντάζεται από μία μεγάλη σε έκταση κρίση, το μεγάλο στοίχημα όλων των οικονομικών αναλυτών είναι το κατά πόσο θα μπορούσαν αυτές να προβλεφθούν. Αν θέλουμε να γίνουμε πιο παραστατικοί οι οικονομικές κρίσεις αποτελούν για την οικονομία ότι οι σεισμοί για τη φύση.

Η οικονομία είναι ένα δυναμικό και πολύπλοκο σύστημα που όπως ακριβώς και η φύση εξελίσσεται συνεχώς. Οι οικονομικές κρίσεις αποτελούν, ξεκάθαρα, αναπόσπαστο κομμάτι της δομής και της λειτουργίας της. Μέσω της θετικής ανατροφοδότησης που τη χαρακτηρίζει οδηγείται συνεχώς σε νέα σημεία ισορροπίας που λόγω της δυναμικής της φύσης είναι προσωρινή. Για το λόγο αυτό η οικονομία χαρακτηρίζεται από μη-γραμμικότητα αλλά και ασυμμετρία κάτι που την καθιστά δυσανάγνωστη από συμβατικά εργαλεία. Η εντροπία αποτελεί ένα κατεξοχήν μη-γραμμικό μέτρο που εμφανίζεται σε πολλές φυσικές διεργασίες. Η έκφραση που της δόθηκε από τη θεωρία πληροφορίας που πρώτος εισήγαγε ο Shannon το 1948 μοιάζει ιδανική για τη μελέτη των οικονομικών κρίσεων.

Η θεωρία πληροφορίας υπήρξε πρωτοποριακή για την εποχή της καθώς συνέδεσε άρρηκτα έννοιες όπως η πληροφορία και οι πιθανότητες. Το βασικό της μέτρο που είναι η εντροπία σκιαγραφεί τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας κατανομής και έχει τη δυνατότητα να αποκαλύπτει κρυφούς δεσμούς μεταξύ των δεδομένων. Ακόμα οι διάφοροι τύποι της που αναπτύχθηκαν κατά καιρούς αποκαλύπτουν την ευελιξία της και την ικανότητα εξόρυξης γνώσης που τη διακρίνει. Για το λόγο αυτό άλλωστε χρησιμοποιήθηκε από πληθώρα ερευνητών κατά καιρούς σε διάφορες μορφές αλλά και για διαφορετικούς σκοπούς όσον αφορά στην οικονομία.

Η επίδραση μιας χρηματοοικονομικής κρίσης αντικατοπτρίζεται καλύτερα σε αγορές με μια σχετικά σταθερή ανοδική πορεία στο πέρασμα των χρόνων. Χρηματιστήρια λοιπόν αναπτυσσόμενων οικονομικά χωρών αποτελούν πρόσφορο έδαφος για να μελετηθεί η επίδραση της. Μία χρήση μέτρων από τη θεωρία

πληροφορίας για τη μελέτη μεγάλης έκτασης οικονομικών κρίσεων σε οικονομικά αναπτυσσόμενες χώρες φαντάζει ιδανική για την εξαγωγή σπουδαίων και πιθανώς άγνωστων συμπερασμάτων. Ακριβώς αυτό θα επιχειρηθεί στην παρούσα εργασία.

Αρχικά θα δοθεί μια λεπτομερής ανάλυση της έννοιας της εντροπίας και της εξέλιξης της στην πορεία των χρόνων. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι μέχρι τώρα τρόποι χρήσης της για τη μελέτη οικονομικών δεδομένων μέσα από διάφορες έρευνες που έχουν γίνει κατά καιρούς. Ακολούθως θα χρησιμοποιηθεί η κλασική της έκφραση, που δόθηκε από τον Shannon στη θεωρία πληροφοριών, για να αναλυθεί το κάθε ένα από τα 8 χρηματιστήρια επιλογής μας ξεχωριστά. Τα χρηματιστήρια αυτά όπως αναφέρθηκε αντιπροσωπεύουν αγορές αναπτυσσόμενων χωρών τα τελευταία 20 χρόνια. Με τη βοήθεια της εντροπίας θα λάβουμε για το κάθε ένα χρηματιστήριο, τρία διαγράμματα για να έχουμε μια πληρέστερη εικόνα της συμπεριφοράς της εντροπίας. Το πρώτο θα περιγράψει την εντροπία κάθε ημερολογιακού έτους ξεχωριστά. Το δεύτερο θα περιγράψει την εντροπία 48 διαστημάτων τα οποία έχουν επικάλυψη μεταξύ τους ώστε να λάβουμε την πληροφορία και για τη συνεχόμενη εξέλιξη της εντροπίας. Το τρίτο διάγραμμα θα παρουσιάσει τη συμπεριφορά της εντροπίας σε ίσα χρονικά διαστήματα (χωρίς επικάλυψη) πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης του 2007. Τέλος θα γίνει ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων που λάβαμε ώστε να εντοπιστούν οι κοινές συμπεριφορές της εντροπίας και να εξαχθούν τα τελικά μας συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΕΤΡΑ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

1.1 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΤΡΟΠΙΑ

Ο άνθρωπος από τη στιγμή της δημιουργίας του προσπαθεί να κατανοήσει και να τιθασεύσει τον κόσμο γύρω του. Βασικές σε αυτή του την προσπάθεια είναι οι έννοιες του συστήματος και του περιβάλλοντος. Οι δύο αυτές έννοιες είναι κεντρικές στη μελέτη της θερμοδυναμικής, ένα δομικό κλάδο της φυσικής και των νόμων που τη διέπουν. Συγκεκριμένα οι τρεις βασικοί νόμοι της θερμοδυναμικής περιστρέφονται γύρω από τις έννοιες της ενέργειας και της εντροπίας που με τη σειρά τους είναι αλληλένδετες και ουσιαστικά απαραίτητες για τη μελέτη οποιουδήποτε συστήματος ή περιβάλλοντος υπάρχει στον κόσμο μας, φυσικού ή τεχνητού.

Η έννοια της εντροπίας προτάθηκε το 1850 από το Γερμανό φυσικό Rundolf Clausius στο πλαίσιο των μελετών του για τη θερμοδυναμική. Ο Clausius σχημάτισε τον όρο από τις ελληνικές λέξεις "εν" και "τροπή" (με την έννοια της μετατροπής) κατά αντιστοιχία με τη λέξη "ενέργεια". Προσπάθησε με αυτόν τον τρόπο να περιγράψει αυτό που θεωρούσε ότι είναι "εκφυλισμός" της ενέργειας κατά τη διαδικασία της μετατροπής της από τη μια μορφή στην άλλη (Clausius ,1856).

Σύμφωνα με τη φυσική, για να παραχθεί έργο μετατρέπουμε ένα είδος ενέργειας σε ένα άλλο. Σε ένα ενεργειακά κλειστό σύστημα, ένα σύστημα το οποίο δεν ανταλλάσει ενέργεια με το περιβάλλον, η συνολική ποσότητα ενέργειας που περιέχει παραμένει σταθερή. Όμως δεν είναι "χρήσιμη" όλη αυτή η ενέργεια. Υπάρχει δυνατότητα κάποιο κομμάτι της να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή έργου, ωστόσο ένα ποσοστό της να είναι άχρηστο. Η ποσότητα της εντροπίας κατά τον Clausius εκφράζει αυτό ακριβώς το ποσοστό. Αν η εντροπία ενός συστήματος είναι ίση με το μηδέν, τότε όλη η διαθέσιμη ενέργεια του συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή έργου. Σε κάθε άλλη περίπτωση η "χρήσιμη" ενέργεια ισούται με τη συνολική ενέργεια του συστήματος μείον ένα ποσοστό της που εκφράζεται από την εντροπία του συγκεκριμένου συστήματος.

Η έννοια της εντροπίας είναι μία από τις σημαντικότερες έννοιες λόγω της συσχετισμένης διατύπωσης του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου με αυτήν. Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος απαγορεύει την κατασκευή οποιουδήποτε είδους αεικίνητου, δηλαδή την παραγωγή ενέργειας εκ του μηδενός. Σε οποιαδήποτε

διεργασία, ένα ποσοστό της διαθέσιμης ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα ή χρησιμοποιείται για την εσωτερική αναδιάταξη χημικών ενώσεων ή ακόμα και για άλλες αλλαγές εντροπίας. Σε κάθε μεταβολή ενός απομονωμένου συστήματος η εντροπία αυξάνει πάντοτε και η μεταβολή της ισούται με το ποσό της θερμικής ενέργειας που δεν δύναται πια να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή έργου. Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος ισχύει για όλα τα είδη εντροπίας, όχι μόνο της θερμοδυναμικής.

Η απειροστή μεταβολή της εντροπίας προκύπτει από τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο ως το πηλίκο της απειροστής προσδιδόμενης θερμότητας προς τη θερμοκρασία. Έτσι λοιπόν σύμφωνα με τον "μακροσκοπικό" ορισμό η μεταβολή της εντροπίας ισούται με:

$$dS= dQ/T$$

όπου dQ η μεταβολή της θερμότητας και T η θερμοκρασία του συστήματος .

Για να αποσαφηνιστούν έννοιες όπως θερμότητα και θερμοκρασία υιοθετήθηκε το μοντέλο της μοριακής σύστασης της ύλης. Η ύλη αποτελείται από μικροσκοπικά σωματίδια, τα μόρια τα οποία όχι μόνο δεν είναι ακίνητα αλλά αντίθετα κινούνται συνεχώς. Αυτή τους όμως την κίνηση δεν μπορούμε να την δούμε, γιατί είναι πάρα πολύ μικρά. Φυσικά όπως κάθε σώμα που κινείται, έτσι και τα μόρια, έχουν κινητική ενέργεια. Αυτό που εκλαμβάνουμε (και μετράμε) ως θερμοκρασία ενός σώματος δεν είναι παρά το συνδυασμένο αποτέλεσμα των κινητικών ενεργειών των μορίων που το απαρτίζουν.

Ο Boltzman, κατά το τέλος του 19ου αιώνα, ήταν αυτός που συνειδητοποίησε ότι η τάξη και η αταξία ενός συστήματος αντιστοιχεί σε αυτό που αναφέρεται ως παρουσία ή απουσία εντροπίας. Αναδιατυπώθηκε λοιπόν ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος ως εξής: Σε ένα ενεργειακά κλειστό σύστημα, οι τυχαίες κινήσεις και συγκρούσεις των μορίων θα αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη αταξία και ως αποτέλεσμα το σύστημα θα περιέρχεται σε μια κατάσταση ολοένα και μεγαλύτερης πιθανότητας. Η αταξία αυτή θα έχει πάρει το μέγιστο βαθμό της όταν επέλθει θερμοκρασιακή ισορροπία. Το ίδιο θα συμβεί και με την εντροπία. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι η εντροπία του κάθε συστήματος είναι ένα μέτρο της εσωτερικής του αταξίας. Συγκεκριμένα, αποδεικνύεται ότι η εντροπία του συστήματος ισούται με το φυσικό λογάριθμο της

πιθανότητας να περιέλθει το σύστημα στην κατάσταση που έχει περιέλθει πολλαπλασιασμένο επί μια σταθερά που ονομάζεται σταθερά Boltzman. Καθώς το σύστημα περιέρχεται σε καταστάσεις με ακόμα μεγαλύτερη πιθανότητα, η εντροπία του συνεχώς μεγαλώνει.

Έτσι λοιπόν προκύπτει ο "μικροσκοπικός" ορισμός της εντροπίας:

$$S= k*\ln(\Omega)$$

όπου k η σταθερά Boltzman και Ω η πιθανότητα της "μικροκατάστασης".

Μετέπειτα αυτός ο τύπος εξελίχθηκε και από τον Gibbs. Η μακροσκοπική κατάσταση ενός συστήματος ορίζεται από την κατανομή των διάφορων μικροκαταστάσεων του. Έτσι για ένα κλασικό σύστημα με διακριτά μικροεπίπεδα, αν E_i είναι η ενέργεια του i μικροεπιπέδου και p_i είναι η πιθανότητα αυτό να συμβαίνει κατά τη διάρκεια των διακυμάνσεων του συστήματος τότε η εντροπία δίνεται από τον τύπο

$$S = -k_B \sum_i p(i) \ln\left(p(i)\right)$$

όπου k είναι η γνωστή σταθερά του Boltzman.

Με το πέρασμα των χρόνων η εντροπία χρησιμοποιήθηκε και σε άλλες επιστήμες προκειμένου να περιγράψει το εκάστοτε σύστημα και για το λόγο αυτό θα αναφέρουμε κάποιους ορισμούς που έχουν δοθεί στην έννοια αυτή κατά καιρούς. Στη θερμοδυναμική η εντροπία αντιπροσωπεύει τη μη αναστρέψιμη απώλεια θερμότητας. Στη φυσικοχημεία αντίστοιχα ερμηνεύεται ως η ποσότητα ενέργειας η οποία είναι ανίκανη για φυσικές κινήσεις. Για την απλή φυσική είναι ένα μέτρο της τάξης ή της αταξίας αντίστοιχα, ενώ για τη θεωρία πιθανοτήτων αποτελεί ένα μέτρο αβεβαιότητας. Τέλος η έννοια της εντροπίας έχει χρησιμοποιηθεί ακόμα και στην κοινωνιολογία ως ένα μέτρο διάβρωσης των δομών.

1.2 ΘΕΩΡΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

1.2.1 ΕΝΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ SHANNON

Η θεωρία πληροφορίας αποτελεί ένα τμήμα των εφαρμοσμένων μαθηματικών και ένα από τα βασικά της ερωτήματα ήταν ανέκαθεν το πώς θα μπορούσε να ποσοτικοποιηθεί η πληροφορία, ώστε να μπορούμε να τη χειριζόμαστε σαν όλα τα φυσικά μεγέθη.

Η πρώτη επιτυχής προσπάθεια επίλυσης αυτού του ερωτήματος έγινε το 1948 από τον J.C. Shannon, ο οποίος με τη "θρυλική" πλέον εργασία του ("A Mathematical Theory of Communication") έφερε επανάσταση σε όλη την επιστημονική κοινότητα. Ο Shannon έκανε αυτή τη μελέτη για λογαριασμό της Bell Corporation και ο σκοπός του ήταν να μεγιστοποιήσει όσο το δυνατόν τη μεταδιδόμενη πληροφορία μέσω ενός καναλιού (π.χ. μέσω μιας τηλεφωνικής γραμμής). Ασχολήθηκε λοιπόν τη λεγόμενη "χωρητικότητα" των κλασικών καναλιών, αλλά ο τρόπος προσέγγισης που είχε στο ζήτημα ήταν τόσο γενικός αλλά και ταυτόχρονα καινοτόμος που αργότερα εφαρμόστηκε και σε άλλες επιστήμες όπως τα οικονομικά, η βιολογία, η κοινωνιολογία κλπ.

Συγκεκριμένα ο Shannon μοντελοποίησε την πληροφορία σαν μια σειρά από γεγονότα που συμβαίνουν με συγκεκριμένες πιθανότητες, κάτι που αντιτίθεται στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αντιλαμβανόμαστε την πληροφορία στην καθημερινή μας ζωή. Έθεσε λοιπόν τρεις αξιωματικές συνθήκες, τις οποίες πρέπει να πληροί κάθε μέτρηση της πληροφορίας:

1. Το ποσόν της πληροφορίας που περιέχεται σε ένα γεγονός x εξαρτάται αποκλειστικά από την πιθανότητα πραγματοποίησης του p(x). Με τον τρόπο αυτό όσο πιο απίθανο είναι ένα γεγονός, τόσο περισσότερη πληροφορία περιέχει. Για παράδειγμα η βροχή στην έρημο περιέχει πολύ περισσότερη πληροφορία σαν γεγονός από ότι η βροχή σε μια πόλη σαν το Λονδίνο. Θα μπορούσε να σημαίνει κάτι σημαντικό για τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.
2. Η I(p) είναι μια συνεχής συνάρτηση του p. Η συνέχεια είναι επιθυμητή για τις φυσικές ποσότητες με εξαίρεση ίσως κάποιες μεταβάσεις φάσεων ή άλλων ανωμαλιών. Στην περίπτωση αυτή η συνθήκη συνέχειας υπαγορεύει ότι εάν η πιθανότητα ενός γεγονότος αλλάξει ελάχιστα, τότε η πληροφορία που

μεταφέρεται θα αλλάξει και αυτή με τη σειρά της κατά ένα πολύ μικρό ποσοστό.

3. Ισχύει I(px,py) = I(px)+I(py) που αντιπροσωπεύει την αρχή της προσθετικότητας. Η αρχή αυτή είναι και η πιο αυστηρή, υπό την έννοια ότι είναι πολύ λίγες οι συναρτήσεις των θετικών πραγματικών αριθμών (όσον αφορά τις πιθανότητες) που να ικανοποιούν την παραπάνω συνθήκη. Με τον όρο προσθετικότητα εννοούμε ότι δύο ανεξάρτητα γεγονότα που το πρώτο συμβαίνει με πιθανότητα p(x) και το δεύτερο με πιθανότητα p(y), τότε η συνολική πληροφορία που παίρνουμε από τα δύο αυτά γεγονότα ισούται με το άθροισμα των επιμέρους πληροφοριών.

Ο Shannon απέδειξε ότι υπάρχει μια μοναδική μέτρηση που ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες και διατηρείται μοναδική κάτω από αφινικούς μετασχηματισμούς. Έτσι αν X είναι μια τυχαία μεταβλητή σε ένα σύνολο μεταβλητών x που το καθένα συμβαίνει με πιθανότητα p(x), τότε η εντροπία Shannon του γεγονότος x ισούται με $-\log_2 (p(x))$. Η προηγούμενη ποσότητα καλείται και αυτοπληροφορία του γεγονότος x. Να επισημάνουμε στο σημείο αυτό ότι η βάση του λογαρίθμου καθορίζει την μονάδα που ορίζεται για την πληροφορία. Έτσι, όταν χρησιμοποιείται ο φυσικός λογάριθμος (natural), τότε η μονάδα είναι το nat, ενώ όταν χρησιμοποιείται ο δεκαδικός λογάριθμος, τότε η μονάδα είναι το Hartley ή το decit. Συνήθως όμως ως βάση χρησιμοποιείται το δύο, οπότε μονάδα πληροφορίας είναι το bit.

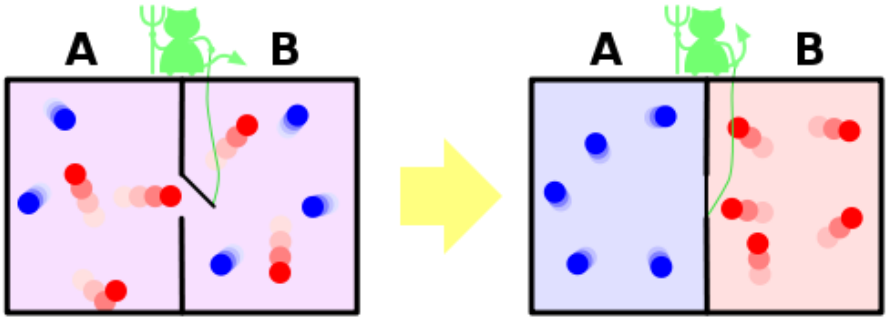
Μία από τις βασικές εφαρμογές της εντροπίας Shannon ήταν η συμπίεση δεδομένων. Αν θεωρήσουμε λοιπόν ένα σύνολο δεδομένων που θα συμπιεστεί από μια τυχαία μεταβλητή X τότε η εντροπία Shannon του X ορίζεται ως ο λογάριθμος της πιθανότητας

$$H(X) = -\sum_{x_} p(X = x) \cdot log\big(p(X = x)\big)$$

Ο παραπάνω τύπος είναι ευρέως γνωστός σαν εντροπία του Shannon και χρησιμοποιήθηκε μετέπειτα σε πληθώρα επιστημών. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από τον τύπο η εντροπία παίρνει την μέγιστη τιμή της όταν όλα τα ενδεχόμενα είναι ισοπίθανα και ισούται με logN (όπου N το πλήθος των πιθανών συμβάντων). Αντίθετα η εντροπία λαμβάνει την ελάχιστη τιμή της όταν ένα ενδεχόμενο είναι

βέβαιο (έχει δηλαδή πιθανότητα p(x)=1) και τότε ισούται με 0. Το όνομα εντροπία υιοθετήθηκε από τον Shannon μετά και από παρότρυνση ενός άλλου σπουδαίου μαθηματικού του Janos Neumann και ο οποίος φέρεται να είπε στον Shannon ότι θα έπρεπε να το ονομάσει εντροπία για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος ήταν ότι η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιούνταν ήδη στη θερμοδυναμική. Ο δεύτερος ήταν ότι ο περισσότερος κόσμος αγνοούσε τι αντιπροσωπεύει πραγματικά η εντροπία και η χρήση της σε ένα αντεπιχείρημα θα τον έκανε να επικρατήσει. Η εντροπία του Shannon άλλωστε έχει μεγάλη αντιστοιχία με την θερμοδυναμική εντροπία (Sohrab, 2014).

Να αναφέρουμε ιστορικά ότι μια προσπάθεια σύνδεσης των δύο εντροπιών βρίσκουμε σε ένα νοητό πείραμα που επινόησε ο James Clerk Maxwell (1871) και συνδέει τις έννοιες της πληροφορίας, της εντροπίας και της ενέργειας. Το υποθετικό αυτό πείραμα που ονομάστηκε "ο δαίμονας του Maxwell" σχεδιάστηκε με σκοπό την καλύτερη κατανόηση και ενδεχομένως την κατάρριψη του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου ο οποίος, ως γνωστόν, απαγορεύει την παραγωγή ενέργειας εκ του μηδενός σε ένα κλειστό σύστημα. Στη διάταξη του πειράματος υπάρχει ένα ον με την ικανότητα να γνωρίζει κάθε χρονική στιγμή την ταχύτητα και τη θέση του κάθε μορίου ενός αερίου. Το δοχείο χωρίζεται σε δύο ίσα μέρη και το ον τραβά και ανοίγει μια πόρτα κατά βούληση αφήνοντας να περάσουν εσκεμμένα προς τη μία μεριά τα «ψυχρά» (χαμηλής ταχύτητας) και προς την άλλη τα «θερμά» (υψηλής ταχύτητας) μόρια. Η πόρτα κλείνει αμέσως μετά την επιλεκτική διέλευση του κάθε μορίου και ένα ιδανικό ελατήριο επιστρέφει πίσω στο δαίμονα την ενέργεια που δαπάνησε για να την ανοίξει. Στο τέλος, χωρίς να έχει δοθεί ενέργεια στο σύστημα, το οποίο θεωρείται απομονωμένο από το περιβάλλον, εμφανίζεται η μία μεριά του κουτιού με θερμό αέριο και η άλλη με ψυχρό (και πιθανόν και διαφορετική πίεση στο ένα δοχείο από το άλλο). Αυτό συνεπάγεται αύξηση της ενέργειας του συστήματος, αφού μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις δύο δεξαμενές θερμότητας (αριστερή και δεξιά), που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία, για να παράγουμε έργο με μια θερμική μηχανή.



Εικόνα 1 Δαίμονας του Maxwell (commons.wikimedia.org)

Η ύπαρξη όμως ενός όντος με τέτοιες ικανότητες που θα του επέτρεπαν να κάνει όλη αυτή την επεξεργασία πληροφορίας χωρίς σπατάλη ενέργειας, τουλάχιστον ίσης με την ποσότητα που παράγεται με το διαχωρισμό του αερίου σε ζεστό και κρύο, αποδεικνύεται αδύνατη. Το να οργανωθούν χωροταξικά τα μόρια ανάλογα με τις ταχύτητές τους σε ένα άτακτο σύστημα, να προκύψει δηλαδή πληροφορία από την επεξεργασία των δεδομένων του καθενός μορίου, απαιτεί δαπάνη ενέργειας. Η αύξηση της πληροφορίας, που προκύπτει από την περιγραφή ενός πιο οργανωμένου συστήματος, ισοδυναμεί με ελάττωση της εντροπίας, η οποία απαγορεύεται από το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο για οποιοδήποτε κλειστό σύστημα. Το παραπάνω πείραμα εξιδανικευμένο θα μπορούσε να δείξει ότι η πληροφορία κρύβει μέσα της ενέργεια και επομένως είναι στενή η σύνδεση πληροφορίας, εντροπίας και ενέργειας.

Η εντροπία μπορεί να γίνει κατανοητή με 3 τρόπους. Πρώτα στο πεδίο της πληροφορίας, η εντροπία αντιπροσωπεύει την απώλεια πληροφορίας ενός φυσικού συστήματος όπως το βλέπει ένας εξωτερικός παρατηρητής, αλλά μέσα στο σύστημα αντιπροσωπεύει μετρήσιμη πληροφορία. Αυτή ακριβώς ήταν η διαφορά στην οπτική του Shannon και του Brillouin. Δεύτερον η εντροπία μετράει το βαθμό ελευθερίας. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι κατά την εξάπλωση ενός αερίου που ο βαθμός ελευθερίας των μορίων του συνεχώς αυξάνει με το χρόνο. Τέλος η εντροπία συνδέεται άμεσα με την αταξία (Brissaud, 2005).

1.2.2 ΑΛΛΑ ΜΕΤΡΑ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Η εντροπία του Shannon μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον ορισμό άλλων μετρήσεων της πληροφορίας, οι οποίες αναδεικνύουν τις σχέσεις μεταξύ δύο τυχαίων μεταβλητών X και Y. Έχουμε λοιπόν τα ακόλουθα μέτρα:

1. Σχετική Εντροπία (relative entropy) (Kullback and Leibler, 1951)
   η οποία μετράει την ομοιότητα των X και Y και ορίζεται ως εξής:

$$H(X||Y) = -\sum_{x,y_} p(x) \cdot log\big(p(y)\big) - H(X) = -\sum_{x,y_} p(x) \cdot log(p(x)/\mathrm{p(y)})$$

Η εντροπία αυτή αναπαριστά τη διαφορά μεταξύ της αναμενόμενης πληροφορίας που λαμβάνεται από τα γεγονότα της Y που κατανέμονται σύμφωνα με τη X και της αναμενόμενης πληροφορίας από τα γεγονότα της X και είναι πάντοτε θετική. Εάν όμως X=Y τότε προφανώς η σχετική εντροπία μηδενίζεται. Από την άλλη μεριά αυτή αυξάνει όσο αυξάνεται η "απόσταση" μεταξύ των X και Y. Η σχετική εντροπία είναι μια έννοια με πολύ μεγάλη αξία για την κλασική στατιστική μηχανική του Gibbs και χρησιμοποιείται ευρύτατα και στην Κβαντική θεωρία πληροφορίας, καθώς πολλά σημαντικά αποτελέσματα της τελευταίας βασίζονται στη μονοτονία της. Φαντάζει λοιπόν ως η πιο κατάλληλη έκφραση της πληροφορίας, διότι αποτελεί ένα καθαρό σχετικό γεγονός. Αυτό συμβαίνει γιατί η απροσδιοριστία μιας μεταβλητής μετράται πάντα ως προς μια άλλη. Η εντροπία Shannon μάλιστα είναι μια ειδική περίπτωση της σχετικής εντροπίας. Πιο συγκεκριμένα η εντροπία Shannon μια τυχαίας μεταβλητής είναι η σχετική εντροπία ως προς μια κατάσταση που γνωρίζουμε με απόλυτη βεβαιότητα, δηλαδή H(X)=H(X||Y), όπου P(Y=y)=1 για κάποια τιμή του y.

2. Σύνθετη εντροπία (joint entropy) (Shannon,1948)
   η οποία μετράει τη συνολική πληροφορία των X και Y και ορίζεται ως εξής:

$$H(X,Y) = -\sum_{x,y_} p(x,y) \cdot log\big(p(x,y)\big)$$

Εάν τα X και Y είναι ανεξάρτητα, τότε χρησιμοποιώντας την προσθετική ιδιότητα της εντροπίας του Shannon έχουμε H(X,Y)=H(X)+H(Y).
Η παραπάνω ιδιότητα όμως δεν ισχύει όταν τα X και Y δεν είναι ανεξάρτητα.

3. Υπό συνθήκη εντροπία (conditional entropy) (Shannon,1948)
   η οποία μετράει την πληροφορία του X, όταν είναι γνωστή η Y και αντιστρόφως και ορίζεται ως εξής:

$$H(X|Y) = -\sum_{x,y_} p(x|y) \cdot log\big(p(x|y)\big)$$

όπου ως γνωστόν p(x|y)=p(x,y)/p(x). Για παράδειγμα εάν ξέρουμε το χρώμα του ενός παπουτσιού από ένα ζευγάρι δεν μαθαίνουμε τίποτα το καινούριο με το να κοιτάξουμε το χρώμα και του άλλου, μιας και είναι πάντοτε ίδια, οπότε η υπό συνθήκη εντροπία είναι 0. Εάν πάλι τα X και Y είναι εντελώς ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, τότε H(X|Y)=H(X), αφού η πληροφορία που αντλούμε από το X δεν μειώνεται λόγω της γνώσης του Y. Θα μπορούσαμε τέλος να περιγράψουμε τη σύνθετη κατανομή των X και Y περιγράφοντας πρώτα το X και μετά το Y με δεδομένο το X ή και αντίστροφα. Με τον τρόπο αυτό οδηγούμαστε στη διατύπωση μιας σχέσης μεταξύ των σύνθετων και των υπό συνθήκη εντροπιών:

H(X,Y)=H(X)+H(Y|X)=H(Y)+H(X|Y).

4. Αμοιβαία ή κοινή εντροπία (mutual information) (Shannon,1948)
   η οποία υπολογίζει τη σχέση των X και Y, υπό την έννοια ότι μας δείχνει πόσο μειώνεται η πληροφορία του X όταν μαθαίνουμε το Y και αντιστρόφως και ορίζεται ως εξής:

I(X:Y)=H(X)-H(X|Y)

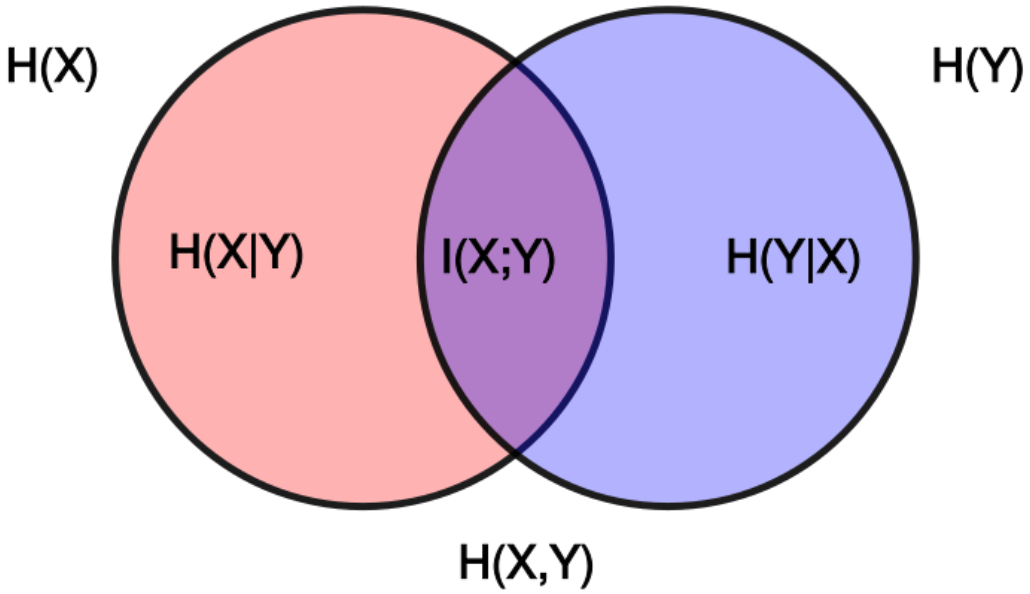
Αν δεν υπάρχει συσχέτιση των X και Y, τότε αυτή προφανώς είναι 0. Αν υπάρχει ολοκληρωτική συσχέτιση, τότε ισούται με την πληροφορία του X ή του Y αφού είναι πλεόν ίσες. Θα μπορούσαμε δηλαδή να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η εντροπία είναι ένα είδος αμοιβαίας πληροφορίας η οποία συσχετίζεται με τον εαυτό της και έτσι I(X:X)=H(X). Να σημειώσουμε ότι η αμοιβαία πληροφορία είναι συμμετρική ως προς τις δύο μεταβλητές, δηλαδή ισχύει:

I(Y:X)=H(Y)-H(Y|X)=I(X:Y)

Βλέπουμε λοιπόν ότι η αμοιβαία εντροπία είναι η διαφορά στον αριθμό των bits που χρειαζόμαστε για να εκφράσουμε τα X και Y ξεχωριστά από ότι σαν σύνθετη κατανομή, δηλαδή:

I(X:Y)=H(X)+H(Y)-H(X,Y)

Στο σημείο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε το παρακάτω σχήμα για να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτές οι εντροπίες στις οποίες αναφερθήκαμε.



Εικόνα 2 Venn diagram (en.wikipedia.org)

Στο σχήμα μας η αμοιβαία πληροφορία είναι ο μηνίσκος ένωσης των δύο κύκλων ενώ αντίστοιχα η σχετική εντροπία είναι το σύνολο των δύο κύκλων χωρίς τον μηνίσκο ένωσης τους.

Να αναφέρουμε τέλος ότι η εντροπία του Shannon αποτέλεσε τη βάση πολλών ερευνών και αναλύσεων και έτσι σε διάφορες προσπάθειες επιστημόνων να την πλαισιώσουν ή να την βελτιώσουν προέκυψαν διάφορα ονόματα εντροπιών. Έτσι λοιπόν θα αναφέρουμε χαρακτηριστικά μερικές μόνο από αυτές:

- Tsallis entropy (Tsallis,1988)
- Renyi entropy (Renyi,1961)
- Havrda-Charvat entropy (Havrda-Charvat,1967)
- Kullback cross entropy (Kullback and Leibler,1951)
- Hybrid entropy (Pal,1992)
- Fuzzy entropy (Kosko,1986)

1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Όταν αναφερόμαστε στην οικονομία κάνουμε λόγο για ένα πολύπλοκο σύστημα το οποίο έχει πολλές ετερογενείς μεταβλητές και χαρακτηρίζεται από μη-γραμμικότητα. Επιπρόσθετα φαινόμενα ανατροφοδότησης την κάνουν να εξελίσσεται και να οδηγείται συνεχώς σε νέα σημεία ισορροπίας. Η χρηματιστηριακή αγορά λοιπόν είναι εξ ορισμού ασταθής και ευμετάβλητη. Η μεγάλη εξέλιξη της τεχνολογίας την έχει κάνει ακόμα πιο πολύπλοκη και αποτελεί ένα μεγάλο στοίχημα για τους επενδυτές να μπορέσουν να καταλάβουν τις δυναμικές της προκειμένου να λάβουν τις καλύτερες δυνατές αποφάσεις. Αυτή η πολυπλοκότητα που προσπαθούμε να αντιληφθούμε είναι με ποιόν τρόπο οι χρηματιστηριακοί οργανισμοί και οι ανταλλακτικοί μηχανισμοί εξελίσσονται και με τη σειρά τους επηρεάζουν τους επενδυτές που τα προκαλούν. Η πολυπλοκότητα της οικονομίας υπαγορεύει να εξετάσουμε την αγορά χωρίς να θεωρούμε δεδομένο ότι μένει σε ισορροπία αλλά αντίθετα ως ένα δυναμικό σύστημα με εξωγενείς και ενδογενείς εκρήξεις (Qiao, 2016).

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν γιατί η εντροπία άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως για να ποσοτικοποιήσει την αταξία και την αβεβαιότητα δυναμικών συστημάτων όπως η χρηματιστηριακή αγορά. Συγκεκριμένα ποσοτικοποιεί την εκθετική πολυπλοκότητα που ορίζεται ως η μέση ροή πληροφοριών στη μονάδα του χρόνου στη θεωρία των δυναμικών συστημάτων.

Η εφαρμογή της εντροπίας στην οικονομία μπορεί να θεωρηθεί ως μια επέκταση της εντροπίας από τη θεωρία πληροφορίας και τη θεωρία πιθανοτήτων. Μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο τόσο στην επιλογή χαρτοφυλακίου όσο και στην αποτίμηση κεφαλαίων. Οι Philippatos and Wilson το 1972 ήταν οι δύο πρώτοι που εφάρμοσαν την ιδέα της εντροπίας στην επιλογή χαρτοφυλακίου. Συγκεκριμένα στην εργασία τους χρησιμοποίησαν μια προσέγγιση μέσης τιμής-εντροπίας για να επιλέξουν ένα αποτελεσματικό χαρτοφυλάκιο και να το συγκρίνουν με ήδη υπάρχουσες μεθόδους. Έτσι όρισαν την εντροπία ενός χαρτοφυλακίου ως

$$H(R_1,R_2,R_3,R_I)= H(R_I)+X_1H(R_1|R_I)+X_2H(R_2|R_I)+X_3H(R_3|R_I)$$

όπου R_1,R_2,R_3 είναι οι αποδόσεις των τριών μετοχών, R_I είναι η απόδοση του χρηματιστηριακού δείκτη και X_i είναι το ποσοστό του κεφαλαίου που επενδύθηκε σε

κάθε μετοχή. Συνεπώς το ρίσκο χαρτοφυλακίου μπορεί να ελαχιστοποιηθεί αν μειωθεί το $H(Portfolio|R_I)= \sum_{i=1}^{3} X_i H(R_i|R_I)$.

Η ερεύνα τους παρότι είχε κάποιες ελλείψεις είχε μεγάλη συνεισφορά στη χρησιμοποίηση της εντροπίας στην επιλογή χαρτοφυλακίων.

Η χρηματιστηριακή αγορά είναι ένα τυπικό πολύπλοκο σύστημα με ένα τεράστιο αριθμό επενδυτών που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Οι πρόσφατες χρηματοοικονομικές κρίσεις έχουν τονίσει την ανάγκη να κατανοήσουμε βαθύτερα τη δυναμική και την πολυπλοκότητα της. Για το λόγο αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης δύο τεχνικές εντροπίας : η μέγιστη εντροπία και η εντροπία πολλών επιπέδων. Η πρώτη βασίζεται στην αρχή της μέγιστης εντροπίας (maximum entropy) που εξαρτάται από προηγούμενα δεδομένα και ορίζει ότι η κατανομή πιθανοτήτων που αντιπροσωπεύει καλύτερα την υπάρχουσα γνώση είναι αυτή με τη μεγαλύτερη εντροπία (Qiao, 2016).

Η λογική πίσω από το εργαλείο χρησιμοποίησης της μέγιστης εντροπίας είναι ότι από όλες τις κατανομές που ικανοποιούν τους περιορισμούς να επιλεγεί αυτή που:

1. έχει τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα
2. είναι λιγότερο εξαρτημένη από την πληροφορία που δεν δίνεται σε εμάς
3. είναι πιο τυχαία
4. είναι περισσότερο αμερόληπτη

Η δεύτερη αναπτύχθηκε από τον Kolmogorov (1959) και θέτει διαφορετικές κλίμακες στην ανάλυση των δεδομένων. Παρόλα τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς, είμαστε μακριά από την πλήρη κατανόηση της δυναμικής της αγοράς. Αυτές οι δύο εντροπίες φωτίζουν μια διαφορετική πτυχή της δυναμικής αυτής βοηθώντας μας να αποκτήσουμε μεγαλύτερη κατανόηση. Οι αλληλεπιδράσεις των επενδυτών συνάπτουν ένα διαδραστικό δίκτυο και η εντροπία φαντάζει ως η καλύτερη ποσότητα για να περιγράψει τέτοιου είδους σύνθετες δυναμικές (Qiao, 2016).

Ένα μεγάλο ζήτημα σε πολλούς κλάδους της επιστήμης και της μηχανικής είναι να ερευνήσουν πώς οι διάφορες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τμημάτων καθορίζουν την συμπεριφορά ενός πολύπλοκου συστήματος. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις μεταφράζονται σε ποσότητα πληροφορίας που αποθηκεύεται και μεταδίδεται από και

προς ένα τμήμα του συστήματος και γι' αυτό το λόγο τα μέτρα της θεωρίας πληροφορίας είναι ιδανικά γι' αυτή τη δουλειά (Faes et al., 2015).

Στη μελέτη των πολύπλοκων συστημάτων μέσω των παρατηρούμενων χρονοσειρών, μπορεί να παρατηρηθεί η εξέλιξη του συστήματος μέσω της πληροφορίας που αποθηκεύεται αλλά και μεταφέρεται από αλληλεπιδρώντα συστήματα. Ουσιαστικά χρησιμοποιούνται μέτρα εντροπίας και αμοιβαίας πληροφορίας για πρόβλεψη μέσω της προσομοίωσης τόσο σε γραμμικές όσο και σε μη-γραμμικές δυναμικές διαδικασίες και εν τέλει φαίνεται η ανωτερότητα τους από τις παραδοσιακές μεθόδους που είναι βασισμένες στην ομοιόμορφη κατανομή (Faes et al., 2015).

Στην εργασία των Yang et al., (2008) χρησιμοποιείται η τεχνική εντροπίας διάδοσης (diffusion entropy) για να παρατηρηθεί η κλιμακούμενη συμπεριφορά των χρηματιστηριακών αγορών. Οι κλασικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τεχνικές βασισμένες στη διασπορά για να εντοπίσουν αυτές τις διακυμάνσεις. Οι τεχνικές όμως αυτές παρουσιάζουν κάποια προβλήματα. Το πρώτο πρόβλημα είναι ότι μπορεί μεν να εντοπιστεί η κλιμακούμενη ιδιότητα (scale-invariance property) όμως δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια ο εκθέτης. Το άλλο πρόβλημα είναι ότι σε ορισμένες διαδικασίες η διακύμανση τείνει στο άπειρο και οι μέθοδοι αυτές είναι ακατάλληλες ώστε να πάρουμε σωστές πληροφορίες για τη δυναμική του συστήματος. Για το λόγο αυτό προτείνεται η χρήση της εντροπίας διάχυσης (Yang et al., 2008). Ακόμη η ανάλυση έχει δείξει ότι η σύζευξη μεταξύ αγορών της ίδιας χώρας είναι ισχυρότερη από ότι αγορών διαφορετικών χωρών. Τα πλεονεκτήματα της εντροπίας είναι ότι είναι απλή και αποδοτική, ότι γενικεύεται σε δυο χρονοσειρές και ότι προσδιορίζει την κατεύθυνση δυο συζευγμένων χρονοσειρών (Shi et al., 2014).

Ακόμα έχει χρησιμοποιηθεί η εντροπία για να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ της μεταβλητότητας των διαφόρων αγορών. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η εντροπία του Shannon αλλά και του Tsallis (είναι μια γενίκευση την εντροπίας Boltzman-Gibbs) και του Renyi. Η εντροπία παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή των γενικών χαρακτηριστικών ενός συστήματος από τις μικροσκοπικές του λεπτομέρειες. Είναι το κατεξοχήν μέτρο της αβεβαιότητας και της αταξίας κάτι που συνάδει απόλυτα με τα χαρακτηριστικά μεταβλητότητας της χρηματιστηριακής αγοράς (Sheraz et al., 2014). Η θεωρία πληροφοριών χρησιμοποιείται συχνά τελευταία για να μελετηθεί η πολυπλοκότητα των οικονομικών χρονοσειρών μετρώντας την

ανταλλαγή πληροφορίας, την κανονικότητα αλλά και ξεχωρίζοντας τις κανονικές από τις χαοτικές και τυχαίες συμπεριφορές (Xu et al., 2015). Επίσης η εντροπία μπορεί να ανιχνεύσει τόσο γραμμικές όσο και μη-γραμμικές συμπεριφορές. Λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της όταν όλες οι καταστάσεις έχουν την ίδια πιθανότητα πραγματοποίησης. Η εντροπία του Shannon μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει την κατανομή πυκνότητας πιθανότητας γύρω από κάποια σημεία αλλά μπορούν να μελετηθούν και συγκεκριμένα γεγονότα όπως η απόκλιση από τη μέση τιμή ή ένα ξαφνικό νέο για τις χρηματιστηριακές αγορές. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες η εντροπία έχει μετατραπεί σε ένα καθοριστικό εργαλείο για τη σχεδίαση χαρτοφυλακίου αλλά και την αξιολόγηση των μετοχών (Sheraz et al., 2014).

Στην εργασία των Gu and Shao (2015) μελετάται η προβλεπτική ικανότητα της αναλυτικής εντροπίας (decomposition entropy) για τους χρηματιστηριακούς δείκτες. Μια αγορά καλείται αποτελεσματική όταν οι τιμές των μετοχών αντανακλούν όλη τη διαθέσιμη πληροφορία του παρελθόντος. Αν συμβαίνει αυτό τότε οι τιμές των μετοχών θα μεταβάλλονται τυχαία και δεν θα υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης. Κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα και όλες οι αγορές είναι σε ένα ενδιάμεσο στάδιο αποτελεσματικότητας κάτι που τις καθιστά πολύπλοκα δυναμικά συστήματα (Gu et al., 2015). Εργαλεία όπως η μέση τιμή και η διακύμανση μπορεί να είναι ανεπαρκή σε μη κανονικές κατανομές, μη-γραμμικές και ασύμμετρες. Ενώ αντίθετα η εντροπία ορίζεται από την ίδια την κατανομή και προσφέρει μια καλύτερη οπτική για τις σχέσεις εξάρτησης μεταξύ των μεταβλητών (Maasoumi, 2001). Η εντροπία ως κλασικό μέτρο της αβεβαιότητας ενός συστήματος μπορεί να αντανακλά το βαθμό πολυπλοκότητας των σημάτων της αγοράς. Όσο μεγαλύτερος ο βαθμός της, τόσο πιο πολύπλοκα τα σήματα και τόσο πιο άφθονη η πληροφορία που περιέχουν (Gu et al., 2015).

Επιπρόσθετα και η ενσωμάτωση της αμοιβαίας πληροφορίας προτείνεται για την πρόβλεψη των χρηματιστηριακών δεικτών με πολύπλοκα μη-γραμμικά χαρακτηριστικά. Η πρόβλεψη χρηματιστηριακών δεικτών είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα ζητήματα των οικονομικών και είναι αντικείμενο μεγάλης έρευνας γιατί κάτι τέτοιο συνεπάγεται πολύ μεγάλες αποδόσεις. Στη θεμελιώδη ανάλυση θεωρείται ότι η κίνηση των δεικτών εξαρτάται από τα εταιρικά κέρδη, τις οικονομικές συνθήκες, το πολιτικό περιβάλλον και άλλα. Από την άλλη στην τεχνική ανάλυση θεωρείται ότι όλες οι πληροφορίες για τη μελλοντική κίνηση των δεικτών είναι

ενσωματωμένες στις παρελθούσες τιμές. Για το λόγο αυτό πιστεύεται ότι η ανάλυση των ιστορικών δεδομένων είναι το μόνο που χρειάζεται για να γίνουν προβλέψεις. Η αμοιβαία πληροφορία φαντάζει ιδανική για κάτι τέτοιο καθώς μπορεί να ανιχνεύσει μη-γραμμικές σχέσεις ανάμεσα στις μεταβλητές σε αντίθεση με άλλα δημοφιλή εργαλεία όπως οι συντελεστές συσχέτισης περιορίζονται στις γραμμικές εξαρτήσεις (Yu et al., 2015).

Η εργασία των Billio et al. (2015) είχε ως στόχο την κατασκευή ενός δείκτη έγκαιρης προειδοποίησης για το συστημικό ρίσκο χρησιμοποιώντας μέτρα εντροπίας. Η εντροπία είναι μια συνάρτηση που περικλείει το πληροφοριακό περιεχόμενο μιας κατανομής. Σε μακροοικονομικό επίπεδο στόχος των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων είναι να εξασφαλίσουν τη σταθερότητα του τραπεζικού συστήματος ενώ σε μικροοικονομικό επίπεδο το συστημικό ρίσκο μειώνει τα κέρδη της διαφοροποίησης από τη σκοπιά του επενδυτή. Έρευνες έχουν γίνει για να μελετηθεί η σύνδεση του δικτύου χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων μέσω του μηχανισμού εκπομπής και διάδοσης σε όρους συνδεσιμότητας. Το πρόβλημα της εξαγωγής της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας ρίσκου είναι κομβικό και για το λόγο αυτό επιστρατεύεται η χρήση της εντροπίας (Preda et al., 2015). Η βασική ιδέα είναι ότι το συστημικό ρίσκο σχετίζεται με την κοινή μεταβλητότητα μέσα στο οικονομικό σύστημα μεταξύ των ιδρυμάτων και τα φαινόμενα αλληλουχίας που παρατηρούνται. Έτσι πιέσεις σε ένα ίδρυμα θα προκαλέσουν σίγουρα τριγμούς και σε άλλα που αυτό συνδέεται. Για το λόγο αυτό οι μεταβολές της εντροπίας που είναι βασισμένη σε μια κατανομή που προέρχεται από μέτρα διασταυρούμενου ρίσκου, όπως αναφέραμε, μπορεί να δώσουν ένα πρώτο σημάδι για επερχόμενες αλλαγές στο συστημικό ρίσκο . (Billio et al., 2015).

Η εντροπία έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του πιστωτικού κινδύνου. Ο πιστωτικός κίνδυνος, δηλαδή ο κίνδυνος μη ικανότητας αποπληρωμής από έναν οφειλέτη είναι ένα από τα σημαντικότερα ρίσκα των επιχειρηματικών διαδικασιών. Στη σύγχρονη διαχείριση ρίσκου το μοντέλο αναμένεται να ανιχνεύσει τα αποτελέσματα της εξάρτησης μεταξύ των πηγών οικονομικής αβεβαιότητας στις οποίες τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα είναι εκτεθειμένα. Αυτή η μέθοδος είναι πολύ αποτελεσματική δεδομένου της συνεχώς αυξανόμενης πολυπλοκότητας των διαδικασιών (Han et al., 2015).

Η χρηματιστηριακή αγορά είναι ένα σύνθετο σύστημα μέσα στο οποίο οι επενδυτές πρέπει να κάνουν ένα συγκερασμό μεταξύ ρίσκου και απόδοσης σε ένα αβέβαιο περιβάλλον. Το πρώτο κλασικό μοντέλο επιλογής προτάθηκε από τον Markowitz το 1952 και χρησιμοποιούσε το κλασικό μοντέλο μέσης τιμής-διακύμανσης. Το συγκεκριμένο μοντέλο παρότι αρκετά χρήσιμο έχει κάποια σοβαρά μειονεκτήματα όπως η χαμηλή διαφοροποίηση του χαρτοφυλακίου (portfolio).

Το μοντέλο του Markowitz μέσης τιμής-διακύμανσης το οποίο βασίζεται στην υπόθεση ότι οι αποδόσεις των κεφαλαίων ακολουθούν κανονική κατανομή αποτέλεσε βασικό εργαλείο στην επιλογή χαρτοφυλακίου (Board et al., 2008). Όμως οδηγεί πολύ συχνά σε χαρτοφυλάκια πολύ συγκεντρωμένα σε μικρό αριθμό μετοχών κάτι που αποκλίνει από το σκοπό της διαφοροποίησης (Bera et al., 2008). Για το λόγο αυτό για κατανομές ασύμμετρες ή μη κανονικές απαιτείται ένα διαφορετικό μέτρο το οποίο να είναι πιο δυναμικό και γενικό από τη διασπορά και να μην εξαρτάται από συγκεκριμένες κατανομές. Η εντροπία αποτελεί ένα κλασικό μέτρο της διαφορετικότητας (Zhou et al., 2013).

Έτσι έγινε προσπάθεια δόμησης ενός χαρτοφυλακίου μέσα από τη δημιουργία ενός μοντέλου που συνδυάζει μεση τιμή-διακύμανση με τη χρήση της υβριδικής εντροπίας. Ορίζεται σαν απόδοση της μετοχής η ασαφής μέση τιμή και σαν ρίσκο η διακύμανση μαζί με την υβριδική εντροπία. Η ασαφής λογική είναι πολύ χρήσιμη για αβέβαια και ταχέως μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα όπως η χρηματιστηριακή αγορά. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους δείκτες της Κίνας, τον Shanghai και τον Shenzhen. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το νέο μοντέλο MVHEM, έχει καλύτερη απόδοση από τα μέχρι τώρα μοντέλα επιλογής (Zhou et al., 2015 c).

Κατά τη δημιουργία ενός χαρτοφυλακίου πρέπει να αποφασίσουμε πως θα διανείμουμε τα χρήματα του επενδυτή σε μια ομάδα μετοχών προκειμένου να εξασφαλίσουμε ένα συγκερασμό μεταξύ κέρδους και ρίσκου ανάλογα με τις διαθέσεις του. Οι τεχνικές χρήσης της διακύμανσης βασίζονται μόνο στις πρώτης και δεύτερης τάξης αποδόσεις και έτσι είναι ανεπαρκείς στο να εξηγήσουν μεγαλύτερης τάξης που συνδέονται με μη-κανονικές κατανομές (Zhou et al., 2016). Η εντροπία είναι πιο πειστική από τη διακύμανση ως μέτρο ρίσκου για τον στρατηγικό σχεδιασμό ενός χαρτοφυλακίου (Simonelli, 2005). Έτσι χρησιμοποιήθηκε και η έννοια της ασαφούς εντροπίας προκειμένου να μετρηθεί η αβεβαιότητα. Όπως αποδεικνύουν και

τα αποτελέσματα αυτό το μέτρο δίνει πιο διαφοροποιημένο χαρτοφυλάκιο (Zhou et al., 2016).

Στην εργασία του Jaynes (1957) χρησιμοποιείται η τεχνική της μέγιστης εντροπίας για τη δημιουργία χαρτοφυλακίου περιουσιακών στοιχείων. Όπως αναφέρεται "η εντροπία είναι το λιγότερο επηρεασμένο εργαλείο για τον υπολογισμό της δοσμένης πληροφορίας" (Jaynes, 1957). Είναι μέγιστη όταν υπάρχει αβεβαιότητα. Για παράδειγμα η κατανομή πιθανότητας η οποία μεγιστοποιεί την εντροπία για το διάστημα [0,1] είναι η ομοιόμορφη κατανομή. Η εντροπία αποτέλεσε βασικό στοιχείο της θεωρίας πληροφοριών και από τη στιγμή που οι επενδυτές αντιδρούν στην πληροφορία και κάνουν κινήσεις φαντάζει ως το πλέον φυσικό εργαλείο για την εφαρμογή του στην οικονομία. Μεγιστοποιώντας την εντροπία βρίσκουμε την κατανομή πιθανότητας που είναι περισσότερο ανεπηρέαστη και συμφωνεί με την πληροφορία που παρέχεται από την αγορά (Neri et al., 2012).

Επιπλέον αναφορά της εντροπίας ως μέτρο της διαφοροποίησης χαρτοφυλακίου βρίσκουμε και στην εργασία των Carmichael et al. (2015) που χρησιμοποιεί την τετραγωνική εντροπία, η οποία έχει τέσσερα χαρακτηριστικά που την καθιστούν ιδανική για τη συγκεκριμένη δουλειά. Το πρώτο είναι ότι πληροί εκ των προτέρων βασικές ιδιότητες της διαφοροποίησης. Δεύτερον ενοποιεί τα διάφορα μέτρα της διαφοροποίησης χαρτοφυλακίου που υπάρχουν στη βιβλιογραφία δίνοντας τους ένα θεωρητικό υπόβαθρο σαν ειδικές περιπτώσεις της εντροπίας. Τρίτον παρέχει μια ευέλικτη αλλά και επίσημη προσέγγιση για τους διαχειριστές κεφαλαίων προκειμένου να αναπτύξουν νέα διαφοροποιημένα χαρτοφυλάκια με οποιοδήποτε είδος και χαρακτηριστικά μετοχών και τέλος παρέχει προστασία από το λεγόμενο συστηματικό ρίσκο.

Ο Nicolosi (2016) εισήγαγε τη δυναμική συγκεντρωτική εντροπία για να αξιολογήσει ποσοτικά επιλογές χαρτοφυλακίου.

Ο Ou et al., (2005) χρησιμοποίησε τη σταδιακή εντροπία ως μέτρο κεφαλαιακής αύξησης η οποία μετράει το χρόνο που χρειάζεται ένα κεφάλαιο για να διπλασιαστεί. Η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι όταν η πιθανότητα κέρδους και ζημίας είναι ίδια, αν η πιθανή ζημία ανέρχεται στο 100% του κεφαλαίου, τότε όσο μεγάλο και αν είναι το πιθανό κέρδος ο επενδυτής δεν πρέπει να επενδύσει παραπάνω από το 50%

του συνολικού κεφαλαίου του. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα για τις επενδύσεις υψηλού ρίσκου.

Στην εργασία των Dedu et al., (2015) έχει γίνει προσπάθεια να δημιουργηθούν τεχνικές για μοντελοποίηση των οικονομικών δεδομένων και επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων βασισμένες στη θεωρία πληροφορίας και στη θεωρία ρίσκου. Η εντροπία σαν έννοια παρέχει ένα μέτρο αβεβαιότητας που σχετίζεται με μια τυχαία μεταβλητή. Ακόμα στη σύγχρονη θεωρία χαρτοφυλακίου η εντροπία θεωρείται ένα σημαντικό μέτρο της διαφοροποίησης. Πιο συγκεκριμένα σε πρώτο στάδιο γίνεται η σχεδίαση του χαρτοφυλακίου με διάφορες τεχνικές και στη συνέχεια εκτιμάται ο βαθμός διαφοροποίησης τους με διάφορα μέτρα της εντροπίας.

Η εντροπία από τη θεωρία πληροφορίας μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει το ρίσκο κάποιων ομολόγων και συγκρίνεται με άλλα μέτρα όπως η διακύμανση, η κυρτότητα και τη μέγιστη πιθανή ζημία. Όπως αναφέρεται η διακύμανση είναι η μέση απόσταση από τη μέση τιμή του δείγματος ενώ αντίθετα η εντροπία είναι η μέση απόσταση από την πιθανότητα μια τυχαία μεταβλητή να έχει ομοιόμορφη κατανομή. Η εντροπία μετράει το όλο σύστημα χωρίς να υπολογίζει διακύμανση και συμμεταβλητότητα το οποίο σημαίνει ότι είναι μια απλή μέθοδος με καλύτερη δυναμική αίσθηση. Από τη στιγμή μάλιστα που τα οικονομικά δεδομένα δεν είναι κανονικά κατανεμημένα εξαιτίας ψηλότερων κορυφών και πλατιών ουρών είναι επιτακτική η ανάγκη για εντοπισμό διαφορών μεταξύ των διάφορων μέτρων. Η διακύμανση υστερεί γιατί δεν μπορεί να περιγράψει μεταβλητές που δεν είναι κανονικά κατανεμημένες. Ακόμα η κυρτότητα δίνει μεγαλύτερη σημασία στα τωρινά δεδομένα παρά στα παλαιότερα και επίσης χαρακτηρίζει μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και όχι το ομόλογο συνολικά. Οπότε συνολικά καταλαβαίνουμε ότι η εντροπία είναι το καλύτερο μέτρο για την μέτρηση του ρίσκου σε μια μετοχή ή σε ένα ομόλογο (Zhou et al., 2015 a,b).

Οι Zhou et al., (2013) χρησιμοποίησαν την εντροπία για την αξιολόγηση των παραγώγων ασφάλισης. Τα παράγωγα ασφάλισης είναι συμβόλαια που αποτιμώνται με βάση μελλοντικές τιμές των ασφαλισμένων μετοχών.

Ένα σημαντικό πρόβλημα στην εκτίμηση των παραγώγων συνίσταται στο να βρεθούν ταιριαστές συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας για την υποκείμενη μετοχή έτσι ώστε οι παρατηρούμενες τιμές της αγοράς να συμφωνούν με την τιμολόγηση

μηδενικού ρίσκου. Η εντροπία παρέχει ένα ξεκάθαρο κριτήριο επίλυσης του προβλήματος αυτού με τον πιο αμερόληπτο τρόπο και για αυτό γίνεται όλο και πιο συχνή η χρήση της στην οικονομία (Nerri et al., 2013).

Σύμφωνα με τους Stosic et al., (2016), η αγορά συναλλάγματος επίσης παίζει σπουδαίο ρόλο στην παγκόσμια αγορά καθότι έχει τη μεγαλύτερη ρευστότητα και τα αποτελέσματα της φαίνονται με την πάροδο του χρόνου στην πραγματική οικονομία όπως στις εισαγωγές και εξαγωγές. Για το λόγο αυτό μια προσπάθεια κατανόησης των δυναμικών αυτής της αγοράς θα μας επιτρέψει να είμαστε καλύτερα προετοιμασμένοι απέναντι στις επερχόμενες οικονομικές κρίσεις. Έτσι με τη χρήση της εντροπίας μελετήθηκαν οι επιπτώσεις των οικονομικών κρίσεων στην αγορά συναλλάγματος. Τα εμπειρικά αποτελέσματα έδειξαν ότι οι οικονομικές κρίσεις συνδέονται με σημαντικές αυξήσεις στο ρυθμό ανταλλαγής εντροπίας προκαλώντας αστάθεια στην αγορά συναλλάγματος. Παρατηρήθηκε ακόμα ότι αγορές με μεγάλη ρευστότητα και μεγάλο όγκο συναλλαγών είναι πιο ανθεκτικές και ξεπερνούν γρηγορότερα μια οικονομική κρίση από ότι αγορές με μικρότερη ρευστότητα. Ακόμα φάνηκε από τα αποτελέσματα ότι πριν από περιόδους οικονομικής αβεβαιότητας παρατηρούνται χαμηλές τιμές εντροπίας κάτι που μπορεί να χρησιμεύσει σαν δείκτης πρόβλεψης.

Εξαιτίας της αδυναμίας της θεωρίας της αποτελεσματικής αγοράς να εξηγήσει την επιμονή κάποιων μοτίβων όλο και νέες θεωρίες έρχονται στην επιφάνεια. Οι περισσότερες από αυτές βασίζονται στην ανθρώπινη ψυχολογική μεροληψία και εντάσσονται σε αυτό που ονομάζουμε συμπεριφορική οικονομική. Αυτά τα μοτίβα απεικονίζουν τη μεταφορά της πληροφορίας στο επενδυτικό κοινό. Από τη στιγμή που η πληροφορία είναι η μείωση της εντροπίας και όλες οι ανθρώπινες ενέργειες είναι ουσιαστικά εντροπικές διαδικασίες, είναι φυσικό να προσπαθούμε να αντιληφθούμε την ανθρώπινη ψυχολογία με όρους εντροπίας. Ο Maxwell με το πείραμα στην ενότητα 1.2.1 κατέληξε ότι το φυσικό κόστος απόκτησης της πληροφορίας πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο ίσο με την αξία της πληροφορίας (Chen, 2003).

Για παράδειγμα, αν μια αναπάντεχη αύξηση των εταιρικών κερδών είναι γνωστή σε πολύ λίγους τότε η αξία της είναι πολύ μεγάλη και μπορεί να επιφέρει πολύ μεγάλα κέρδη. Ενώ αντίθετα αν είναι ευρέως γνωστή τότε η αξία της μικραίνει και δεν

μπορούν να αποκτηθούν μεγάλα κέρδη. Επίσης λέγεται ότι το κόστος της πληροφορίας έχει μειωθεί με το πέρασμα των χρόνων αλλά την ίδια στιγμή έχει ελαττωθεί σημαντικά και η αξία της. Ακριβώς επειδή η πληροφορία μεγάλης αξίας που μπορούν να αποκτήσουν και να καταλάβουν λίγοι είναι καλά φυλαγμένη.

Όμως ακόμα και αν η πληροφορία διανεμόταν δωρεάν δεν θα μπορούσαν να την κατανοήσουν όλοι. Από την εντροπία του Shannon προκύπτει ότι η ποσότητα της πληροφορίας που μπορεί κάποιος να αποκτήσει είναι ίση με την ποσότητα

$$R= H(x)-H_y(x)$$

Η υπό συνθήκη εντροπία καλείται αμφισημία και συμβολίζει τη σχέση του δέκτη με το είδος της πληροφορίας. Αν αυτά τα δύο είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους τότε το σύνολο της πληροφορίας που μπορεί να μεταδοθεί είναι 0. Συμβολίζεται δηλαδή η ασυμμετρία της πληροφορίας. Όσο μεγαλύτερη γνώση του αντικειμένου (συσχέτιση) έχει ο δέκτης της πληροφορίας τόσο μεγαλύτερη πληροφορία μπορεί να αποκτήσει (Chen, 2003).

Έτσι η εντροπία παρέχει ένα ποσοτικό μέτρο της ασυμμετρίας της πληροφορίας και δείχνει ότι το κόστος απόκτησης είναι θετικά συσχετισμένο με την αξία της πληροφορίας. Επιπρόσθετα ο πλούτος της πληροφορίας που προκύπτει από τα οικονομικά δεδομένα που παράγονται συνεχώς μας δίνει τη δυνατότητα να ξανασκεφτούμε τις δομές πάνω στις οποίες έχουν στηριχθεί πολλές οικονομικές θεωρίες (Chen, 2003).

Οι Zunino et al., (2016), εφάρμοσαν τη μεταθετική ελάχιστη εντροπία για τη μελέτη των δομών στις ημερήσιες τιμές των ευρωπαϊκών δεικτών εταιρικών ομολόγων από Απρίλιο 2001 έως τον Αύγουστο του 2015. Μια τέτοια δυναμική ανάλυση καθιστά δυνατή τη λήψη σχετικών συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση που είχε η πιστωτική κρίση του 2008 για τους διάφορους κλάδους των Ευρωπαϊκών αγορών . Προσπάθησαν δηλαδή μέσω της μεταθετικής εντροπίας να ανακαλύψουν κρυφούς δεσμούς και σχέσεις κατά τη διάρκεια οικονομικών περιόδων. Μέσα από τα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι κλάδοι όπως οι τράπεζες, οι οικονομικές υπηρεσίες και οι ασφάλειες επηρεάστηκαν σφοδρά από την οικονομική κρίση όπως αναμενόταν άλλωστε ενώ αντίθετα άλλοι κλάδοι όπως η εστίαση, η υγεία ή τα φάρμακα ήταν πιο

ανθεκτικοί. Τέλος όλοι οι κλάδοι εμφανίζονται συγχρονισμένοι πριν την κρίση ενώ μετά από αυτή αποσυνδέονται γρήγορα.

Τέλος έχουν μελετηθεί διάφορες γενικεύσεις της εντροπίας του Shannon που χρησιμοποιούνται με σκοπό τη μέγιστη αποδοτικότητα των εργαλείων που είναι απαραίτητα για την ανάλυση προβλημάτων στα οικονομικά μαθηματικά (Hoseinzadeh et al., 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΡΗΜΑΤΙΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ ΧΩΡΩΝ

2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ

Συνοψίζοντας λοιπόν το προηγούμενο κεφάλαιο αντιλαμβανόμαστε οτι η εντροπία έχει χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών στην οικονομία. Στην παρούσα εργασία θα τη χρησιμοποιήσουμε κυρίως για να μελετήσουμε την επίδραση της παγκόσμιας χρηματοοικονομικής κρίσης του 2007-2009 στους χρηματιστηριακούς δείκτες αναπτυσσόμενων χωρών. Βέβαια η ερευνά μας δεν θα περιοριστεί μόνο σε αυτό αλλά θα προσπαθήσει να εξάγει συμπεράσματα τόσο για τη φύση και σχέση των χρηματιστηρίων αυτών όσο και για τα δομικά χαρακτηριστικά της ίδιας της εντροπίας και τους τρόπους χρήσης και ανάγνωσης της. Πιο συγκεκριμένα τα χρηματιστήρια με τα οποία θα ασχοληθούμε είναι τα εξής: Κίνα, Χονγκ Κονγκ, Ινδία, Ινδονησία, Μεξικό, Σιγκαπούρη, Νότια Κορέα και Ταϊβάν.

Όπως αναλύθηκε στο πρώτο κεφάλαιο η οικονομία είναι ένα δυναμικά πολύπλοκο σύστημα. Οι σχέσεις και οι αλληλοσυσχετίσεις των στοιχείων που την απαρτίζουν την οδηγούν σε συνεχείς διακυμάνσεις και μεταβολές. Επιπρόσθετα μεγάλο ρόλο στις μεταβολές αυτές παίζουν όχι μόνο ενδογενείς αλλά και εξωγενείς παράγοντες. Με άλλα λόγια η οικονομία είναι ένα συνεχώς εξελισσόμενο σύστημα το οποίο δεν έχει ένα μοναδικό σημείο ισορροπίας αλλά αντίθετα μέσω της θετικής ανατροφοδότησης που τη χαρακτηρίζει οδηγείται συνεχώς σε νέα σημεία ισορροπίας. Είναι ξεκάθαρο λοιπόν οτι τα γραμμικά μοντέλα δεν θα μπορούσαν να φωτίσουν όλες τις πτυχές της. Χρησιμοποιώντας την εντροπία θα προσπαθήσουμε να λάβουμε όλες εκείνες τις πληροφορίες που ελλοχεύουν μέσα στη μη-γραμμικότητα και ασυμμετρία της αγοράς.

Αρχικά θα μελετήσουμε μεμονωμένα την κάθε αγορά και στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να ανακαλύψουμε συσχετίσεις και ομοιότητες μεταξύ τους. Η περίοδος που μελετήσαμε είναι από 02/07/1997 έως 01/07/2016 με συνολικά 4958 παρατηρήσεις. Τα δεδομένα των τιμών για την αγορά κάθε χώρας λήφθηκαν από το "Yahoo-finance". Ένα σημείο που πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα είναι οτι αρχικά δεν υπήρχε ολοκληρωτική ταύτιση των ημερομηνιών λειτουργίας και των 8 χρηματιστηρίων. Για το λόγο αυτό χρειάστηκε αρχικά να ελέγξουμε μία μία κάθε ημερομηνία οτι υπάρχει σε κάθε χρηματιστήριο και αν όχι να την προσθέσουμε έτσι

ώστε να υπάρχει αντιστοιχία τιμών και ημερομηνίας. Η παραπάνω ενέργεια είναι απαραίτητη προκειμένου να είναι δυνατός ο συγχρονισμός των δεδομένων. Στη συνέχεια μετασχηματίσαμε τις τιμές των δεικτών σε αποδόσεις για να τις καταστήσουμε στάσιμες. Έτσι λοιπόν δημιουργήσαμε τις χρονολογικές σειρές των αποδόσεων χρησιμοποιώντας τον τύπο dl=ln(x(t))-ln(x(t-1)) . Όπου x(t) είναι η τιμή του χρηματιστηρίου x τη χρονική στιγμή t και x(t-1) είναι η τιμή του χρηματιστηρίου την ακριβώς προηγούμενη χρονική στιγμή.

Στην ανάλυση μας ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στην επίδραση που έχουν οι οικονομικές κρίσεις στη δυναμική χρηματιστηριακών δεικτών της εκάστοτε χώρας. Η κυριότερη οικονομική κρίση που έγινε αισθητή σε ολόκληρο τον κόσμο για το διάστημα που μελετάμε ήταν αυτή από το Δεκέμβριο του 2007 έως τον Ιούνιο του 2009 και θεωρείται η μεγαλύτερη διεθνής ύφεση μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Η χρηματοοικονομική κρίση αυτή ξεκίνησε στις ΗΠΑ από την αγορά στεγαστικών δανείων χαμηλής εξασφάλισης το καλοκαίρι του 2007. Η εξέλιξη της όμως υπήρξε ραγδαία και μετατράπηκε σε κρίση του παγκόσμιου χρηματοπιστωτικού συστήματος με άμεσες επιπτώσεις και στην πραγματική οικονομία. Μία αλληλουχία λοιπόν από γεγονότα, που μέχρι τότε φάνταζαν απίθανα, κατακρήμνισαν τους παγκόσμιους ρυθμούς ανάπτυξης και αύξησαν την ανασφάλεια στο σύνολο των χωρών. Επειδή η ένταση και η έκταση της αύξαναν συνεχώς, κυβερνήσεις, τράπεζες, αναλυτές, επιχειρηματίες και καταναλωτές αναγκάζονταν να αναθεωρούν συνεχώς τις εκτιμήσεις και τις προσδοκίες τους. Σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης της κρίσης επιστρατεύτηκαν αδιανόητες μέχρι τότε τακτικές όπως η κρατικοποίηση των τραπεζών. Έτσι αντιλήψεις περί συνεχούς ευημερίας και αυτορρύθμισης των αγορών κατέρρευσαν πανηγυρικά.

Επιπρόσθετα θα μελετηθούν οικονομικές κρίσεις μικρότερης έντασης που μπορεί να μην έγιναν αισθητές σε όλες τις αγορές με τις οποίες θα ασχοληθούμε. Στη συνέχεια λοιπόν θα γίνει ανάλυση για κάθε μία αγορά ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα για κάθε χώρα θα αναλύσουμε 5 γραφήματα. Το πρώτο θα είναι η πορεία του χρηματιστηριακού δείκτη της εκάστοτε χώρας στο χρονικό διάστημα μελέτης μας. Το δεύτερο γράφημα κάθε χώρας θα είναι το ιστόγραμμα των λογαριθμικών της διαφορών (αποδόσεων) από το οποίο θα προσπαθήσουμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για την εκάστοτε κατανομή. Το τρία επόμενα γραφήματα αφορούν στην εντροπία του κάθε χρηματιστηρίου. Το τρίτο γράφημα λοιπόν θα παρουσιάζει

την εξέλιξη της εντροπίας σε κάθε χρηματιστήριο ανά έτος μεμονωμένα και χωρίς επικάλυψη (1997-2016). Το τέταρτο γράφημα θα αφορά την εξέλιξη της εντροπίας σε 48 χρονικά διαστήματα, με επικάλυψη. Πιο αναλυτικά έχοντας το σύνολο των παρατηρήσεων μας, θα πάρουμε τις τιμές της εντροπίας για τις 250 πρώτες παρατηρήσεις και στη συνέχεια θα προχωράμε στο επόμενο διάστημα με βήμα 100. Προκύπτουν λοιπόν έτσι 48 χρονικά διαστήματα που στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζεται το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που αντιπροσωπεύει το καθένα.

Πίνακας 1: Αντιστοίχιση διαστημάτων

Διάστημα	Χρονική περίοδος	Διάστημα	Χρονική περίοδος
1	03/07/1997-18/06/1998	25	14/09/2006-30/08/2007
2	20/11/1997-05/11/1998	26	01/02/2007-17/01/2008
3	09/04/1998-25/03/1999	27	21/06/2007-05/06/2008
4	27/08/1998-12/08/1999	28	08/11/2007-23/10/2008
5	14/01/1999-30/12/1999	29	27/03/2008-12/03/2009
6	03/06/1999-18/05/2000	30	14/08/2008-30/07/2009
7	21/10/1999-05/10/2000	31	01/01/2009-17/12/2009
8	09/03/2000-22/02/2001	32	21/05/2009-06/05/2010
9	27/07/2000-12/07/2001	33	08/10/2009-23/09/2010
10	14/12/2000-29/11/2001	34	25/02/2010-10/02/2011
11	03/05/2001-18/04/2002	35	15/07/2010-30/06/2011
12	20/09/2001-05/09/2002	36	02/12/2010-17/11/2011
13	07/02/2002-23/01/2003	37	21/04/2011-05/04/2012
14	27/06/2002-12/06/2003	38	08/09/2011-23/08/2012
15	14/11/2002-30/10/2003	39	26/01/2012-10/01/2013
16	03/04/2003-18/03/2004	40	14/06/2012-30/05/2013
17	21/08/2003-05/08/2004	41	01/11/2012-17/10/2013
18	08/01/2004-23/12/2004	42	21/03/2013-06/03/2014
19	27/05/2004-12/05/2005	43	08/08/2013-24/07/2014
20	14/10/2004-29/09/2005	44	26/12/2013-11/12/2014
21	03/03/2005-16/02/2006	45	15/05/2014-30/04/2015
22	21/07/2005-06/07/2006	46	02/10/2014-17/09/2015
23	08/12/2005-23/11/2006	47	19/02/2015-04/02/2016
24	27/04/2006-12/04/2007	48	07/09/2015-23/06/2016

Τέλος με το πέμπτο γράφημα θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά της εντροπίας μέσα στην περίοδο της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης 2007-2009 αλλά και στα διαστήματα πριν και μετά. Για το λόγο αυτό αφού είδαμε ότι το διάστημα της κρίσης (12/2007-06/2009) αντιπροσωπεύει 411 τιμές στις παρατηρήσεις μας, χρησιμοποιήσαμε ένα δείγμα 411 παρατηρήσεων πριν ακριβώς από την κρίση και ένα δείγμα 411 παρατηρήσεων ακριβώς μετά την κρίση (για να έχουμε ίδιο δείγμα παρατηρήσεων). Έτσι το διάστημα 1 θα αντιπροσωπεύει το διάστημα προ κρίσης, το

διάστημα 2 το διάστημα μέσα στην κρίση και το διάστημα 3, το διάστημα μετά την κρίση.

Αφού περιγράψαμε λοιπόν τον τρόπο ανάλυσης που θα χρησιμοποιήσουμε θα παρουσιάσουμε μία προς μία κάθε χώρα μελέτης.

2.2 ΚΙΝΑ

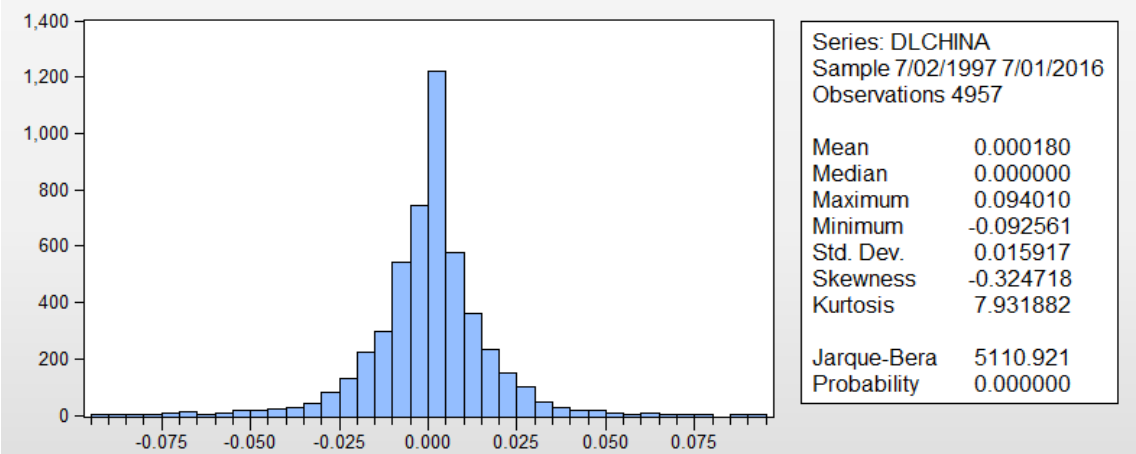
Αρχίζοντας την ανάλυση μας με την Κίνα παρακάτω παρουσιάζεται η εξέλιξη των τιμών του χρηματιστηρίου της.

Διάγραμμα 1: Χρηματιστηριακός δείκτης Κίνας

Από το διάγραμμα 1 είναι εμφανής η μεγάλη άνοδος από το 2006 έως το 2007 αλλά και η μεγάλη πτώση που ακολούθησε την περίοδο της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης 2007-2009 από την οποία δεν ξέφυγε η Κίνα όπως και αναμενόταν. Αξιοσημείωτη επίσης είναι και η άνοδος που παρατηρείται την περίοδο 2014-2015 αλλά και την πτώση που ακολουθεί την περίοδο 2015-2016. Οι αναταραχές που παρατηρούνται από το Μάιο του 2015 στις διεθνείς χρηματοοικονομικές αγορές, δημιουργούν το ενδεχόμενο μιας νέας παγκόσμιας οικονομικής κρίσης αντίστοιχης ή ακόμα και χειρότερης εκείνης του 2007-2009. Η εκδήλωση παγκόσμιου κραχ θεωρείται πλέον ένα αρκετά πιθανό σενάριο, καθότι η καθίζηση της κινεζικής χρηματιστηριακής αγοράς από τις αρχές του καλοκαιριού του 2015, προκαλεί σοβαρούς κλυδωνισμούς σε όλα τα χρηματιστήρια του κόσμου. Αξιοσημείωτο είναι ότι από τις αρχές του 2016 έως τέλος Φεβρουαρίου 2016, όλα τα χρηματιστήρια του

κόσμου έχουν απολέσει το 20% της κεφαλαιακής τους αξίας, που ισοδυναμεί σχεδόν με 10 τρις δολάρια. Την ίδια στιγμή, οι εκροές ξένων κεφαλαίων από την κινεζική οικονομία ανέρχονται σε εκατοντάδες δις $, κάτι που αποσταθεροποιεί όχι μόνο το κινεζικό αλλά και το διεθνές τραπεζικό σύστημα. Κατά τη διάρκεια του 2015 οι εκροές ξένων κεφαλαίων από την Κίνα ανήλθαν σε 1.000 δις $ και συνεχίστηκαν με αμείωτη ένταση και το 2016.

Στο σημείο αυτό θα απεικονίσουμε το ιστόγραμμα αποδόσεων του χρηματιστηρίου της Κίνας το οποίο λάβαμε εισάγοντας τα δεδομένα στο πρόγραμμα Eviews.

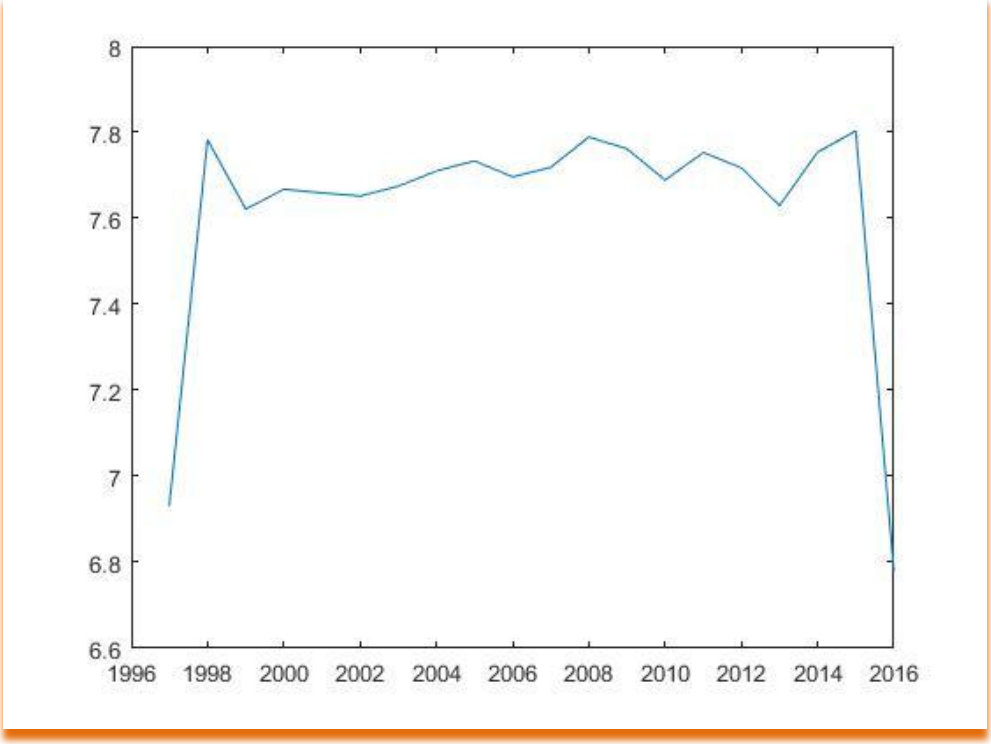


Διάγραμμα 2: Ιστόγραμμα αποδόσεων Κίνας

Παρατηρούμε ότι τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφανίζουν λογαριθμικές διαφορές κοντά στο 0 ενώ χαρακτηριστικό είναι το μέτρο της κύρτωσης. Δύο ή περισσότερες κατανομές συχνοτήτων με τον ίδιο αριθμό παρατηρήσεων είναι δυνατό να διαφέρουν μεταξύ τους, παρά το γεγονός ότι έχουν το ίδιο μέσο , την ίδια διακύμανση και τον ίδιο συντελεστή ασυμμετρίας. Η αιτία μιας τέτοιας διαφοράς βρίσκεται στο βαθμό συγκέντρωσης των τιμών της μεταβλητής γύρω από τον μέσο και τα άκρα της κατανομής. Για την περιγραφή και τη μέτρηση αυτού του χαρακτηριστικού χρησιμοποιούμε τον όρο κύρτωση της κατανομής. Ως βάση σύγκρισης για το χαρακτηρισμό μιας κατανομής ως περισσότερο ή λιγότερο κυρτής συνήθως χρησιμοποιείται η κανονική κατανομή, η οποία έχει συντελεστή κύρτωσης 3. Έτσι, αν $K > 3$ τότε η κατανομή είναι λεπτόκυρτη, αν $K = 3$ τότε η κατανομή είναι μεσόκυρτη, ενώ αν $K < 3$ τότε η κατανομή είναι πλατύκυρτη. Στην περίπτωση της Κίνας βλέπουμε ότι η κύρτωση είναι μεγαλύτερη του 3 και έτσι χαρακτηρίζεται λεπτόκυρτη.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα γραφήματα που προέκυψαν με τη χρήση της εντροπίας για το χρηματιστήριο της Κίνας με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab.

Το πρώτο διάγραμμα απεικονίζει τη μεταβολή της εντροπίας στο διάστημα μελέτης μας. Έτσι ομαδοποιήσαμε τις παρατηρήσεις μας για κάθε έτος ξεχωριστά (χωρίς επικάλυψη) και λάβαμε το ακόλουθο γράφημα.

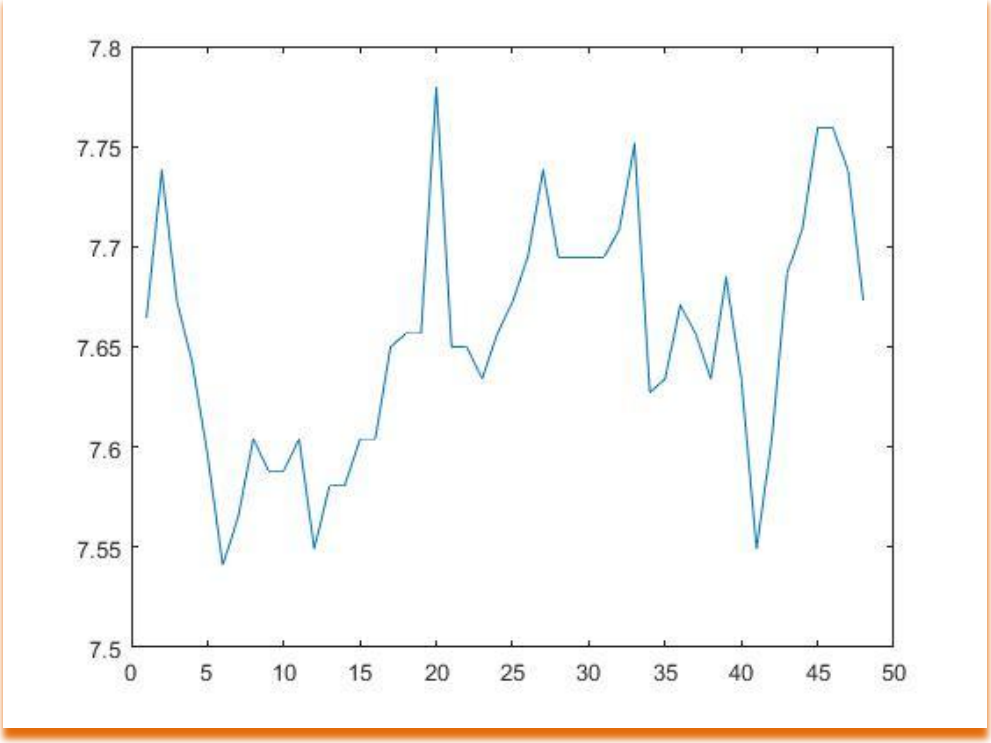


Διάγραμμα 3: Εντροπία κάθε έτους Κίνας

Η τιμή της εντροπίας για την κατανομή μας επηρεάζεται από το μέγεθος του δείγματος και για το λόγο αυτό δεν θα ασχοληθούμε με τις χαμηλές τιμές των ετών 1997 και 2016 καθώς έχουν λιγότερες παρατηρήσεις από τα υπόλοιπα. Σύμφωνα με το διάγραμμα 3 οι υψηλότερες τιμές της εντροπίας παρατηρούνται το 1998, το 2009 και το 2015 ενώ αντίστοιχα οι χαμηλότερες τιμές τα έτη 1999 και 2013. Όπως αναφέραμε και προηγούμενα υψηλές τιμές εντροπίας συνεπάγονται υψηλή αβεβαιότητα. Για το λόγο αυτό θα περιμέναμε σε περιόδους πριν την κρίση να έχουμε υψηλή εντροπία δηλαδή ασυσχέτιστες τιμές ενώ αντίθετα σε περιόδους κρίσεων αναμένουμε να υπάρχει πολύ υψηλή συσχέτιση των παρατηρήσεων λόγω του μεγάλου όγκου πληροφορίας που κρύβεται μέσα και άρα χαμηλές τιμές εντροπίας. Μάλιστα από τη βιβλιογραφία προκύπτει οτι το μέτρο της εντροπίας μπορεί να λειτουργήσει προβλεπτικά για επερχόμενες κρίσεις σημειώνοντας μέγιστα πριν από

αυτές. Με τα επόμενα διαγράμματα θα προσπαθήσουμε να δούμε αν επαληθεύονται τα παραπάνω ή ακόμα και να βγάλουμε καινούρια συμπεράσματα που δεν έχουν εξαχθεί ακόμα.

Στο διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η εξέλιξη της εντροπίας σε χρονικά μεταβαλλόμενα παράθυρα χρησιμοποιώντας ένα αρχικό δείγμα 250 παρατηρήσεων με βήμα 100, όπως εξηγήσαμε στην ενότητα 2.1. Δηλαδή υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των διαστημάτων που λαμβάνονται υπόψη έτσι ώστε να έχουμε μια πληρέστερη εικόνα για την πορεία την εντροπίας. Σύνολο έχουμε 48 διαστήματα εκ των οποίων τα διαστήματα της κρίσης του 2007-2009 και 2015-2016 αντιστοιχούν στα 27-31 και 47-48.



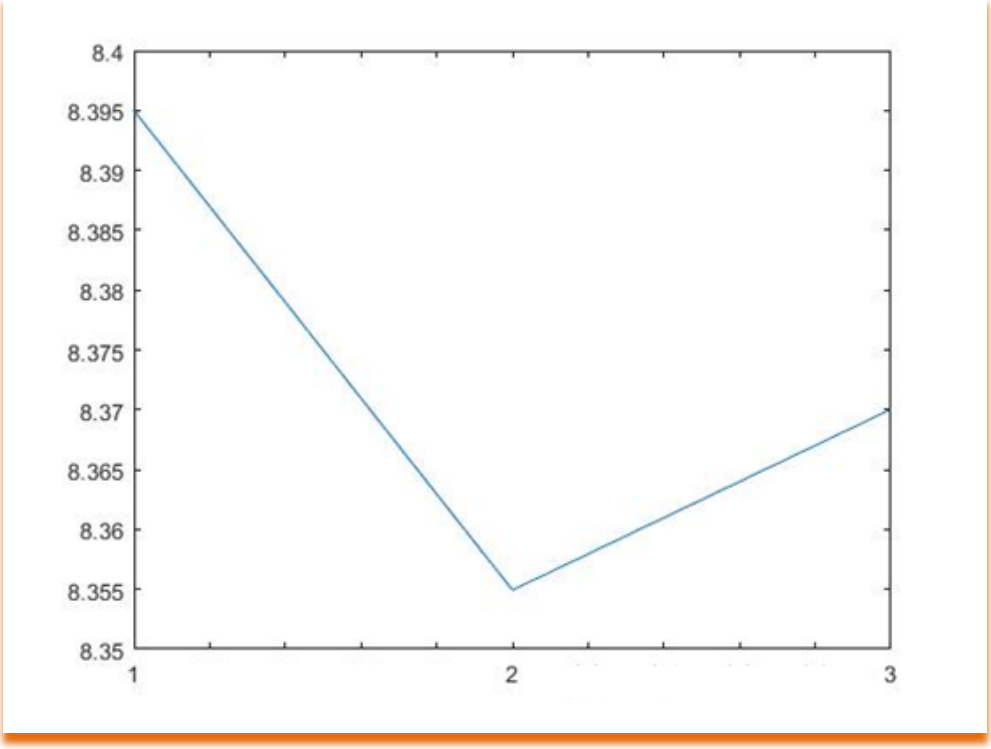
Διάγραμμα 4: Εντροπία 48 διαστημάτων Κίνας

Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα 4 η τιμή της εντροπίας παρουσίασε μία ακραία ελάχιστη τιμή στο διάστημα 6 (06/1999-05/2000) που αναφέρεται στην οικονομική κρίση το 1997-1999 που επηρέασε όλη την Ασία. Πιο συγκεκριμένα 2 Ιουλίου 1997 ξεκίνησε επισήμως η καταστροφική χρηματοοικονομική κρίση της Ασίας. Εκείνη την ημέρα, η Ταϊλάνδη εξάντλησε τα συναλλαγματικά της αποθέματα προσπαθώντας να υπερασπιστεί το νόμισμά της από κύμα κερδοσκοπικών επιθέσεων.

Αναγκάστηκε να αφήσει ελεύθερη τη διακύμανση του μπαχτ, το οποίο κατέρρευσε. Η κρίση εξαπλώθηκε γρήγορα καθώς οι επενδυτές απέσυραν τα κεφάλαιά τους από χώρες με παρόμοια οικονομικά συμπτώματα, όπως Ινδονησία, Μαλαισία και Νότια Κορέα. Πλήγμα δέχθηκαν και το Χονγκ Κονγκ, οι Φιλιππίνες, η Σιγκαπούρη και η Ταϊβάν. Ποτέ άλλοτε δεν είχε βιώσει ο κόσμος τέτοιας κλίμακας και ταχύτητας φυγή κεφαλαίων, με αποτέλεσμα την κατάρρευση αγορών και οικονομιών (www.economist.com). Από το διάγραμμα λοιπόν γίνεται εμφανές οτι η εντροπία παρουσίασε ένα μέγιστο στο διάστημα 2 (11/1997-11/98) δηλαδή στην αρχή και μέση της κρίσης, ενώ στην εξέλιξη της έως το διάστημα 6 (6/1999-5/2000) παρουσίασε τη χαμηλότερη τιμή της κάτι που δικαιολογείται από την ισχυρή συσχέτιση των αποδόσεων σε συνθήκες κρίσης. Επιπρόσθετα από το διάγραμμα φαίνεται οτι η τιμή της εντροπίας παρουσιάζει μέγιστο στο διάστημα 21 (3/2005-2/2006) που μπορεί να θεωρηθεί σημάδι της επερχόμενης κρίσης. Μέσα στην κρίση 2007-2009 δηλαδή στα διαστήματα 27-31 η εντροπία δεν παρουσιάζει κάποια αξιοσημείωτη μείωση. Ένα ακόμα ελάχιστο παρουσιάζει στο διάστημα 41 (11/2012-10/2013) ενώ στην περίοδο της ανόδου 2014-2015 η εντροπία πιάνει ένα ακόμα μέγιστο (διάστημα 45-46) για να ακολουθήσει η κρίση του 2015-2016 με την εντροπία να πέφτει αισθητά (διάστημα 47-48).

Μέχρι στιγμής το διάγραμμα μας είναι σύμφωνο με τη βιβλιογραφία. Για να επαληθεύσουμε τη θεωρία οτι η εντροπία είναι υψηλότερη πριν την κρίση ενώ κατά τη διάρκεια της κρίσης πέφτει αισθητά θα απομονώσουμε τα διαστήματα της χρηματοοικονομικής κρίσης 2007-2009. Συγκεκριμένα θα λάβουμε τις τιμές της εντροπίας για το διάστημα της κρίσης 2007-2009 (411 παρατηρήσεις) και τα διαστήματα προ κρίσης (411 παρατηρήσεις) και μετά κρίσης (411 παρατηρήσεις) χωρίς επικάλυψη αυτή τη φορά.

Στο διάγραμμα 5 λοιπόν το σημείο 1 αντιπροσωπεύει το διάστημα πριν την κρίση, το σημείο 2 το διάστημα της κρίσης ενώ το σημείο 3 το διάστημα μετά την κρίση.

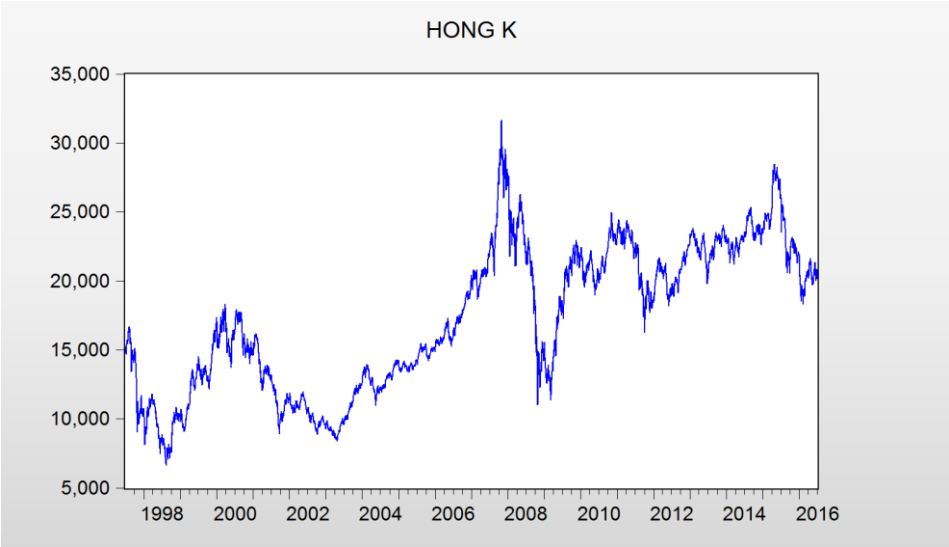


Διάγραμμα 5: Εντροπία 3 διαστημάτων Κίνας

Το διάγραμμα αποδεικνύει οτι η τιμή της εντροπίας πριν από την περίοδο της κρίσης είναι υψηλότερη ενώ μειώνεται αισθητά μέσα στην κρίση και έπειτα ανεβαίνει ξανά.

2.3 ΧΟΝΓΚ-ΚΟΝΓΚ

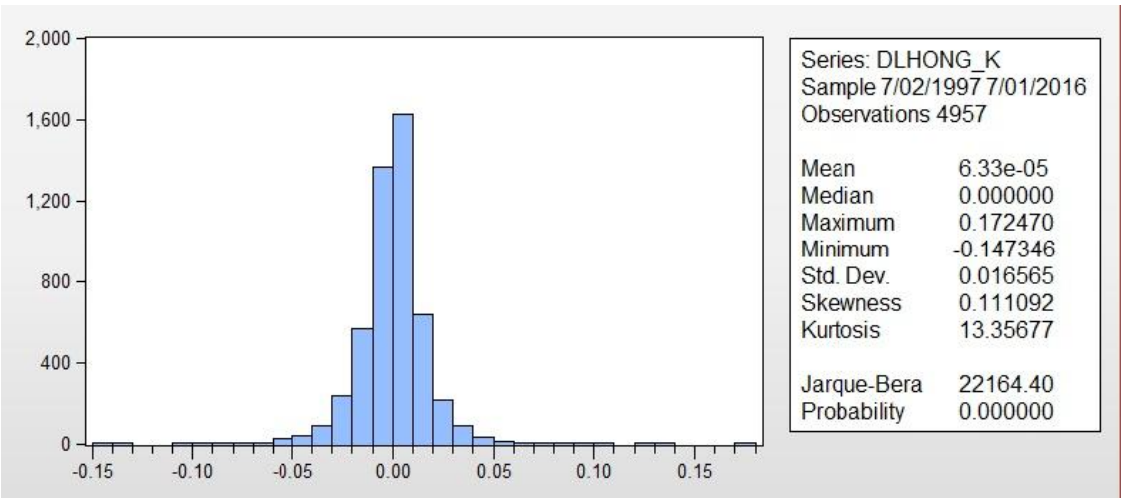
Την ίδια μέθοδο ανάλυσης θα ακολουθήσουμε και με τα υπόλοιπα χρηματιστήρια με αυτό του Χονγκ Κονγκ να ακολουθεί.



Διάγραμμα 6: Χρηματιστηριακός δείκτης Χονγκ-Κονγκ

Όπως είναι φανερό από το διάγραμμα 6, το χρηματιστήριο του Χονγκ Κονγκ επηρεάστηκε εμφανώς από τη μεγάλη ασιατική κρίση του 1997-1999 πιάνοντας την ελάχιστη τιμή για το διάστημα που μελετάμε. Αξιοσημείωτη επίσης είναι η μεγάλη άνοδος μέχρι το 2008 αλλά και η απότομη και σφοδρή πτώση που ακολούθησε επηρεαζόμενο από την παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση του 2007-2009. Τέλος παρατηρούμε την καθίζηση που ξεκινάει από το 2015 κάνοντας εμφανή την επιρροή της κινέζικης χρηματοοικονομικής κρίσης και στο Χονγκ Κονγκ όπως άλλωστε αναμενόταν.

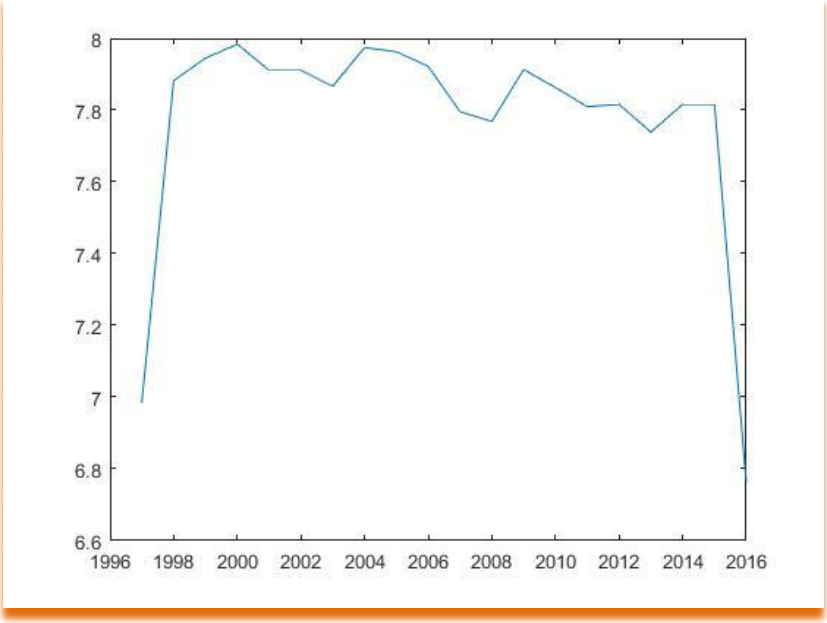
Το επόμενο γράφημα απεικονίζει το ιστόγραμμα των αποδόσεων του χρηματιστηρίου αυτού.



Διάγραμμα 7: Ιστόγραμμα αποδόσεων Χονγκ Κονγκ

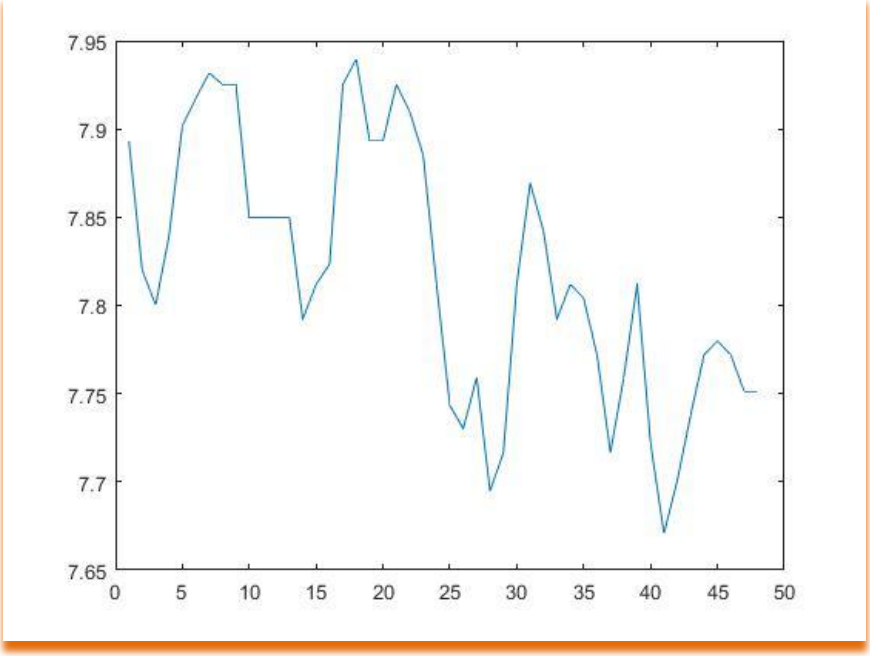
Από το διάγραμμα παρατηρούμε ποιές αποδόσεις του χρηματιστηρίου αυτού εμφάνισαν τη μεγαλύτερη συχνότητα. Επιπλέον βλέπουμε οτι το μέτρο της κύρτωσης της κατανομής είναι K=13,35 > 3 και επομένως η κατανομή χαρακτηρίζεται ως λεπτόκυρτη.

Εν συνεχεία παρουσιάζεται το διάγραμμα της εντροπίας του χρηματιστηρίου του Χονγκ Κονγκ για κάθε έτος ξεχωριστά και χωρίς επικάλυψη.



Διάγραμμα 8: Εντροπία κάθε έτους Χονγκ Κονγκ

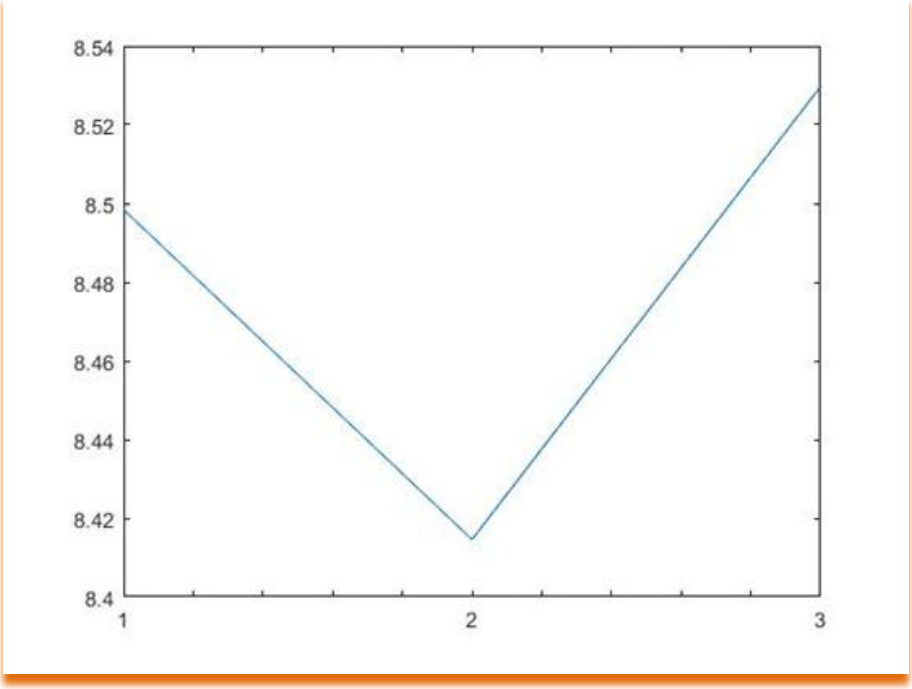
Όπως είναι εμφανές τα έτη με τη μεγαλύτερη τιμή εντροπίας ήταν το 2000 και το 2004 ενώ αντίστοιχα αυτά με τη χαμηλότερη ήταν το 2008 και το 2013. Για να έχουμε μια πιο πλήρη εικόνα θα χρησιμοποιήσουμε και το γράφημα εντροπίας των 48 διαστημάτων με επικάλυψη.



Διάγραμμα 9: Εντροπία 48 διαστημάτων Χονγκ Κονγκ

Από το γράφημα 9 παρατηρούμε οτι η εντροπία παίρνει τη μέγιστη τιμή της στο διάστημα 18 και 19 δηλαδή το 2004-2005 κάτι που ίσως σηματοδοτεί μια επερχόμενη κρίση. Αυτή την κρίση τη βλέπουμε να απεικονίζεται ξεκάθαρα με τη ραγδαία πτώση της τιμής της εντροπίας στο διάστημα 27 και 28 δηλαδή το 2007-2008 που ξεκίνησε και η παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση. Τέλος η ελάχιστη τιμή της εντροπίας εμφανίζεται το διάστημα 41 και 42 δηλαδή το 2012-2013 και είναι το ίδιο διάστημα που η εντροπία έπεσε κατακόρυφα και στην Κίνα. Η περίοδος αυτή συμπίπτει με την κρίση χρέους στην ευρωζώνη. Πιο συγκεκριμένα το 2012 ήταν η χρονιά που ψηφίστηκε για την Ελλάδα ένα πολύ σκληρό πακέτο δημοσιονομικών μέτρων. Το 2012 επίσης η Πορτογαλία αλλά και η Ισπανία αντιμετώπιζαν εξίσου σοβαρά οικονομικά προβλήματα. Ολόκληρη γενικά η Ευρώπη δέχονταν μεγάλους κλυδωνισμούς και είναι ενδεικτικό στοιχείο οτι το 2012 η ανεργία έφτασε σε ιστορικό υψηλό και η αστάθεια της Ευρωπαϊκής οικονομίας εξαπλώθηκε. Θα μπορούσε άραγε αυτή η κρίση να έχει φτάσει μέχρι την Ασία ώστε να επηρεάσει τα χρηματιστήρια της; Αυτό είναι κάτι που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Τέλος για να επιβεβαιώσουμε το αν η εντροπία είναι υψηλή πριν από περίοδο κρίσης και εν συνεχεία πέφτει θα χρησιμοποιήσουμε το διάγραμμα 3 διαστημάτων χωρίς επικάλυψη.

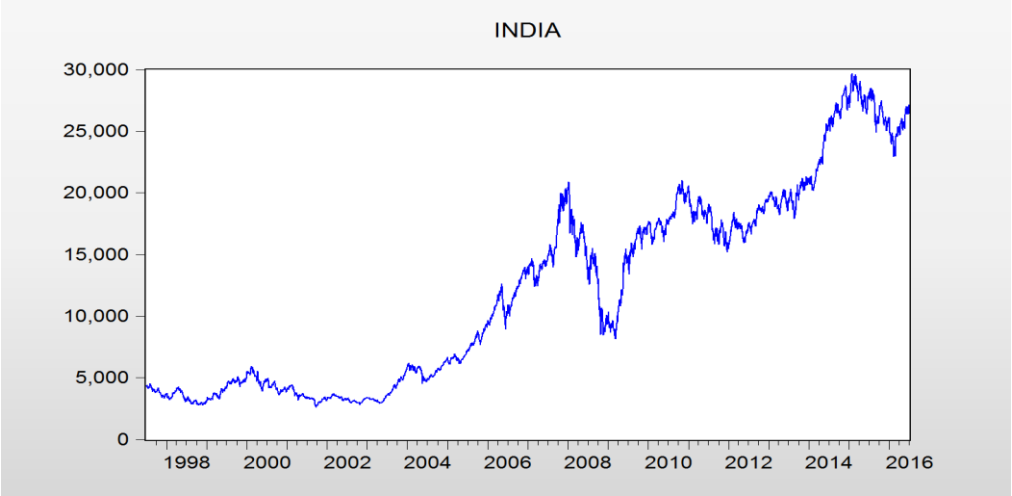


Διάγραμμα 10: Εντροπία 3 διαστημάτων Χονγκ Κονγκ

Το παραπάνω επαληθεύει το γεγονός οτι πριν από την κρίση η εντροπία είναι υψηλότερη σε σχέση με την περίοδο μέσα στην κρίση. Ενώ εν συνεχεία μετά από αυτή αυξάνει ξανά.

2.4 ΙΝΔΙΑ

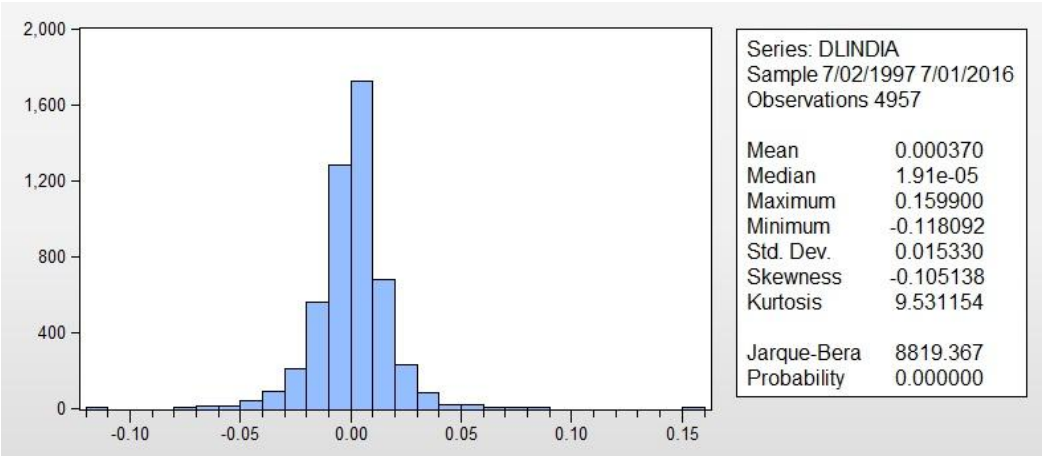
Η επόμενη χώρα μελέτης θα είναι η Ινδία



Διάγραμμα 11: Χρηματιστηριακός δείκτης Ινδίας

Το χρηματιστήριο της Ινδίας με τη σειρά του φαίνεται να ακολουθεί μια σταθερά ανοδική πορεία με εξαίρεση δύο μεγάλες πτώσεις κατά την περίοδο 2008-2009 δηλαδή της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης αλλά και το 2015-2016 που φαίνεται οτι την επηρεάζουν οι κλυδωνισμοί της Κινέζικης οικονομίας αλλά και η απόφαση της Κεντρικής Τράπεζας της Ινδίας να ανακοινώσει την απόσυρση των χαρτονομισμάτων 500 και 1000 ρουπιών. Η κίνηση αυτή αν και έγινε με σκοπό να χαλιναγωγήσει τη διαφθορά και τη διακίνηση πλαστών χαρτονομισμάτων επέφερε μεγάλο πλήγμα στο Ινδικό χρηματιστήριο.

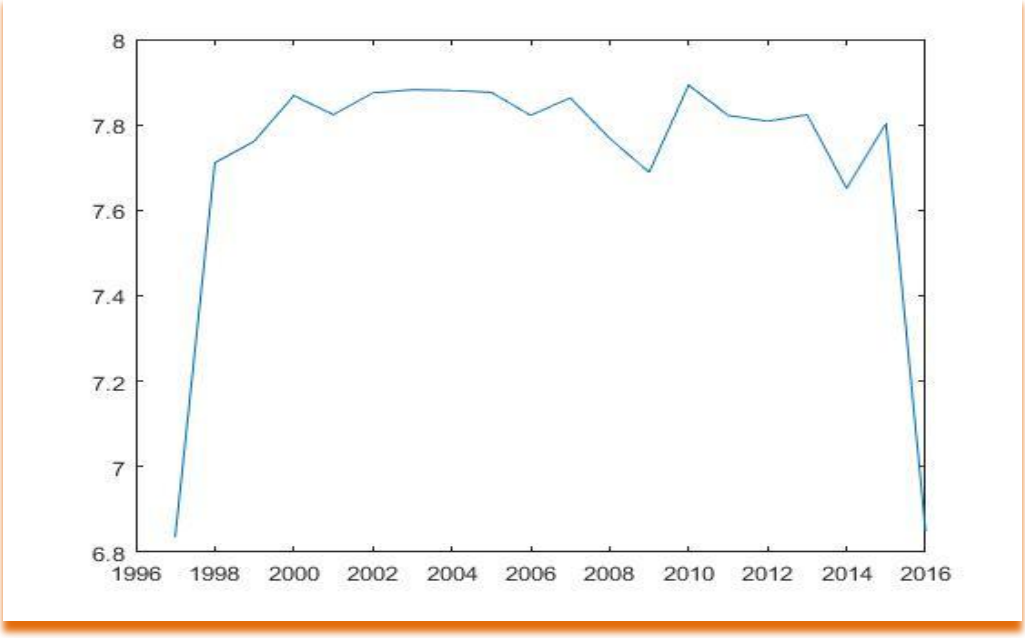
Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τα ιστογράμματα τιμών και λογαριθμικών διαφορών του χρηματιστηρίου αυτού.



Διάγραμμα 12: Ιστόγραμμα αποδόσεων Ινδίας

Από το ιστόγραμμα αυτό παρατηρούμε κάποιες ακραίες λογαριθμικές διαφορές σε αντίθεση με της Κίνας αν και γενικότερα οι μικρές λογαριθμικές διαφορές έχουν εμφανέστατα μεγαλύτερη συχνότητα. Από την άλλη και εδώ βλέπουμε οτι η κύρτωση είναι εμφανώς μεγαλύτερη του 3 οπότε και η κατανομή αυτή χαρακτηρίζεται λεπτόκυρτη.

Ακολούθως θα περάσουμε να εξετάσουμε τις τιμές της εντροπίας. Πρώτα με το διάγραμμα για κάθε έτος ξεχωριστά.

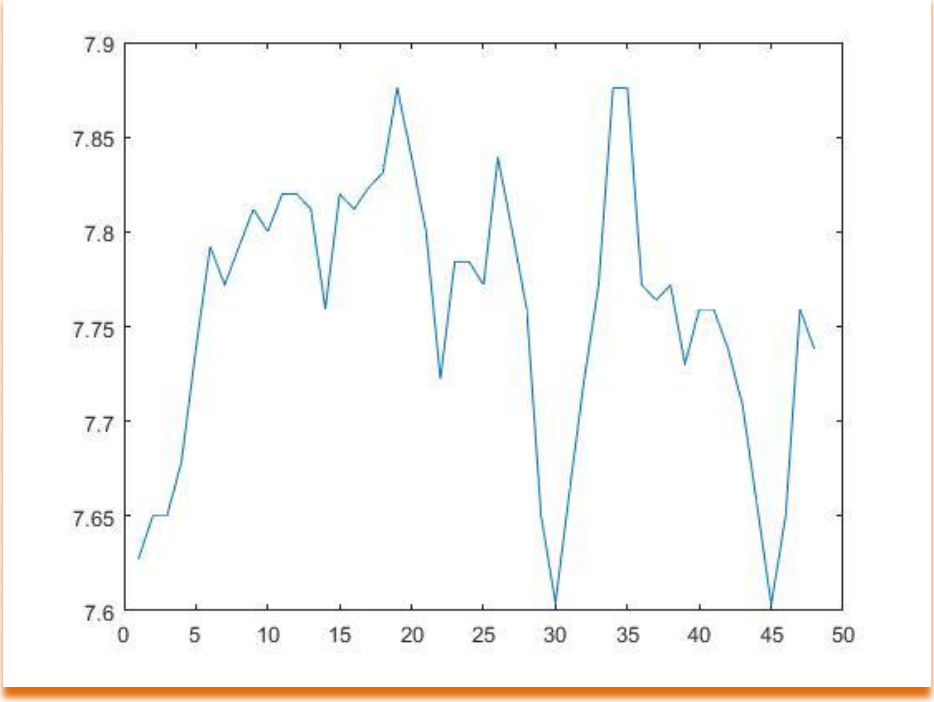


Διάγραμμα 13: Εντροπία κάθε έτους Ινδίας

Όπως παρατηρούμε η εντροπία παρουσιάζει μέγιστη τιμή το 2010 ενώ αντίθετα τις ελάχιστες τιμές της τα έτη 2009 και 2014. Ένα ακόμα μέγιστο που παρατηρείται το έτος 2007 έχει ξεχωριστή σημασία για σχολιασμό καθώς αποτελεί ένα σημάδι

αύξησης της αβεβαιότητας την περίοδο αυτή που προοιωνίζει πιθανότατα τη μεγάλη κρίση που πρόκειται να ακολουθήσει.

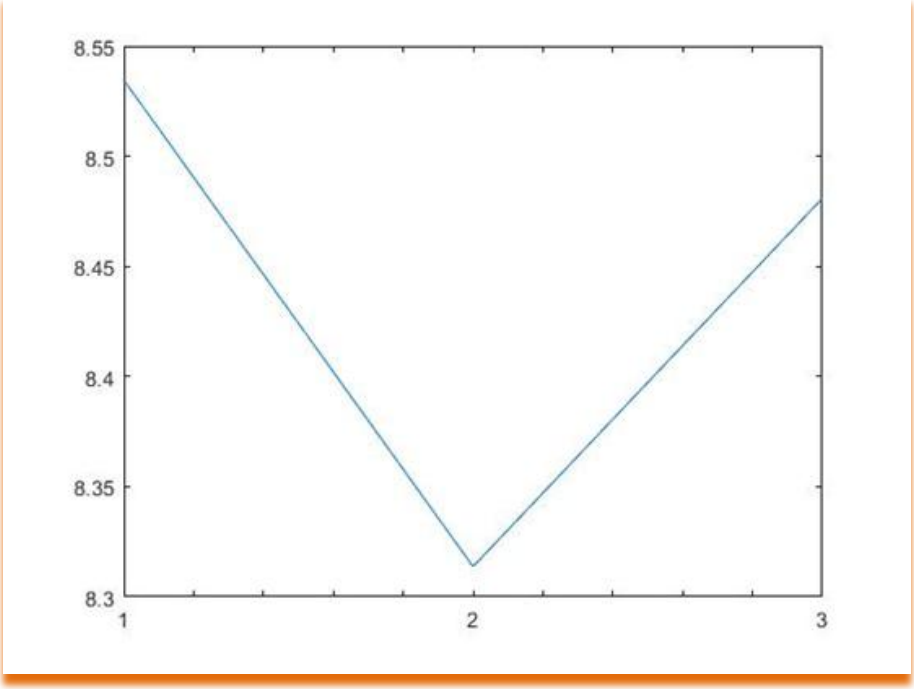
Ακολουθεί το γράφημα 48 διαστημάτων με επικάλυψη.



Διάγραμμα 14: Εντροπία 48 διαστημάτων Ινδίας

Από το διάγραμμα 14 φαίνεται οτι η εντροπία παρουσιάζει ελάχιστα στα διαστήματα 1 (7/1997-6/1998) που αντιστοιχεί στη μεγάλη ασιατική κρίση, το διάστημα 30 (8/2008-7/2009) έχουμε μια κατακόρυφη πτώση που αντιστοιχεί στην παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση και τέλος το διάστημα 45 (5/2014-4/2015). Από την άλλη μεριά τα μέγιστα παρουσιάζονται το πρώτο στο διάστημα 19 (5/2004-5/2005) μια κατά γενική ομολογία εποχή ευημερίας για πολλά χρηματιστήρια αλλά και παράλληλα ένα σημάδι για επερχόμενη κρίση. Το δεύτερο μέγιστο παρουσιάζεται στο διάστημα 35-36 δηλαδή 2010-2011 που συνεπάγεται ασυσχέτιστες μεταξύ τους αποδόσεις. Το τρίτο μέγιστο εμφανίζεται στο διάστημα 27 (06/2007-06/2008) και βρίσκεται σε συμφωνία με το μέγιστο που παρατηρήθηκε το έτος 2007 στο διάγραμμα 13 και δείχνει ότι έχουμε ένα ισχυρό σημάδι μιας επερχόμενης κρίσης.

Τέλος θα παρουσιάσουμε το γράφημα 3 διαστημάτων για να δούμε και εδώ τη συμπεριφορά της εντροπίας κατά τη μεγάλη χρηματοοικονομική κρίση 2007-2009.

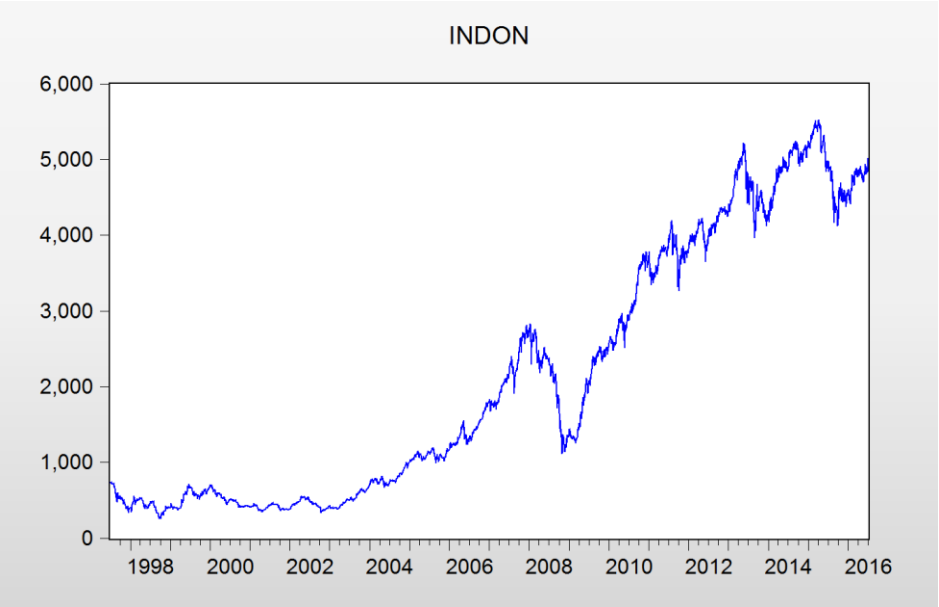


Διάγραμμα 15: Εντροπία 3 διαστημάτων Ινδίας

Όπως είναι φανερό και για την περίπτωση της Ινδίας ισχύει η θεωρία που θέλει την εντροπία να είναι σε υψηλότερες τιμές πριν από περίοδο κρίσης και να μειώνεται αισθητά κατά τη διάρκεια της, για να ανέβει και πάλι στη συνέχεια.

2.5 ΙΝΔΟΝΗΣΙΑ

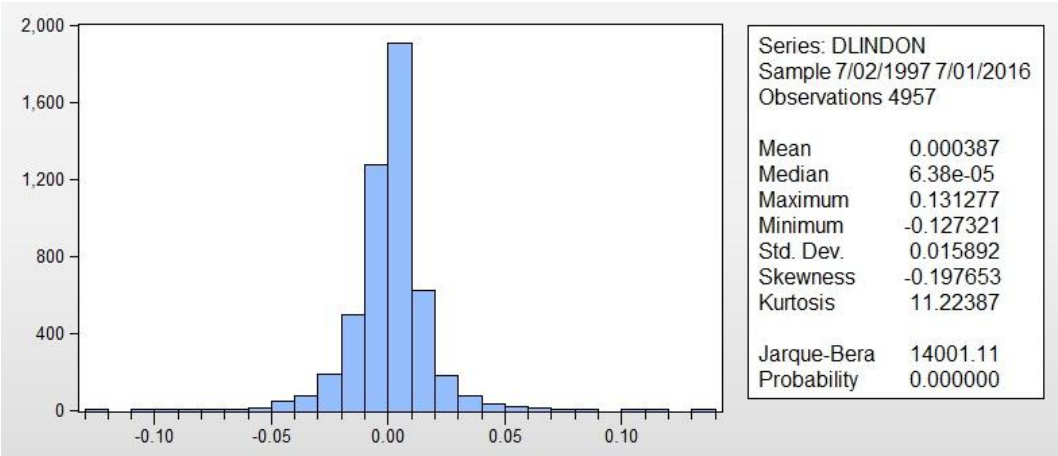
Η επόμενη χώρα που θα μελετήσουμε είναι η Ινδονησία. Πρώτα θα παραθέσουμε το γράφημα της πορείας του χρηματιστηρίου της.



Διάγραμμα 16: Χρηματιστηριακός δείκτης Ινδονησίας

Όπως παρατηρούμε η πορεία του χρηματιστηρίου της Ινδονησίας μοιάζει αρκετά με αυτό της Ινδίας. Είναι φανερό οτι έχει επηρεαστεί από τη μεγάλη ασιατική κρίση του 1997 από τις πολύ χαμηλές τιμές που σημείωσε εκείνη την περίοδο ο δείκτης. Η Ινδονησία μάλιστα θεωρείται η ασιατική χώρα που επλήγη περισσότερο από την κρίση αυτή καθώς εκτός από οικονομικές (ραγδαία υποτίμηση της ρουπίας) είχε εκτεταμένες κοινωνικές και πολιτικές επιπτώσεις. Ακόμη διακρίνεται η μεγάλη πτώση το 2008-2009 κατά την περίοδο του παγκόσμιου κραχ και καθώς επίσης και η σημαντική πτώση που προκλήθηκε από την οικονομική κρίση της Κίνας το 2015.

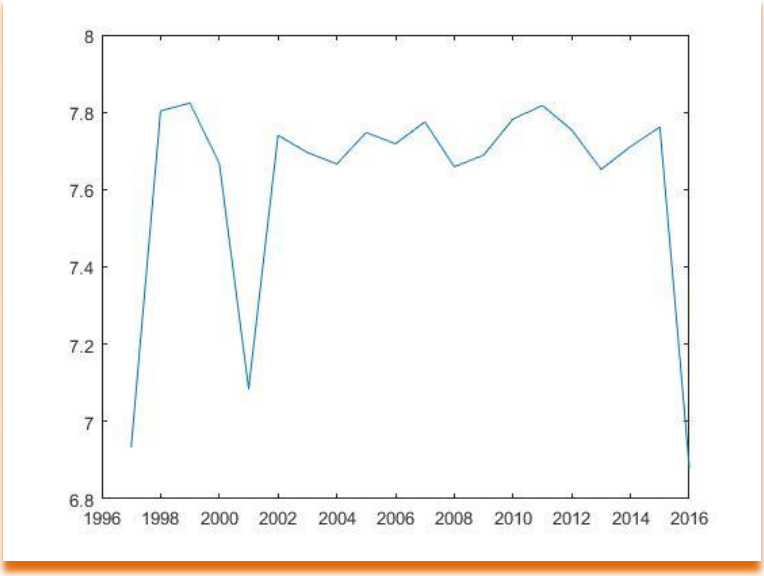
Ακολουθεί το ιστόγραμμα αποδόσεων του χρηματιστηρίου αυτού.



Διάγραμμα 17: Ιστόγραμμα αποδόσεων Ινδονησίας

Όπως παρατηρούμε και εδώ όσο μικρότερες οι λογαριθμικές διαφορές τόσο μεγαλύτερη η συχνότητα, με την εμφάνιση ακραίων τιμών να κάνουν και εδώ την εμφάνισή τους. Επίσης και στο γράφημα αυτό η κύρτωση είναι πολύ μεγαλύτερη του 3 οπότε και αυτή η κατανομή χαρακτηρίζεται λεπτόκυρτη.

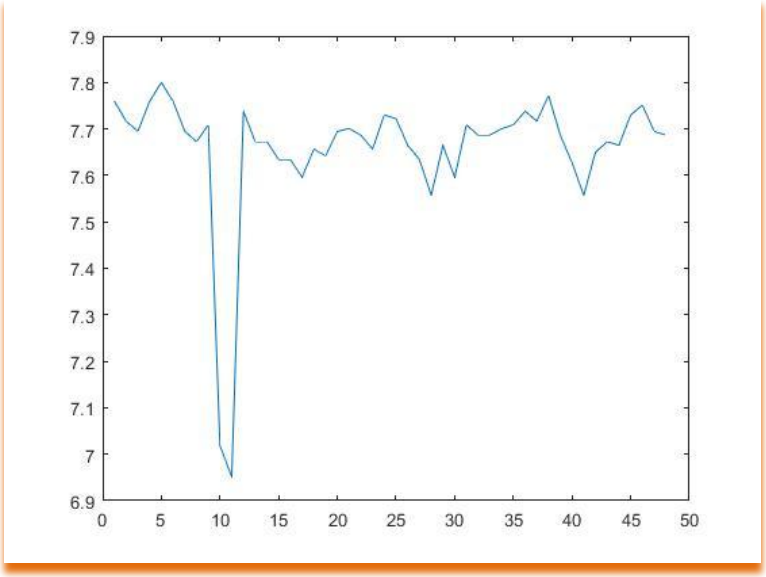
Στο σημείο αυτό θα παραθέσουμε τα γραφήματα που προκύπτουν από τη μελέτη της εντροπίας του χρηματιστηρίου αυτού. Το πρώτο γράφημα παρουσιάζει την εντροπία του δείκτη για κάθε χρονιά ξεχωριστά, χωρίς επικάλυψη.



Διάγραμμα 18: Εντροπία κάθε έτους Ινδονησίας

Από το γράφημα παρατηρούμε τη μεγάλη πτώση της εντροπίας το έτος 2001 που οφείλεται πιθανότατα στις πολιτικές εξελίξεις που ήταν ραγδαίες εκείνη την περίοδο στη χώρα. Να σημειωθεί ότι το καλοκαίρι εκείνη της χρονιάς το χρηματιστήριο παρέμεινε κλειστό για ένα μήνα περίπου λόγω των εκλογών. Ακόμα τα επόμενα δύο χαμηλότερα σημεία της εντροπίας είναι τα έτη 2008 και 2011 ενώ αντίστοιχα τη μεγαλύτερη τιμή σημειώνει τα έτη 1999 και 2011. Επιπρόσθετα ένα μέγιστο άξιο αναφοράς είναι και εδώ το έτος 2007 που λειτουργεί σαν προειδοποίηση της επερχόμενης κρίσης.

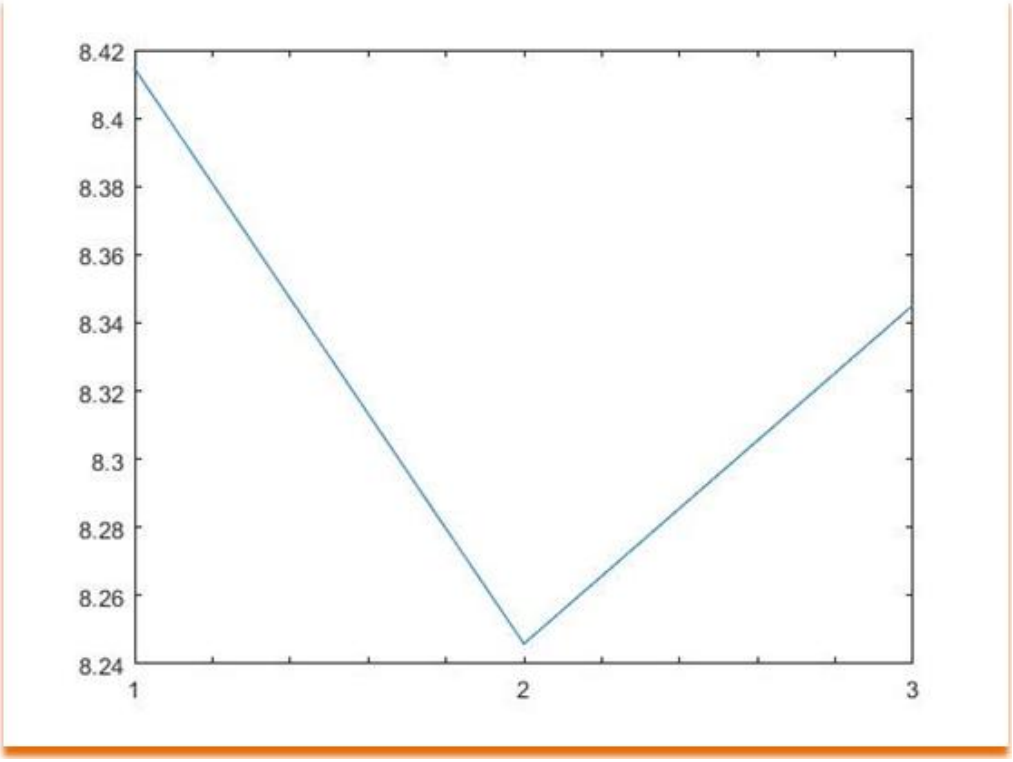
Στο επόμενο γράφημα απεικονίζεται η εντροπία για τα 48 διαστήματα με επικάλυψη.



Διάγραμμα 19: Εντροπία 48 διαστημάτων Ινδονησίας

Και από το γράφημα αυτό είναι εμφανής η μεγάλη πτώση της εντροπίας το διάστημα 10-11 δηλαδή το 2001. Βέβαια το μικρότερο δείγμα αποδόσεων λόγω της μη λειτουργίας του χρηματιστηρίου έπαιξε και αυτό κάποιο ρόλο. Επιπρόσθετα οι δύο άλλες πιο σημαντικές πτώσεις είναι στα διαστήματα 27-28 (2007-2008) λόγω της γνωστής παγκόσμιας κρίσης αλλά και στα 41-42 (11/2012-3/2014). Ενώ και εδώ εμφανίζεται ένα τοπικό μέγιστο στο διάστημα 25 (09/2006-08/2007) που προοιωνίζει και αυτό πιθανότατα την επερχόμενη κρίση.

Το τελευταίο διάγραμμα παρουσιάζει τα 3 διαστήματα πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την κρίση του 2007-2009 χωρίς επικάλυψη.



Διάγραμμα 20: Εντροπία 3 διαστημάτων Ινδονησίας

Όπως και στα προηγούμενα έτσι και εδώ επιβεβαιώνεται οτι πριν από την κρίση η εντροπία είναι υψηλότερη σε σχέση με το διάστημα που εξελίσσεται και πέφτει σημαντικά για να ξανανέβει μετά το πέρασμά της.

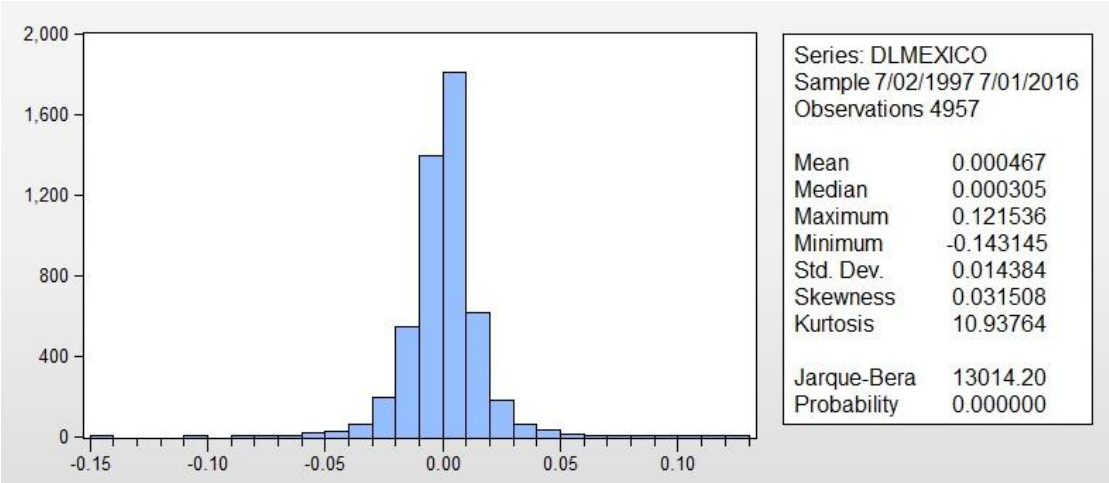
2.6 ΜΕΞΙΚΟ

Η επόμενη χώρα μελέτης μας είναι το Μεξικό. Στο διάγραμμα 21 θα παρουσιαστεί η πορεία των τιμών του χρηματιστηρίου.

Διάγραμμα 21: Χρηματιστηριακός δείκτης Μεξικό

Το Μεξικό είναι η πρώτη χώρα μελέτης μας που δεν ανήκει στην Ασία αλλά αποτελεί μια αναδυόμενη οικονομία. Μετά τη μεγάλη κρίση του 1994 που είχε οδηγήσει σε μεγάλη υποτίμηση του πέσος το χρηματιστήριο κρατήθηκε σε χαμηλά επίπεδα μέχρι το 2000 σημειώνοντας μάλιστα μία πτώση το 1998 πιθανώς επηρεαζόμενο και αυτό από την ασιατική κρίση. Στη συνέχεια μια ανοδική πορεία με πιο αξιοσημείωτη την κατακόρυφη πτώση το 2008-2009 μη μπορώντας ούτε αυτό να ξεφύγει από τις επιπτώσεις της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης. Ξεπερνώντας αργότερα την κρίση άρχισε να ανεβαίνει σταδιακά, έχοντας όμως αρκετά σκαμπανεβάσματα όπως χαρακτηριστικά αποτυπώνεται στο διάγραμμα.

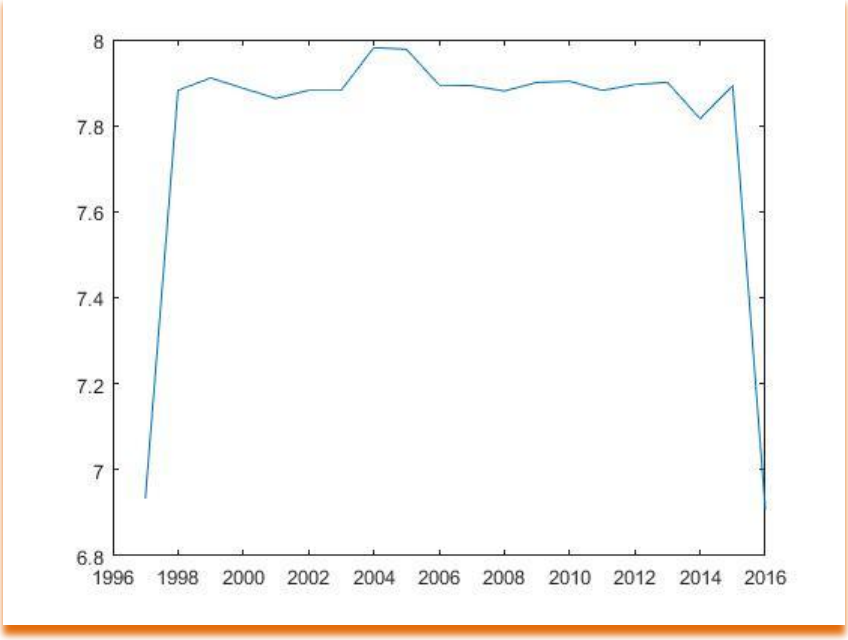
Στη συνέχεια ακολουθούν το ιστόγραμμα αποδόσεων του χρηματιστηρίου αυτού.



Διάγραμμα 22: Ιστόγραμμα αποδόσεων Μεξικό

Το παραπάνω ιστόγραμμα μας δείχνει ξεκάθαρα ότι εμφανίζονται μεγάλες λογαριθμικές διαφορές συχνότερα από τα προηγούμενα χρηματιστήρια κάτι που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το χρηματιστήριο του Μεξικό είναι σχετικά ασταθές. Ακόμα φτάνουμε στο συμπέρασμα οτι και αυτή η κατανομή είναι λεπτόκυρτη με την κύρτωση και εδώ να είναι πολύ μεγαλύτερη του 3.

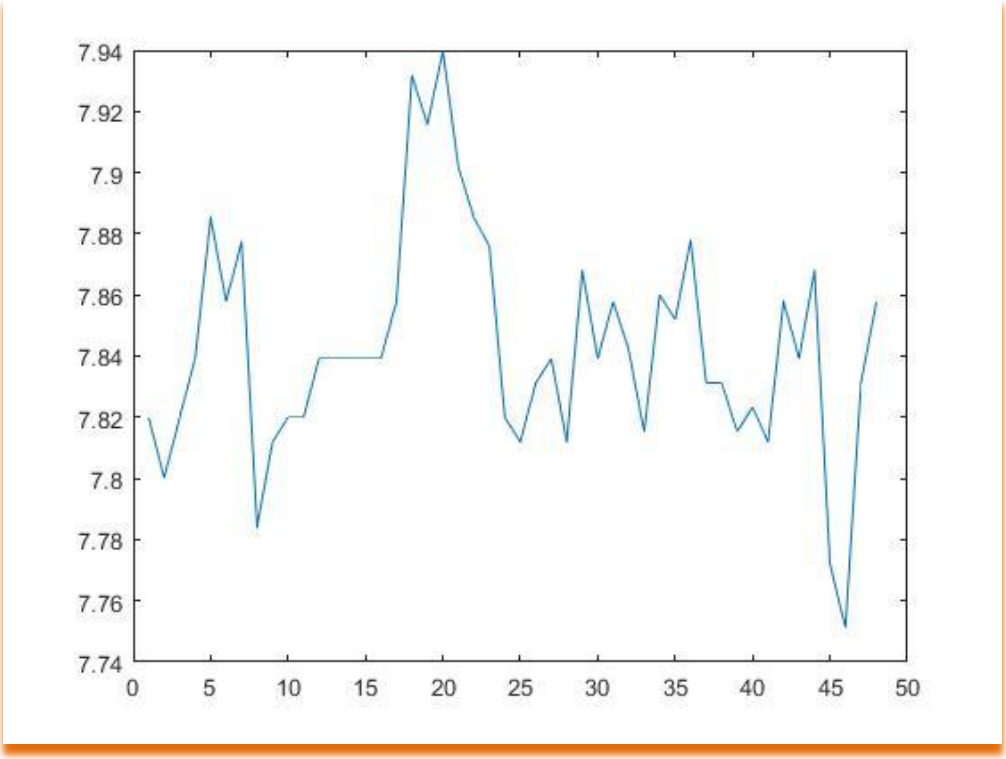
Το επόμενο διάγραμμα αφορά στην εντροπία του χρηματιστηρίου του Μεξικό για κάθε έτος ξεχωριστά και χωρίς επικάλυψη.



Διάγραμμα 23: Εντροπία κάθε έτους Μεξικό

Η εντροπία του χρηματιστηρίου αυτού είναι σχετικά σταθερή με μόνα αξιοσημείωτα τα έτη 2004-2005 που εμφανίζει την υψηλότερη τιμή και το έτος 2014 που εμφανίζει τη χαμηλότερη.

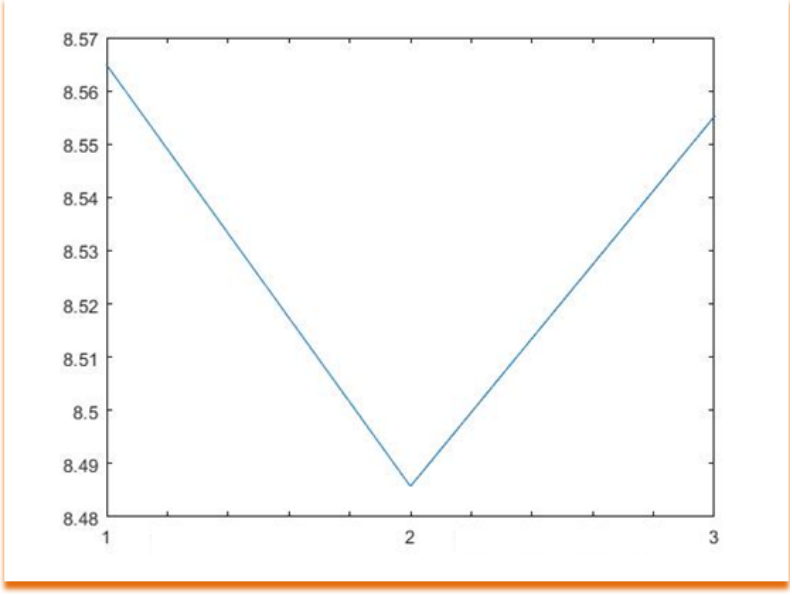
Το επόμενο διάγραμμα περιγράφει την εντροπία 48 διαστημάτων με επικάλυψη.



Διάγραμμα 24: Εντροπία 48 διαστημάτων Μεξικό

Από το γράφημα 24 παρατηρούμε 2 υψηλά που καταγράφει η εντροπία του δείκτη τα διαστήματα 5 (1/1999-12/1999) και το δεύτερο που είναι ακόμα πιο εμφατικό το 21 (3/2005-2/2006) και πιθανόν να σηματοδοτεί την επερχόμενη κρίση. Η εντροπία του χρηματιστηρίου αυτού σημειώνει τα χαμηλά της το διάστημα 8 (3/2000-2/2001) που πιθανώς οφείλεται στην επίδραση που είχε σε αυτό η χρηματοοικονομική κρίση στην Αργεντινή 1999-2002. Το επόμενο χαμηλό σημειώνεται αμέσως μετά το υψηλότερο σημείο της στο διάστημα 26 και έπειτα δηλαδή κατά το 2007 λόγω της παγκόσμιας οικονομικής κατάρρευσης. Τέλος η τρίτη και χαμηλότερη τιμή είναι το διάστημα 46 (10/2014-9/2015) πιθανώς λόγω των πολλών προβλημάτων που αντιμετωπίζει το Μεξικό τόσο οικονομικών με την πτώση του πέσος όσο και κοινωνικών όπως η μετανάστευση.

Το τελευταίο διάγραμμα αφορά στην εντροπία 3 διαστημάτων για την κρίση του 2007-2009

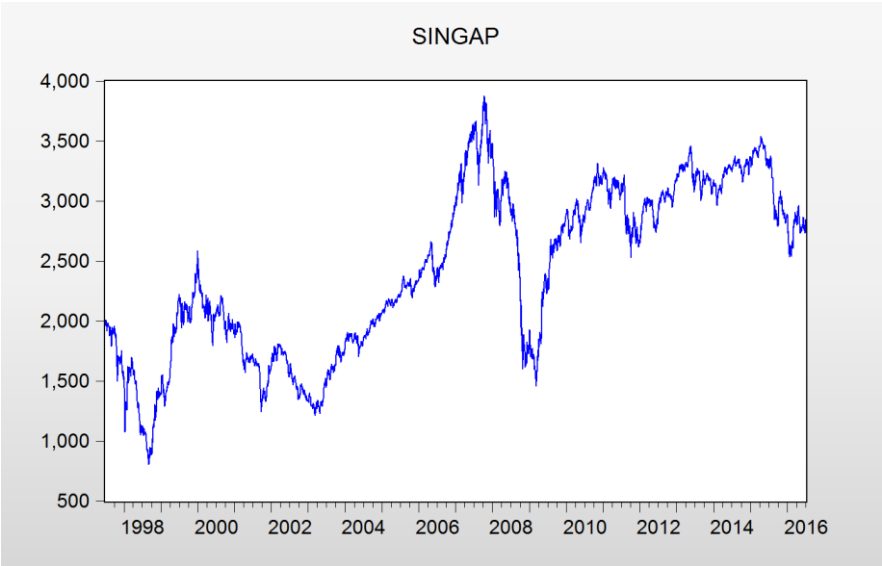


Διάγραμμα 25: Εντροπία 3 διαστημάτων Μεξικό

Όπως βλέπουμε και αυτό το διάγραμμα επιβεβαιώνει τις προηγούμενες παρατηρήσεις μας, δηλαδή, υψηλή τιμή εντροπίας πριν την κρίση και χαμηλή τιμή εντροπίας μέσα στην κρίση.

2.7 ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗ

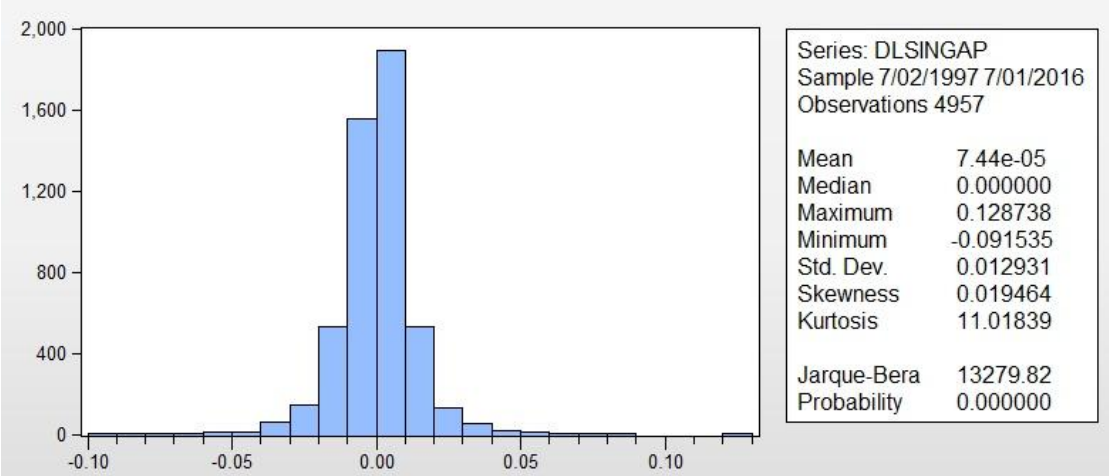
Η επόμενη χώρα μελέτης είναι η Σιγκαπούρη. Το διάγραμμα 26 παρουσιάζει την πορεία του χρηματιστηριακού της δείκτη.



Διάγραμμα 26: Χρηματιστηριακός δείκτης Σιγκαπούρης

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε το χρηματιστήριο της Σιγκαπούρης επηρεάστηκε εμφανέστατα από τις 3 οικονομικές κρίσεις που έχουμε αναφέρει και προηγουμένως. Η Σιγκαπούρη σήμερα έχει μια ανεπτυγμένη αγορά που θεωρείται εξαιρετικά φιλική στις επιχειρήσεις. Μαζί με το Χονγκ Κονγκ, τη Νότια Κορέα και την Ταϊβάν, αναφέρεται ως μία από τις τέσσερις ασιατικές τίγρεις, αν και έχει μεγαλύτερο κατά κεφαλήν εισόδημα από τις υπόλοιπες. Η Σιγκαπούρη είναι γνωστή ως μια από τις πιο ελεύθερες και καινοτόμες χώρες του κόσμου. Ο δείκτης οικονομικής ελευθερίας για το 2015, την κατέταξε ως τη δεύτερη πιο ελεύθερη οικονομία στο κόσμο. Για να φτάσουμε όμως μέχρι εδώ υπήρξε πρώτα η μεγάλη πτώση τα έτη 1998-1999 παρασυρόμενη και αυτή από τη μεγάλη ασιατική κρίση. Στη συνέχεια η πιο ραγδαία πτώση παρουσιάστηκε το 2009 από την επίδραση του παγκόσμιου κραχ αν και όπως φαίνεται άργησε σημαντικά να εμφανιστεί. Τελευταία η πτώση το 2015 που οφείλεται πιθανότατα στην επίδραση του χρηματιστηρίου της Κίνας που βρισκόταν σε κρίση.

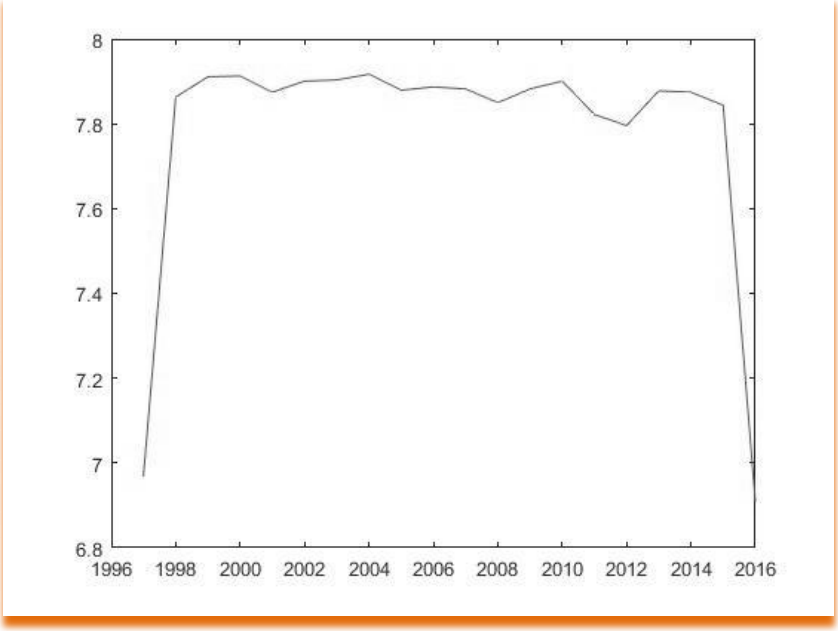
Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί το ιστόγραμμα αποδόσεων της κατανομής αυτής.



Διάγραμμα 27: Ιστόγραμμα αποδόσεων Σιγκαπούρης

Όπως προκύπτει έχουμε αντίστοιχη συμπεριφορά των περιγραφικών στατιστικών με το χρηματιστήριο του Μεξικού.

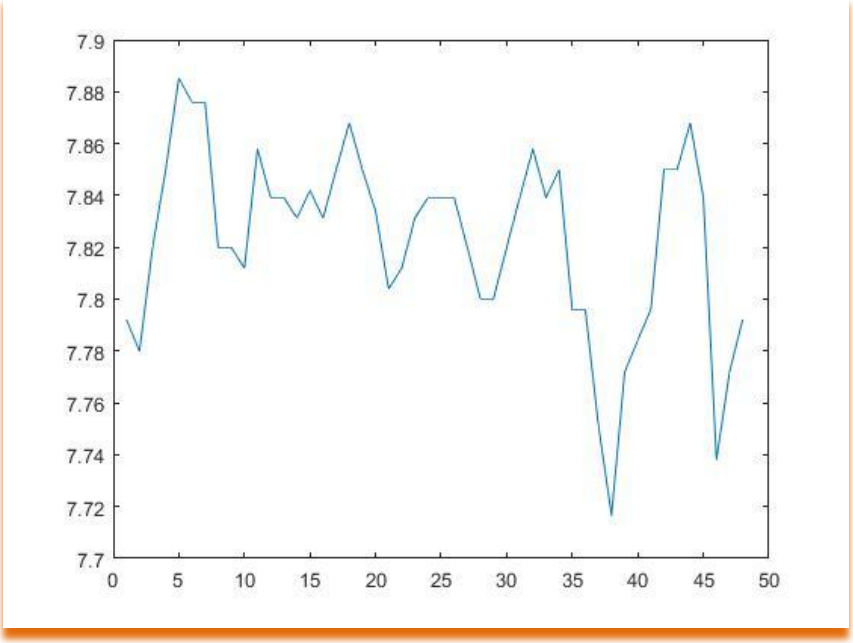
Στη συνέχεια θα αναλύσουμε την εντροπία της Σιγκαπούρης για κάθε έτος χωριστά και χωρίς επικάλυψη.



Διάγραμμα 28: Εντροπία κάθε έτους Σιγκαπούρης

Από το γράφημα παρατηρούμε οτι η εντροπία του χρηματιστηρίου της Σιγκαπούρης δεν έχει μεγάλες διαφοροποιήσεις από έτος σε έτος με μόνη αξιοσημείωτη την πτώση του 2012.

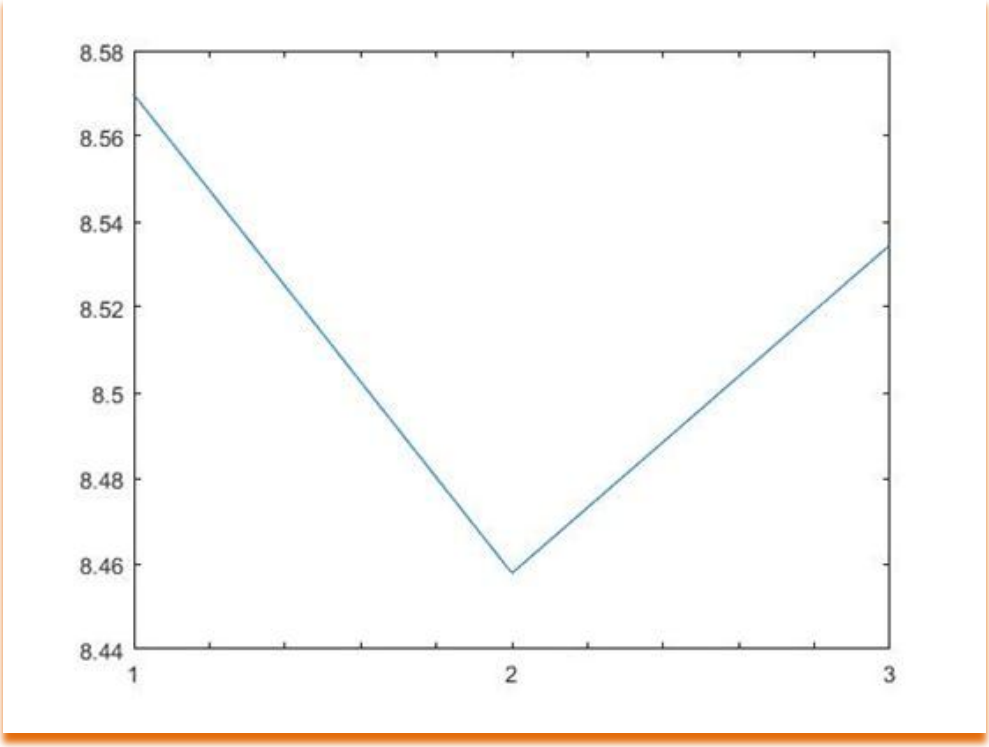
Το επόμενο γράφημα παρουσιάζει την εντροπία 48 διαστημάτων με επικάλυψη.



Διάγραμμα 29: Εντροπία 48 διαστημάτων Σιγκαπούρης

Εδώ διακρίνουμε οτι το υψηλότερο σημείο της είναι στο διάστημα 5-6 (1999-2000) και έπειτα ακολουθεί μια πτώση στο διάστημα 10 (2001). Ακολουθεί ένα υψηλό το διάστημα 18 (2004) συνοδευόμενο από μια πτώση το διάστημα 21(2005).Τα επόμενα σημεία άξια αναφοράς είναι το υψηλό στο διάστημα 32 (2009-2010) που ακολουθείται από μία απότομη πτώση στο διάστημα 37-38 (2011-2012). Τέλος ακόμα ένα υψηλό καταγράφεται στο διάστημα 44 (2014) και ακολουθεί μια σημαντική πτώση στο 46 (2014-2015) κάτι που πιθανώς έχει να κάνει με την κρίση της κινέζικης οικονομίας.

Επιπρόσθετα θα παρουσιάσουμε το γράφημα 3 διαστημάτων για το διάστημα της κρίσης 2007-2009.

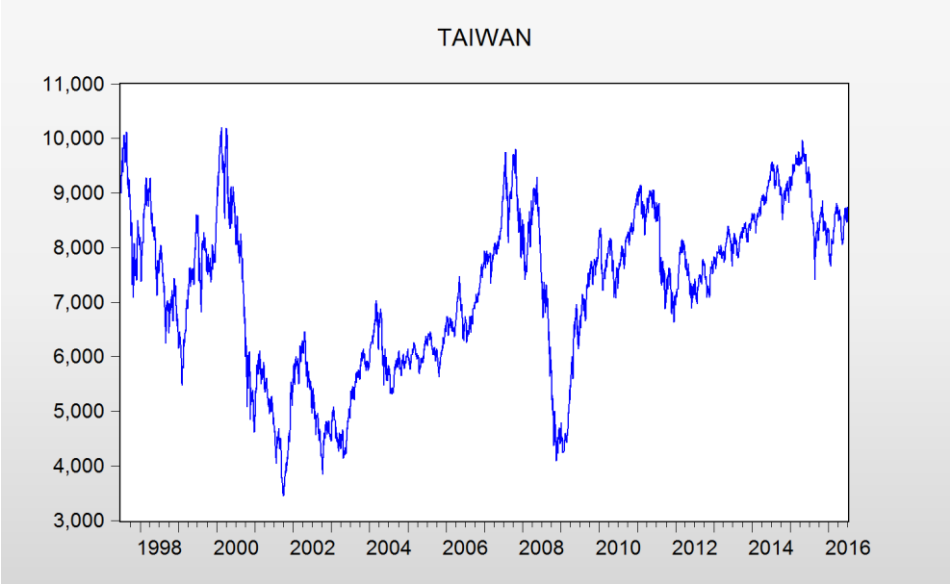


Διάγραμμα 30: Εντροπία 3 διαστημάτων Σιγκαπούρης

Και εδώ επιβεβαιώνεται η πτώση της εντροπίας στο διάστημα της κρίσης και οι υψηλότερες τιμές της πριν και μετά από αυτή.

2.8 ΤΑΪΒΑΝ

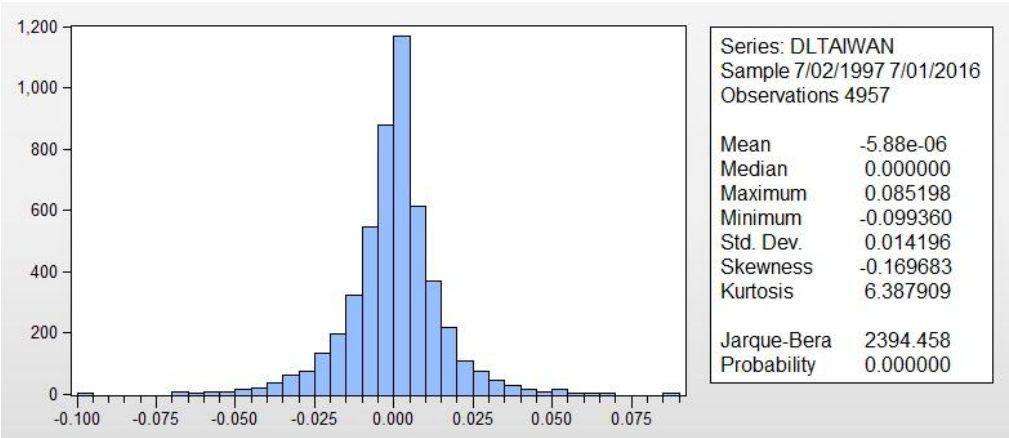
Το επόμενο χρηματιστήριο μελέτης είναι αυτό της Ταϊβάν. Στο γράφημα απεικονίζεται η πορεία του δείκτη της.



Διάγραμμα 31: Χρηματιστηριακός δείκτης Ταϊβάν

Στο γράφημα 31 είναι εμφανείς οι πτώσεις κατά τις περιόδους των τριών κρίσεων που έχουμε αναφέρει και προηγουμένως. Στο χρηματιστήριο αυτό όμως διακρίνουμε άλλη μία σημαντική πτώση το 2001-2002 καθώς η επιβράδυνση της παγκόσμιας οικονομίας σε συνδυασμό με πολιτικές αναταραχές και αρνητικές οικονομικές εξελίξεις όπως η έξοδος πολλών εργοστασίων στη γειτονική Κίνα είχαν σημαντική επίπτωση στο χρηματιστήριο της Ταϊβάν.

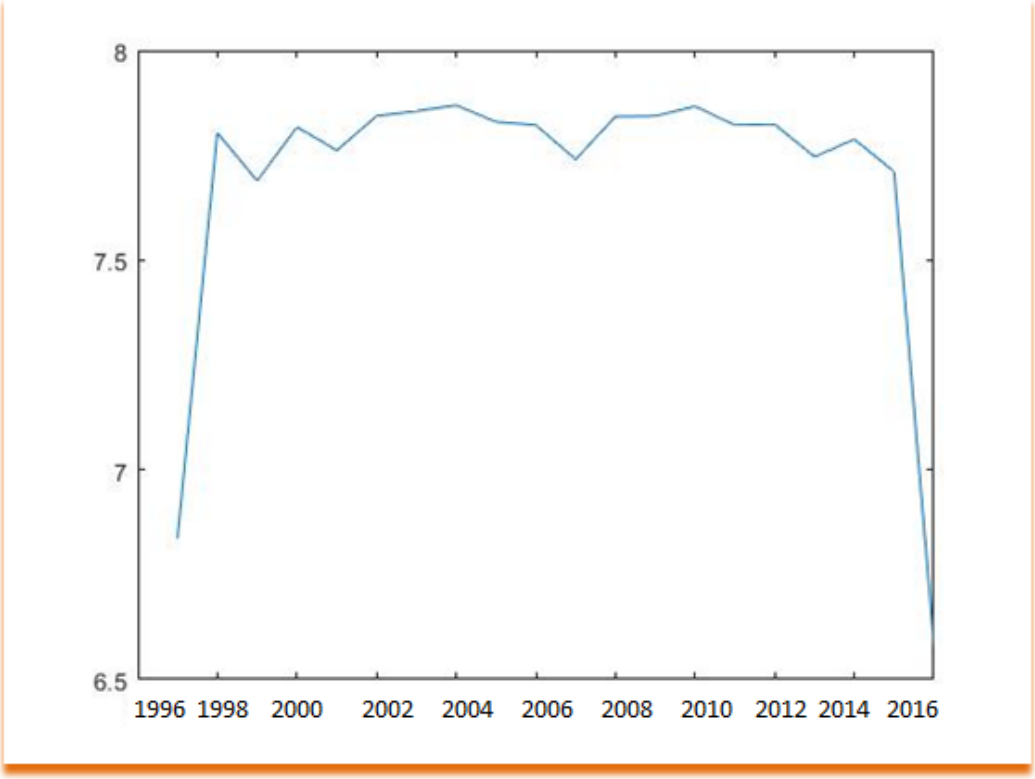
Στη συνέχεια παρουσιάζεται και το ιστόγραμμα αποδόσεων του δείκτη αυτού.



Διάγραμμα 32: Ιστόγραμμα αποδόσεων Ταϊβάν

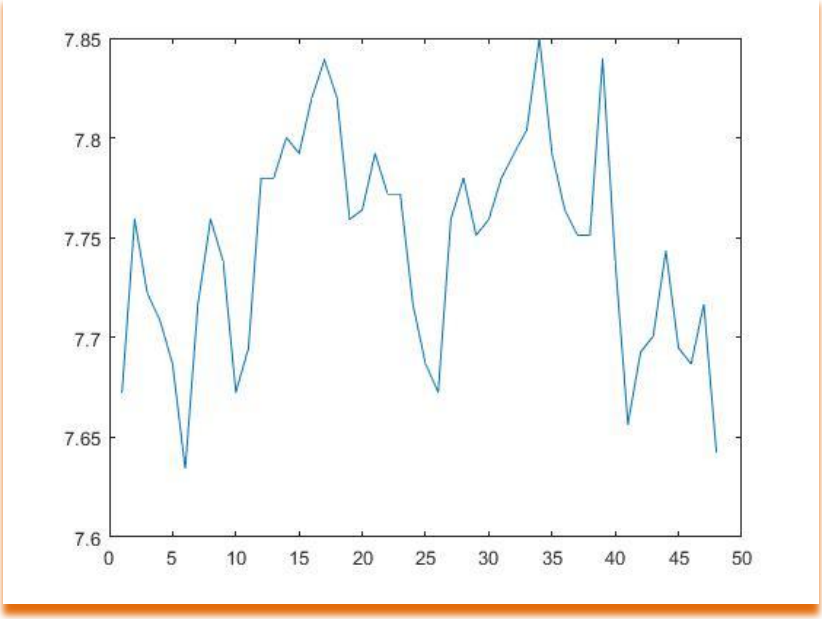
Και εδώ λοιπόν έχουμε λιγότερες ακραίες τιμές και τις μικρότερες λογαριθμικές διαφορές να εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα. Η κύρτωση εδώ εμφανίζει τη μικρότερη τιμή σε σχέση με τα προηγούμενα χρηματιστήρια αλλά και πάλι η κατανομή μας χαρακτηρίζεται ως λεπτόκυρτη.

Ακολουθεί η ανάλυση της εντροπίας για τον δείκτη της Ταϊβάν. Το πρώτο γράφημα παρουσιάζει την εντροπία κάθε έτους χωρίς επικάλυψη.



Διάγραμμα 33: Εντροπία κάθε έτους Ταϊβάν

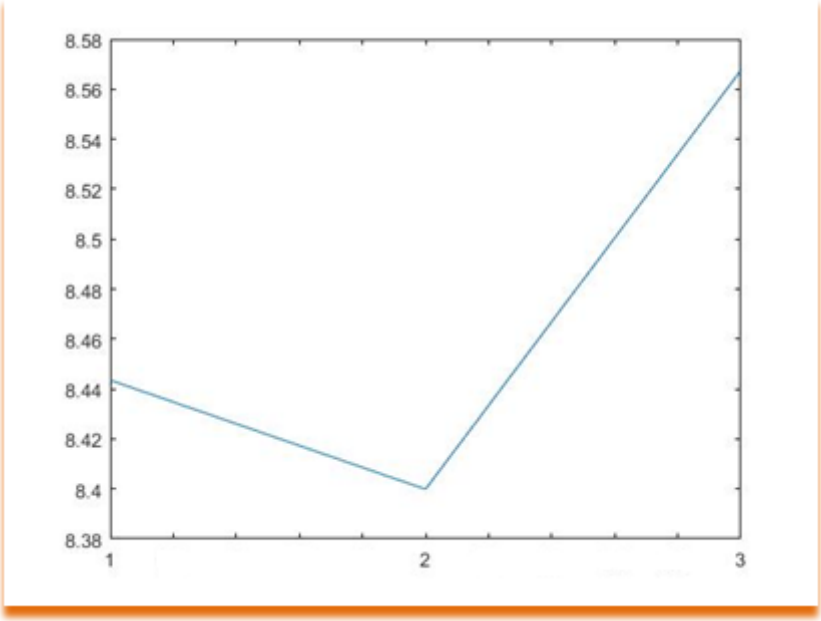
Από το γράφημα αυτό ξεχωρίζουν τα τρία χαμηλά που κατέγραψε η εντροπία τα έτη 1999 και 2007 και 2015. Τα υψηλά της αντίθετα καταγράφηκαν τα έτη 2004 και 2010. Για να έχουμε πληρέστερη άποψη ακολουθεί η ανάλυση εντροπίας 48 διαστημάτων με επικάλυψη.



Διάγραμμα 34: Εντροπία 48 διαστημάτων Ταϊβάν

Όπως διαφαίνεται υπάρχουν πολλά σκαμπανεβάσματα της εντροπίας από διάστημα σε διάστημα. Οι υψηλότερες τιμές της σημειώθηκαν στα διαστήματα 18 (01/2004-12/2004), 34 (2/2010-2/2011) και 39 (1/2012-1/2013). Από την άλλη μεριά τα χαμηλότερα σημεία της εντροπίας είναι στα διαστήματα 6 (6/1999-5/2000) , 26 (2/2007-2/2008) , 41 (11/2012-10/2013) και 48 (9/2015-6/2016).

Τελευταίο διάγραμμα και για την χώρα αυτή θα είναι η εντροπία 3 διαστημάτων για την κρίση του 2007-2009.

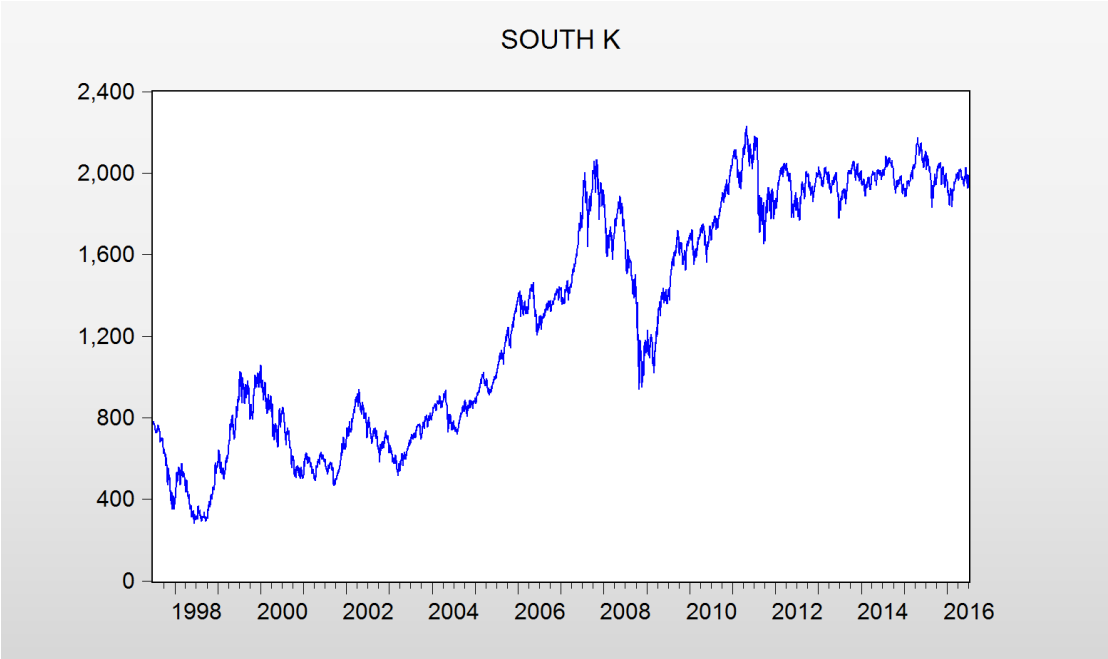


Διάγραμμα 35: Εντροπία 3 διαστημάτων Ταϊβάν

Η συμπεριφορά της εντροπίας στο διάγραμμα αυτό διαφοροποιείται από τις προηγούμενες περιπτώσεις που μελετήσαμε. Παρότι και εδώ εμφανίζεται τοπικό ελάχιστο στο διάστημα 2, η τιμή της εντροπίας στο διάστημα 3 είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του διαστήματος 1 και 2.

2.9 ΝΟΤΙΑ ΚΟΡΕΑ

Η τελευταία χώρα μελέτης μας θα είναι η Νότια Κορέα. Στο διάγραμμα 36 απεικονίζεται η πορεία του χρηματιστηριακού της δείκτη.

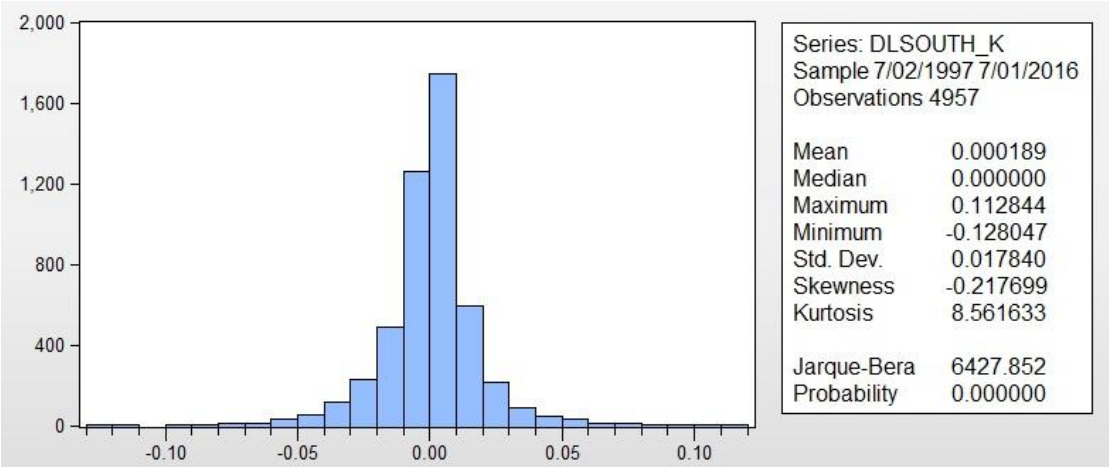


Διάγραμμα 36: Χρηματιστηριακός δείκτης Νότιας Κορέας

Από το παραπάνω διάγραμμα διακρίνονται η πτώση το 1998-1999 λόγω της επίδρασης της ασιατικής κρίσης και η μεγάλη πτώση του 2008-2009 λόγω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης. Πιο συγκεκριμένα η κορεατική οικονομία είχε αντεπεξέλθει επιτυχώς στη σοβαρότατη ασιατική οικονομική κρίση της περιόδου 1997-98, όταν είχε υποχρεωθεί να προσφύγει για βοήθεια στο Διεθνές Νομισματικό Ταμείο, υπό τις οδηγίες του οποίου προέβη σε οδυνηρές μεταρρυθμίσεις για την εξυγίανση της οικονομίας της. Έκτοτε η Κορέα στράφηκε σε τομείς υψηλής τεχνολογίας με αποτέλεσμα τα χρόνια που ακολούθησαν η οικονομία της να γνωρίσει εκ νέου αλματώδη ανάπτυξη. Η πρόσφατη διεθνής οικονομική κρίση έπληξε εντονότατα την κορεατική οικονομία, λόγω της μεγάλης εξάρτησής της από το

εξωτερικό εμπόριο. Στο τελευταίο τρίμηνο του 2008 και στις αρχές του 2009, τόσο οι εξαγωγές όσο και οι εισαγωγές σημείωσαν κάθετη πτώση, ενώ η οικονομία οδηγήθηκε σε βαθειά ύφεση. Ως αποτέλεσμα σημειώθηκαν μεγάλες εκροές κεφαλαίων από τη χώρα που οδήγησαν σε υποτίμηση του νομίσματος κατά 25%. Παρόλο αυτά η Νότια Κορέα φαίνεται να επηρεάζεται λιγότερο από την οικονομική κρίση της Κίνας το 2015 παρά την εξάρτηση της.

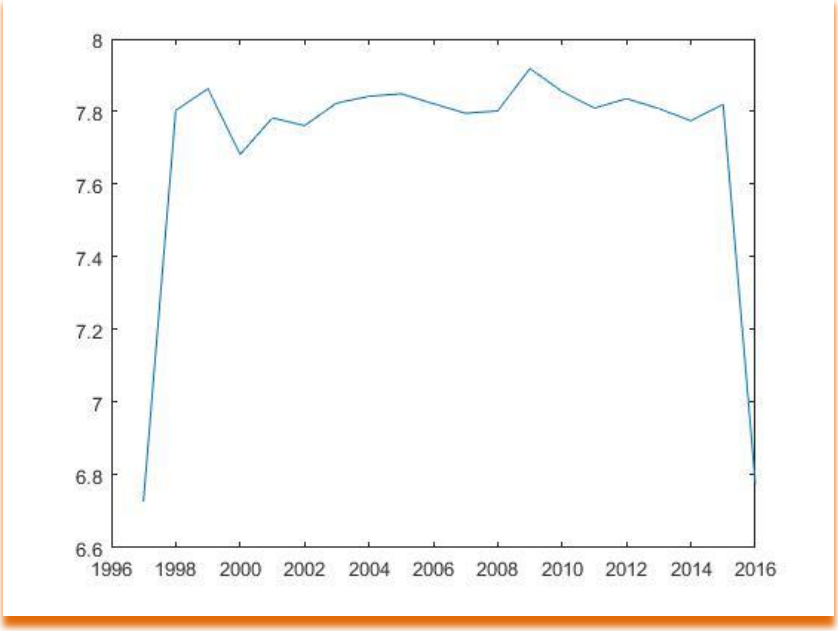
Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των αποδόσεων του χρηματιστηρίου της Νότιας Κορέας.



Διάγραμμα 37: Ιστόγραμμα αποδόσεων Νότιας Κορέας

Από διάγραμμα 37 συμπεραίνουμε μια ελαφρώς μεγαλύτερη συχνότητα των μεγαλύτερων αποδόσεων σε σχέση με προηγούμενα χρηματιστήρια. Επιπλέον και εδώ πρόκειται για μια λεπτόκυρτη κατανομή καθώς μικρότερες λογαριθμικές διαφορές εμφανίζονται με εμφανώς μεγαλύτερη συχνότητα συγκριτικά με τις μεγαλύτερες. Το μέτρο κύρτωσης της κατανομής αυτής ισούται με 8,5 και απέχει αρκετά από την τιμή 3 που είναι η κύρτωση της κανονικής κατανομής.

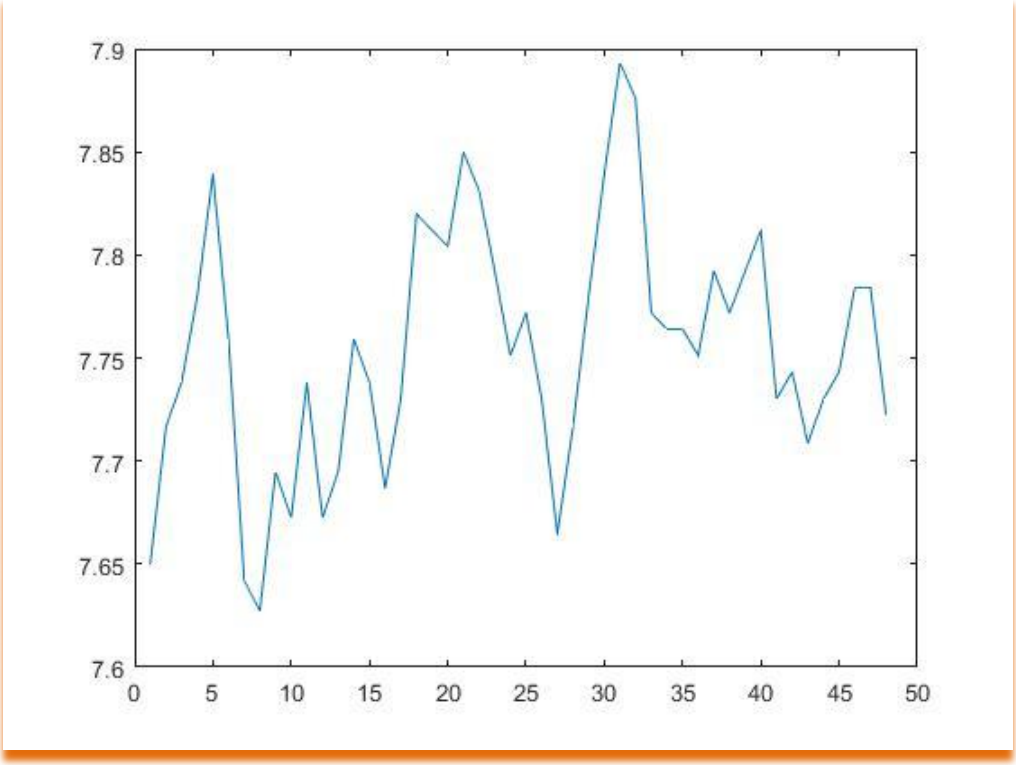
Ακολουθεί η ανάλυση της εντροπίας του χρηματιστηρίου αυτού. Πρώτα για κάθε έτος χωριστά και χωρίς επικάλυψη.



Διάγραμμα 38: Εντροπία κάθε έτους Νότιας Κορέας

Όπως παρατηρούμε τη χαμηλότερη εντροπία έχει το έτος 2000 και την υψηλότερη τα έτη 1999 και 2009, με τα υπόλοιπα έτη να έχουν ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους.

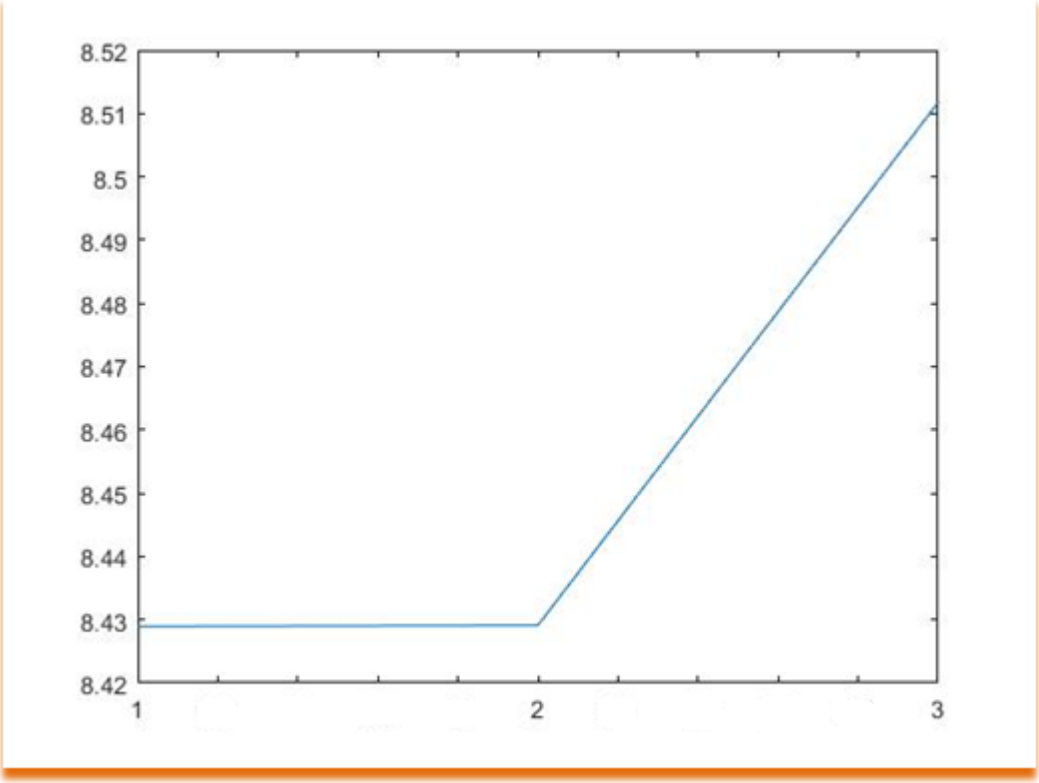
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η εντροπία 48 διαστημάτων με επικάλυψη.



Διάγραμμα 39: Εντροπία 48 διαστημάτων Νότιας Κορέας

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε τα υψηλότερα σημεία της εντροπίας υπολογίζονται το πρώτο στο διάστημα 5 (1999) και ακολουθεί μία μεγάλη πτώση στο διάστημα 7-8 (10/1999-2/2001). Εδώ λειτουργεί η υψηλή εντροπία σαν προειδοποίηση για την πτώση που βλέπουμε το 2000 και στην πορεία του δείκτη. Το δεύτερο υψηλό είναι στο διάστημα 23 (2006) που αποτελεί επίσης μία ένδειξη κινδύνου καθώς ακολουθείται από μία επίσης μεγάλη πτώση στο διάστημα 27 (6/2007-6/2008). Το τρίτο υψηλό σημειώνεται στο διάστημα 33 (10/2009-9/2010).

Τέλος θα παρουσιαστεί η εντροπία 3 σημείων για την κρίση του 2007-2009.



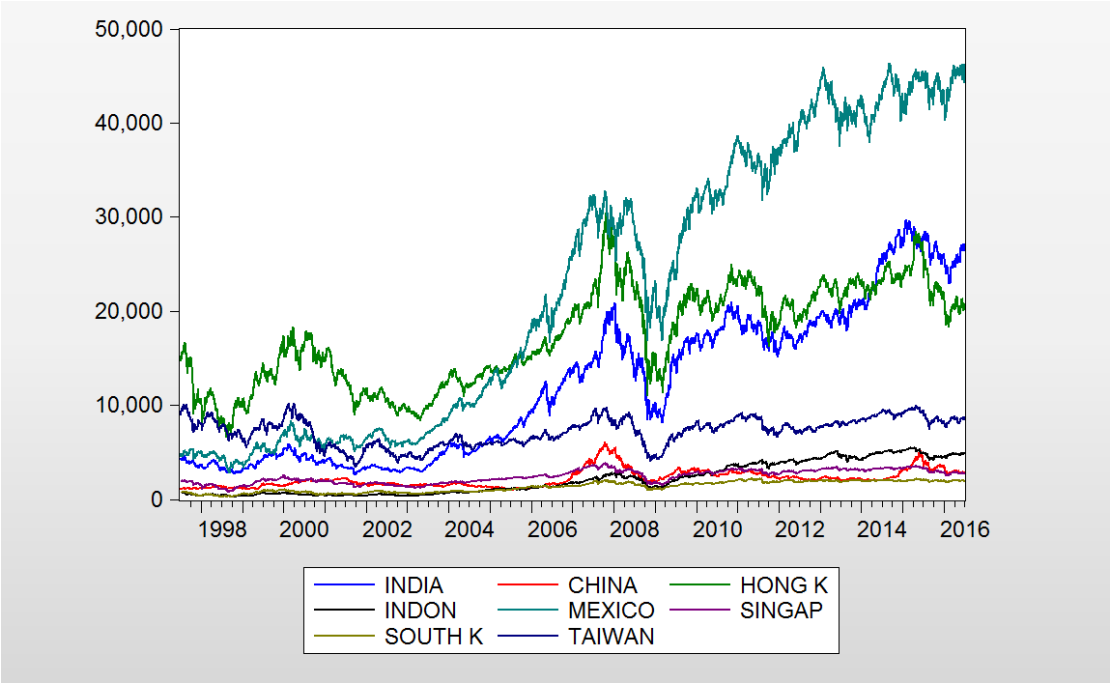
Διάγραμμα 40: Εντροπία 3 διαστημάτων Νότιας Κορέας

Η πορεία της εντροπίας σε αυτό το χρηματιστήριο διαφοροποιείται εντελώς από όλες τις προηγούμενες εκτιμήσεις δείχνοντας εκτόξευση της αβεβαιότητας στην περίοδο που ακολουθεί μετά την κρίση ενώ στα δύο προηγούμενα διαστήματα διατηρήθηκε στα ίδια επίπεδα.

2.10 ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

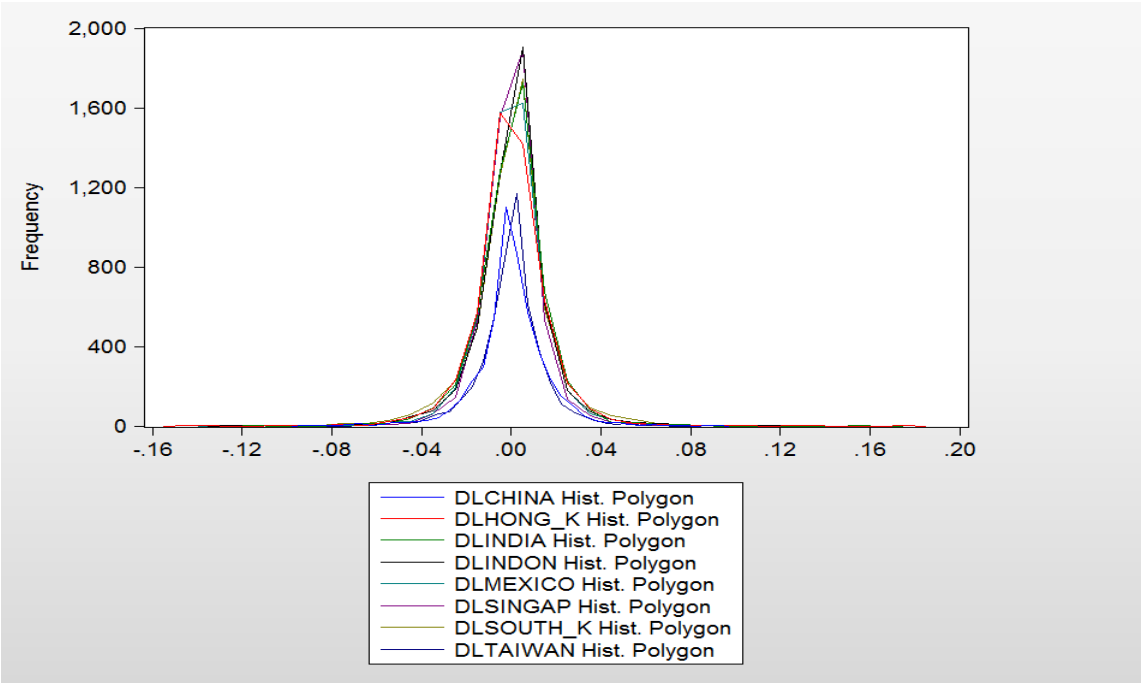
Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μια ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων και μια συσχέτιση των χρηματιστηρίων μεταξύ τους με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων και μοτίβων.

Αρχικά θα παρουσιάσουμε το ομαδοποιημένο γράφημα πορείας και των 8 χρηματιστηρίων από το οποίο φαίνεται ξεκάθαρα η πτώση και των 8 την περίοδο της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης του 2007-2009 με τα χρηματιστήρια μελέτης μας να σημειώνουν τις ελάχιστες τιμές τους περίπου το 2009 όπως απεικονίζεται και παρακάτω.



Διάγραμμα 41: Πορεία και των 8 χρηματιστηριακών δεικτών

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε ένα ενοποιημένο διάγραμμα λογαριθμικών διαφορών καθώς και ένα ενοποιημένο πίνακα των περιγραφικών στατιστικών προκειμένου να εξάγουμε συμπεράσματα που προκύπτουν για κάθε χρηματιστήριο συγκριτικά με τα υπόλοιπα.



Διάγραμμα 42: Ιστογράμματα αποδόσεων

Πίνακας 2: Περιγραφικές στατιστικές

		DLCHINA	DLHONG_K	DLINDIA	DLINDON	DLMEXICO	DLSINGAP	DLSOUTH_K	DLTAIWAN
Mean	Mean	0.000180	6.33E-05	0.000370	0.000387	0.000467	7.44E-05	0.000189	-5.88E-06
Median	Median	0.000000	0.000000	1.91E-05	6.38E-05	0.000305	0.000000	0.000000	0.000000
Maximum	Maximum	0.094010	0.172470	0.159900	0.131277	0.121536	0.128738	0.112844	0.085198
Minimum	Minimum	-0.092561	-0.147346	-0.118092	-0.127321	-0.143145	-0.091535	-0.128047	-0.099360
Std. Dev.	Std. Dev.	0.015917	0.016565	0.015330	0.015892	0.014384	0.012931	0.017840	0.014196
Skewness	Skewness	-0.324718	0.111092	-0.105138	-0.197653	0.031508	0.019464	-0.217699	-0.169683
Kurtosis	Kurtosis	7.931882	13.35677	9.531154	11.22387	10.93764	11.01839	8.561633	6.387909
Jarque-Bera	Jarque-Bera	5110.921	22164.40	8819.367	14001.11	13014.20	13279.82	6427.852	2394.458
Probability	Probability	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sum	Sum	0.894308	0.313650	1.834722	1.918236	2.316120	0.368570	0.938729	-0.029148
Sum Sq. Dev.	Sum Sq. Dev.	1.255539	1.359912	1.164658	1.251678	1.025413	0.828652	1.577296	0.998802
Observations	Observations	4957	4957	4957	4957	4957	4957	4957	4957

Από το διάγραμμα 42 και με τη βοήθεια του Πίνακα 2 θα λέγαμε οτι Ινδονησία και Σιγκαπούρη εμφανίζουν μηδενικές αποδόσεις με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Επίσης είναι φανερό ότι όλες οι χώρες έχουν λεπτόκυρτες κατανομές με την Ταϊβάν και την Κίνα να εμφανίζουν το χαμηλότερο μέτρο κύρτωσης. Ακόμα αν λάβουμε υπόψη την τυπική απόκλιση θα χαρακτηρίσουμε ως πιο σταθερά τα χρηματιστήρια Μεξικό, Σιγκαπούρης και Ταϊβάν ενώ αυτό με τη μεγαλύτερη διακύμανση είναι το χρηματιστήριο της Νότιας Κορέας.

Ακολούθως χρησιμοποιώντας τα γραφήματα που λάβαμε από την εντροπία 48 διαστημάτων θα προσπαθήσουμε να βρούμε μοτίβα που προκύπτουν από τις τιμές που προέκυψαν.

Στον πίνακα 3 συγκεντρώσαμε τα διαστήματα κατά τα οποία σημειώθηκαν τα υψηλά και τα χαμηλά που κατέγραψε η εντροπία κάθε χρηματιστηρίου.

Πίνακας 3: Υψηλά-Χαμηλά κάθε χρηματιστηρίου

ΧΩΡΕΣ	Διαστήματα υψηλών	Διαστήματα χαμηλών
ΚΙΝΑ	2, 20, 33, 45	6, 12, 41
ΧΟΝΓΚ ΚΟΝΓΚ	7, 18, 32	3, 27, 41
ΙΝΔΙΑ	19, 27, 34	1, 30, 45
ΙΝΔΟΝΗΣΙΑ	5, 24, 37	3, 11, 27, 41
ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗ	5, 17, 44	2, 10, 38, 46
ΜΕΞΙΚΟ	5, 20, 36	8, 25, 46
ΤΑΪΒΑΝ	17, 22,34, 39	6, 10, 26, 41, 48
ΝΟΤΙΑ ΚΟΡΕΑ	5, 22, 32	8, 27, 43

Λαμβάνοντας υπόψη αυτή την ομαδοποίηση μπορούμε να καταλήξουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα:

- Υψηλό εντροπίας σημειώνουν 5 από τα χρηματιστήρια (Χονγκ Κονγκ, Ινδονησία, Σιγκαπούρη, Μεξικό και Νότια Κορέα) στο διάστημα 5-7 δηλαδή από 1/1999 έως 10/2000 που αντιπροσωπεύει μια περίοδο γενικότερης ευημερίας μετά την πάροδο της ασιατικής κρίσης.
- Ακόμα ένα υψηλό σημειώνουν 6 από τα χρηματιστήρια (Κίνα, Χονγκ Κονγκ, Ινδία, Σιγκαπούρη, Μεξικό και Ταϊβάν) στο διάστημα 17-20 δηλαδή από 8/2003 έως 9/2005 άλλη μία περίοδο ευημερίας για τα χρηματιστήρια, αν και οι αποδόσεις τους έχουν πολύ μικρή συσχέτιση μεταξύ τους.
- Τέλος ένα ακόμα υψηλό σημειώνουν 5 από τα χρηματιστήρια (Κίνα, Χονγκ Κονγκ, Ινδία, Ταϊβάν και Νότια Κορέα) στο διάστημα 32-34 δηλαδή από 5/2009 έως 2/2011 που αντιπροσωπεύει την περίοδο ανάκαμψης μετά την μεγάλη παγκόσμια οικονομική κρίση.

Από την άλλη μεριά παρατηρούμε οτι:

- Χαμηλό εντροπίας σημειώνουν 4 από τα χρηματιστήρια (Χονγκ Κονγκ, Ινδία, Ινδονησία και Σιγκαπούρη) στο διάστημα 1-3 δηλαδή από 07/97 έως 03/1999 που αντιπροσωπεύει την επιρροή που είχε η ασιατική κρίση του 1997 και έκανε τις αποδόσεις να έχουν πολύ μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους.
- Άλλο χαμηλό σημειώνουν 4 από τα χρηματιστήρια (Κίνα, Μεξικό, Ταϊβάν και Νότια Κορέα) στο διάστημα 6-8 δηλαδή από 06/1999 έως 02/2001 την περίοδο δηλαδή μετά το πέρας της ασιατικής κρίσης.
- Ακόμα ένα χαμηλό σημειώνουν 5 από τα χρηματιστήρια (Χονγκ Κονγκ, Ινδονησία, Μεξικό, Ταϊβάν και Νότια Κορέα) στο διάστημα 25-27 δηλαδή από 9/2006 έως 6/2008 την περίοδο που ξεκινάει και εξελίσσεται το παγκόσμιο οικονομικό κραχ.
- Άλλο χαμηλό εμφανίζουν 5 χρηματιστήρια (Κίνα, Χονγκ Κονγκ, Ινδονησία, Ταϊβάν και Νότια Κορέα) στο διάστημα 41-43 δηλαδή από 11/2012 έως 7/2014 μία περίοδο που αρχίζει η κρίση της Ευρωζώνης και κάνει όλες τις αγορές επιφυλακτικές.
- Τέλος άλλο χαμηλό σημειώνουν 4 χρηματιστήρια (Ινδία, Σιγκαπούρη, Μεξικό και Ταϊβάν) στο διάστημα 45-48 δηλαδή από 5/2014 έως 6/2016 την περίοδο δηλαδή που ξεσπάει η οικονομική κρίση της Κίνας και φυσικά επηρεάζει και τα υπόλοιπα γειτονικά χρηματιστήρια.

Οι παραπάνω ομαδοποιημένες παρατηρήσεις μας οδηγούν στο συμπέρασμα οτι η εντροπία έχει γενικά την ίδια συμπεριφορά σε όλα τα χρηματιστήρια μελέτης όσον αφορά την περίοδο της κρίσης σημειώνοντας αρκετά χαμηλές τιμές. Επίσης ακόμα ένα σημείο άξιο αναφοράς είναι στο διάστημα πριν την παγκόσμια οικονομική κρίση (διάστημα 26-30) όλα τα χρηματιστήρια σημείωσαν ένα υψηλό στα διαστήματα από 17-24 (2004-2006), αλλά όχι όλα στο ίδιο, κάτι που υποδηλώνει οτι η αβεβαιότητα μεταφέρθηκε με διαφορετική χρονική υστέρηση σε κάθε χρηματιστήριο.

Θα προσπαθήσουμε επίσης να εντοπίσουμε σε πόσες περιπτώσεις ένα υψηλό ακολουθείται μετά από σύντομο διάστημα από ένα χαμηλό.

- Κίνα: υψηλό 2 » χαμηλό 6
- Χονγκ Κονγκ: υψηλό 3» χαμηλό 7
- Ινδία: υψηλό 27» χαμηλό 30
- Ινδονησία: υψηλό 24 » χαμηλό 27 ,υψηλό 37 » χαμηλό 41
- Σιγκαπούρη: υψηλό 44 » χαμηλό 46
- Μεξικό: υψηλό 5» χαμηλό 8
- Ταϊβάν: υψηλό 39 » χαμηλό 41
- Νότια Κορέα: υψηλό 5» χαμηλό 8

Οι παραπάνω παρατηρήσεις μας εμφανίζουν ένα μοτίβο καθώς τουλάχιστον μία φορά σε κάθε χώρα σημειώνεται μία χαμηλή τιμή εντροπίας λίγο μετά (2 ως 4 διαστήματα) από ένα υψηλό. Έτσι λοιπόν θα μπορούσαμε να πούμε οτι έχουμε ένα πρώτο σημάδι επιβεβαίωσης της βιβλιογραφίας που υποστηρίζει οτι οι υψηλές τιμές εντροπίας μπορεί να λειτουργήσουν προβλεπτικά για μία επερχόμενη κρίση που μεταφράζεται με πτώση της εντροπίας. Βέβαια δεν προηγείται μία υψηλή τιμή πριν από κάθε χαμηλή και για το λόγο αυτό το θέμα χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εντροπία από τη θεωρία πληροφορίας είναι ένα μέτρο απόλυτα ταιριαστό για την οικονομία. Τα χαρακτηριστικά της μας βοηθούν να σκιαγραφήσουμε λεπτομέρειες που είναι κρυμμένες στη μη-γραμμικότητα και ασυμμετρία της αγοράς και να αλιεύσουμε όλες εκείνες τις πληροφορίες που είναι κρυμμένες στο δυναμικό της χαρακτήρα. Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε την εντροπία του Shannon για τη μελέτη αναπτυσσόμενων αγορών που είχαν μια γενικά ανοδική πορεία στη διάρκεια των ετών και να παρατηρήσουμε την επίδραση που είχαν σε αυτά τόσο κρίσεις που προήλθαν από τις ίδιες αυτές χώρες όσο και άλλες κρίσεις που ξεκίνησαν από φαινομενικά απομακρυσμένες αγορές. Σε μία οικονομία βέβαια που αποκτά όλο και πιο παγκοσμιοποιημένη φύση με το πέρασμα των ετών οι συσχετίσεις αυτές γίνονται ολοένα και ισχυρότερες.

Υψηλές τιμές εντροπίας συνεπάγονται υψηλή αταξία. Ενδιαφέρον είναι το εύρημα οτι σε όλα σχεδόν τα χρηματιστήρια η εντροπία σημείωσε υψηλά σε περιόδους ευημερίας και ταυτίζονταν σχεδόν καθολικά με περιόδους ανοδικής τάσης των τιμών. Επίσης έχουμε μια πρώτη ένδειξη που συνάδει με την υπόθεση οτι η άνοδος της εντροπίας μπορεί να λειτουργήσει προβλεπτικά για επερχόμενες κρίσεις. Βρήκαμε αρκετές περιπτώσεις που μια υψηλή τιμή εντροπίας ακολουθούνταν από μια χαμηλή αλλά επειδή κάτι τέτοιο δεν συνέβη καθολικά είναι απαραίτητο να υπάρξει επιπλέον έρευνα στο κομμάτι αυτό. Από την άλλη μεριά η πτώση της εντροπίας σηματοδοτεί ξεκάθαρα περιόδους κρίσεων και πτώσης των τιμών. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων όταν εντοπίζαμε πολύ χαμηλές τιμές εντροπίας κρύβονταν από πίσω μια οικονομική ύφεση.

Η παρούσα εργασία θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για μια πιο ενδελεχή μελέτη της συμπεριφοράς που παρουσιάζουν τα χρηματιστήρια. Πιο συγκεκριμένα είναι γνωστό οτι η εντροπία αποτελεί μία έννοια που συναντάται συνεχώς στη φύση και μπορεί να εκφράσει με ευκολία διεργασίες της, από φαινόμενα θερμοδυναμικής μέχρι μετάδοσης πληροφορίας. Τα αποτελέσματα μας υποδηλώνουν οτι είναι κατάλληλη και ταιριαστή για μετάφραση οικονομικών διεργασιών και αλίευσης δεδομένων καλά κρυμμένων μέσα στην πολυπλοκότητα. Έτσι λοιπόν θα μπορούσε να αποτελέσει μια αφορμή για μια εναλλακτική μελέτη της οικονομίας και των κρίσεων που προκύπτουν από ατελείς διεργασίες. Τέλος η χρησιμοποίηση και των υπόλοιπων

τύπων εντροπίας της θεωρίας πληροφορίας θα μπορούσε να ρίξει ακόμα περισσότερο φως στη μελέτη της συμπεριφοράς των χρηματιστηρίων σε περιπτώσεις κρίσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bariviera, A.F., Guercio, M.B., Martinez, B., Rosso, O. (2016). Monitoring the informational efficiency of European corporate bond markets with dynamical permutation min-entropy. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *456*, 1-9.

Billio, M., Casarin, R., Costola, M., Pasqualini, A. (2015). An entropy-based early warning indicator for systemic risk. *Working paper, Department of Economics of the Ca' Foscari University of Venice.*

Brissaud, (2005). The meanings of entropy. *Entropy 2005, 7*(1), 68-96.

Carmichael, B., Koumou, G., Moran, K. (2015). Unifying Portfolio Diversification Measures Using Rao's Quadratic Entropy. *Working Paper, SSRN Electronic Journal 15-08.*

Chen, J. (2003). An Entropy Theory of Psychology and its Implication to Behavioral Finance. *SSRN Electronic Journal.*

Clausius, R. (1856). On a Modified Form of the Second Fundamental Theorem in the Mechanical Theory of Heat. *Philosophy Magazine,12,* 81–98.

Dedu, S. & Toma, A. (2015). An Integrated Risk Measure and Information Theory Approach for Modeling Financial Data and Solving Decision Making Problems. *Procedia economics and finance*, *22*, 531-537.

Faes, L., Kugiumtzis, D., Nollo, G., Marinazzo, D. (2015). Estimating the decomposition of predictive information in multivariate systems. *Physical Review E-Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics, 3,* 91.

Han, X. & Wang, R. (2015). Computation of credit portfolio loss distribution by a cross entropy method. *Journal of Applied Mathematics and Computing*.

Havrda, J., Charvat, F. (1967). Quantification method of classification processes: concept of structural α-entropy. *Kybernetika, 3*, 30–35.

Hseinzadeh, A., Mohtashami, G., Yari, G. (2010). Aspects concerning entropy and utility. *Theory and Decision, 72*, 273-285.

Jaynes, (1957). Information Theory and Statistical Mechanics. *Physical Review Series II,106*, 620–630.

Kolmogorov, (1958). New Metric Invariant of Transitive Dynamical Systems and Endomorphisms of Lebesgue Spaces. *Doklady of Russian Academy of Sciences, 119*, 861-864.

Kullback & Leibler (1951). On information and sufficiency. *Annals of Mathematical Statistics, 22*, 79–86.

Maasoumi, E. (1993). A Compendium to Information Theory in Economics and Econometrics. *Econometric Reviews, 12*, 137-181.

Maasoumi, E. & Racine, J. (2002). Entropy and Predictability of Stock Market Returns. *Journal of Econometrics, 107*, 291-312.

Markowitz, (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finace, 7*, 77-91.

Maxwell (1871). *Theory of Heat*, Dover publications.

Neri, C., Schneider, L. (2012). Maximum entropy distributions inferred from option portfolios on an asset. *Finance and Stochastics, 2*, 293-318.

Nicolosi, M. (2016). Dynamic portfolio management with views at multiple horizons. *Applied Mathematics and Computation, 274*, 495-518.

Pal, (1992). Higher order fuzzy entropy and hybrid entropy of a set. *Information Sciences, 61*, 211-231.

Philippatos & Wilson, (1972). Entropy, market risk, and the selection of efficient portfolios. *Applied Economics*, *4*, 209–220.

Preda, V., Sheraz, M. (2015). Risk-neutral densities in entropy theory of stock options using lambert function and a new approach. *Proceedings of the Romanian Academy Series A - Mathematics Physics Technical Sciences Information Science, 16*, 20–27.

Qiao, Z. (2016). Comparison of two entropy approaches in understanding stock market dynamics. *5th Economics & Finance Conference*, 378-388.

Renyi, A. (1961). On measures of information and entropy. *Proceedings of the fourth Berkeley Symposium on Mathematics, Statistics and Probability*, *1*, 547–561.

Shannon, (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, *27*, 379–423, 623–656.

Sheraz, M., Dedu, S., Preda, V. (2014). Entropy Measures for Assessing Volatile Markets. *Procedia Economics and Finance*, *22*, 655 – 662.

Shi, W., Lin, A., Shang, P. (2014). The coupling analysis of stock market indices based on cross-permutation entropy. *Nonlinear Dynamics*, *79*, 2439-2447.

Sohrab, (2014). Boltzmann entropy of thermodynamics versus Shannon entropy of information theory. *International Journal of Mechanics*, *8*, 73-84.

Stošić, D., Ludermir, T., Rosa de Oliveira, W. (2016). Foreign exchange rate entropy evolution during financial crises. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *449*, 233-239.

Sun, L., Xu, J., Li, S., (2011). New approach for feature selection by using information entropy. *Journal of Information and Computational Science*, *12*, 2259-2268.

Tsallis, C., (1988). Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. *Journal of Statistical Physics*, *52*, 479–487.

Xu, M. & Shang, P. (2015). Modified generalized sample entropy and surrogate data analysis for stock markets. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, *35*, 17-24.

Yang & Chun-xia (2005). Diffusion entropy analysis on the scaling behavior of financial markets. *Physica A:Statistical Mechanics and its Applications*.

Yu, J. & Kim, S. (2015). Integration of mutual information and CRPSO-based fuzzy model for stock index forecasting. *16th World Congress of the International Fuzzy Systems Association (IFSA)*, 624-631.

Zhou, J., Li, X., Pedrycz, W. (2016). Mean-Semi-Entropy Models of Fuzzy Portfolio Selection. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, *6706*, 1-1.

Zhou, Ru, C., Guanqun, T. (2013). Applications of entropy in finance: A review. *Entropy 2013*, *15*, 4909-4931.

Zhou, R., Zhang, J., Xiong, M., Yang, F., Yu, M. (2015 a). Using Information Entropy to Measure Bond Risk: An Empirical Investigation. *Journal of Information & Computational Science*, *12*, 1089-1100.

Zhou, R., Yang, Z., Yu, M., Ralescu, D. (2015 b), A portfolio optimization model based on information entropy and fuzzy time series. *Fuzzy Optimization and Decision Making (2015),14*, 381–397.

Zhou, R., Zhan, Y., Cai, R., Tong, G., (2015 c). A Mean-Variance Hybrid-Entropy Model for Portfolio Selection with Fuzzy Returns. *Entropy 201*5, *17*, 3319-3331.