



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ στα
ΔΙΚΤΥΑ και ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ
INTER-FACULTY
MASTER PROGRAM on
NETWORKS and COMPLEXITY

ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
SCHOOL of ECONOMICS
SCHOOL of MATHEMATICS
SCHOOL of BIOLOGY
SCHOOL of GEOLOGY
ARISTOTLE UNIVERSITY of THESSALONIKI



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και μετοχές: μια δικτυακή
προσέγγιση**

Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Κουγιουμτζής Δημήτριος
Καθηγητής Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2020



Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης



Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και μετοχές: μια δικτυακή προσέγγιση

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ στα
ΔΙΚΤΥΑ και ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ
INTER-FACULTY
MASTER PROGRAM on
NETWORKS and COMPLEXITY
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
SCHOOL of ECONOMICS
SCHOOL of MATHEMATICS
SCHOOL of BIOLOGY
SCHOOL of GEOLOGY
ARISTOTLE UNIVERSITY of THESSALONIKI



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και μετοχές: μια δικτυακή προσέγγιση

Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Κουγιουμτζής Δημήτριος
Καθηγητής Α.Π.Θ.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την

Κουγιουμτζής
Δημήτριος
Καθηγητής Α.Π.Θ.

Αντωνίου
Ιωάννης
Καθηγητής Α.Π.Θ.

Παπαδόπουλος
Κωνσταντίνος
Επίκουρος Καθηγητής Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2020



Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης

Πτυχιούχος Οικονομολόγος Α.Π.Θ.

Copyright © Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αναλύεται ένα σύστημα που περιλαμβάνει μετοχές και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης με υποκείμενο μέσο εμπορεύματα. Στόχος είναι να βρεθούν οι άμεσες σχέσεις αιτιότητας που υπάρχουν, αναλύοντας τις χρονοσειρές 58 μετοχών του δείκτη S&P500 με τη μεγαλύτερη κεφαλαιοποίηση κατά τομέα και 24 συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης που διαπραγματεύονται στα ανταλλακτήρια της Νέας Υόρκης και του Σικάγο. Για την κατασκευή των δικτύων με συνδέσεις που αντιστοιχούν σε σχέσεις άμεσης αιτιότητας χρησιμοποιήθηκαν τα μέτρα: (α) Δείκτης δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (CGCI), που είναι γραμμικό μέτρο άμεσης αιτιότητας, (β) περιορισμένος δείκτης δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (RCGCI), που είναι μέτρο με μείωση της διάστασης του μοντέλου στο (α) και (γ) μερική αμοιβαία πληροφορία από μικτή εμβύθιση (PMIME), που είναι μέτρο πληροφορίας με μείωση διάστασης. Η πρώτη ανάλυση έγινε σε κυλιόμενα χρονικά παράθυρα 18 μηνών και η δεύτερη σε παράθυρα 4 μηνών, για να μελετηθούν δομικές αλλαγές του χρηματοοικονομικού συστήματος σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Για την ανάλυση των δικτύων και για την εξαγωγή συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκαν περιγραφικά μέτρα δικτύων και μέτρα κεντρικότητας, τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε επίπεδο κόμβων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν πως υπάρχουν δομικές διαφορές στα δίκτυα όταν υπάρχει κάποια οικονομική αναταραχή, ανεξάρτητα από το μέτρο που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή τους. Τέλος, φαίνεται πως το σύστημα που περιλαμβάνει και τα δύο χρηματοοικονομικά μέσα παρουσιάζει ερευνητικό ενδιαφέρον, καθώς πολλές από τις σχέσεις αιτιότητας είναι μεταξύ χρηματοοικονομικών μέσων των διαφορετικών κατηγοριών.

Λέξεις-κλειδιά: Δίκτυα αιτιότητας, συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης, μετοχές, κεντρικότητα δικτύου, ανάλυση χρονοσειρών, οικονομική αναταραχή

ABSTRACT

In this thesis, a system that includes both equities and commodity futures is being examined. The goal is to find the direct causal relationships, analyzing the time series of 58 stocks which are components of the S&P500 index with the largest capitalization by sector, and 24 commodity futures traded at the New York and Chicago exchanges. In order to construct networks with links corresponding to direct causality relationships, the following measures were used: (a) Conditional Granger Causality Index (CGCI), which is a linear measure of direct causality, (b) Restricted Conditional Granger Causality Index (RCGCI), which is a measure that applies dimension reduction in model at (a), and (c) Partial Mutual Information from Mixed Embedding (PMIME), which is a measure of information applying dimension reduction. At the first phase, analysis was performed in 18-month rolling time windows and at the second phase in 4-month windows, in order to note structural changes of the financial system in different time scales. Descriptive network measures and centrality measures, both local and global, were used to analyze networks and to draw conclusions. The results of the analysis show that there are structural changes at networks when there is some financial turmoil, regardless of the measure used for their construction. Finally, it seems that the system that includes both financial instruments is of research interest, as many of the causal relationships are between instruments of different categories.

Keywords: Causality networks, commodity futures, equities, centralization, time series analysis, financial turmoil



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	7
SUMMARY.....	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
Α΄ ΜΕΡΟΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	17
1.1. Μετοχές.....	17
1.2. Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης.....	20
2. ΣΧΕΣΕΙΣ ΑΙΤΙΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ.....	25
2.1. Στασιμότητα χρονοσειράς.....	25
2.2. Από τη συσχέτιση στην αιτιότητα.....	28
2.3. Μέτρα αιτιότητας.....	30
2.3.1. Δείκτης αιτιότητας με βάση γραμμικά αυτοπαλίνδρομα μοντέλα.....	30
2.3.2. Δείκτες αιτιότητας με βάση μέτρα πληροφορίας.....	32
2.3.3. Δείκτες αιτιότητας με βάση μέτρα πληροφορίας και μείωση διάστασης.....	34
2.4. Έλεγχοι στατιστικής σημαντικότητας.....	35
3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	39
3.1. Είδος δικτύου βάσει του πίνακα γειτνίασης.....	39
3.2. Μέτρα κεντρικότητας.....	40

Β' ΜΕΡΟΣ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	45
4.1. Ερευνητικός στόχος.....	45
4.2. Παρουσίαση δεδομένων και προβλημάτων.....	45
4.3. Μεθοδολογία.....	47
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	51
5.1. Χρονικά παράθυρα 378 ημερών.....	51
5.2. Χρονικά παράθυρα 84 ημερών.....	58
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	63
6.1. Συμπεράσματα από την ανάλυση.....	63
6.2. Μελλοντικές μελέτες.....	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	67

SUMMARY

In this approach, equities and commodity futures are components of the system under study. Causal relationships amongst these financial instruments are estimated using three causality measures: (a) Conditional Granger Causality Index (CGCI), which is a linear measure of direct causality, (b) Restricted Conditional Granger Causality Index (RCGCI), which is a measure that applies dimension reduction in model at (a), and (c) Partial Mutual Information from Mixed Embedding (PMIME), which is a measure of information applying dimension reduction. Measures (a) and (b) were used to estimate direct causality resulting from linear relationships, with (b) differing from (a) by applying dimension reduction. It may also be used when there are fewer observations for each variable. Measure (c) is used to estimate causality resulting from both linear and non-linear relationships. The analysis is conducted on overlapping rolling windows of 18 months each, as well as on overlapping windows of 4 months each. The estimated causality by each measure for all pairs of components is used to form the adjacency matrices, and further construct the causality networks. Then, network analysis is applied, using local and global network characteristics to conclude on changes in the network structure across time.

First of all, the main characteristics of equities and commodity futures are explained. On the one hand there are equities, which are a primary financial instrument. An equity is an ownership certificate, that is why it is also named "share". A shareholder that owns one share is owner of the percentage of the corporation that corresponds to this share. So, an equity is a primary financial instrument because its price reflects the market value of the corporation. On the other hand, commodity futures, as well as all kinds of futures, are derivatives, which means that their price does not reflect anything, but it is derived by another instrument, therefore they are called derivatives. In case of commodity futures, the underlying asset from which the futures price is derived is the commodity itself.

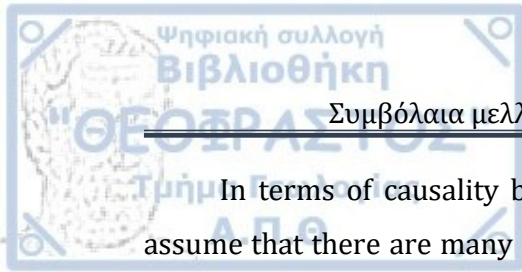
Then, causality measures are presented. CGCI and RCGCI may detect causal effects resulting only from linear relationships between variables. At opposite, PMIME is based on information measures and estimates both linear and nonlinear relationships

between variables. The two firstly introduced measures are using vector autoregressive (VAR) models to estimate causality. PMIME is based on conditional mutual information and a mixed embedding vector formed progressively by only the most relevant, to the response, lagged variables, applying effectively dimension reduction. RCGCI also applies dimension reduction in the VAR model used in CGCI. In this way, the RCGCI has the advantage against the other two measures it estimates causality even when the observations are relatively few. Condition for the estimation of causality by any of the three measures to be reliable is the stationarity of the time series that are being processed. In order to achieve stationarity in these time series, we take the log returns of the observations.

Centrality measures that are used in this study are introduced, both at the local level (node) and the global level (network). When we refer to the first case, term centrality is used, and when we refer to the second case, term centralization is used. Centralization measures were used to note networks with different structure from the others, in both large and small windows. Centrality is used to inspect some small windows that were singled out, because their networks had different characteristics from networks of other small windows.

The main findings of the analysis are as follows. For the same time window, the estimated causality networks by the three methods were structurally different. All networks were very sparse, especially those created by RCGCI. Despite the structural differences, two large windows were singled out because the networks for these two had the largest degree, which was much larger than in the networks for all other windows. These two windows were from 05/06/2007 to 01/12/2008, and from 30/05/2019 to 04/06/2020. Inspecting the dates, we see that the first one refers to the Global Financial Crisis of 2008 and the second one partially refers on the days of the Corona Virus crisis.

Zooming in the small windows that cover these periods of time, only one 4-month window with relatively large edge density was found. Applying in- and out-strength centrality analysis, it is found that Google stocks in that period of time were depended on many other equities and futures. Inspecting the results of the analysis on small windows at the period of the COVID-19 crisis, we see that in that time it was Adobe's turn to have many edges pointing to it.



Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και μετοχές: μια δικτυακή προσέγγιση

In terms of causality between two variables from different categories, we can assume that there are many cases in which equities cause futures and the reverse. So, the mixed-system analysis has been proven a proper concept.



Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην εύρεση των σχέσεων αιτιότητας που πιθανώς υπάρχουν μεταξύ μετοχών, μεταξύ συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης και κατ' επέκταση μεταξύ των δύο. Αυτό θα επιτευχθεί με την προσέγγισή τους ως δίκτυο και με τη χρήση των μέτρων δικτυακής ανάλυσης. Οι συνδέσεις του δικτύου σε αυτήν την προσέγγιση θα προκύψουν από τις σχέσεις αιτιότητας μεταξύ των χρονοσειρών των ημερήσιων τιμών κλεισίματος των μετοχών και από τις ημερήσιες τιμές των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης, όπως αυτές έχουν αποτυπωθεί ιστορικά στις οργανωμένες αγορές.

Στις σύγχρονες χρηματοοικονομικές αγορές υπάρχουν σχέσεις μεταξύ των οικονομικών προϊόντων, οι οποίες εν πολλοίς καθορίζουν την αξία τους. Η αξία βέβαια έχει πολλές εκφάνσεις, ωστόσο παρακάτω θα γίνει λόγος μόνο για τη χρηματιστηριακή αξία των οικονομικών προϊόντων, η οποία αποτυπώνεται στις χρηματιστηριακές αγορές. Συγκεκριμένα, θα μελετηθούν οι χρηματιστηριακές αξίες μετοχών εισηγμένων εταιρειών και συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης όσον αφορά εμπορεύματα (commodity futures).

Η μελέτη αυτή θα μας δείξει, πέρα από τις τάσεις και τα περιοδικά φαινόμενα, πώς συντίθενται οι προαναφερθείσες σχέσεις και θα προσεγγισθεί κατά πόσο αυτές μεταβάλλονται σε περιόδους οικονομικών κρίσεων. Θα αναλυθεί αρχικά η φύση των χρηματοοικονομικών προϊόντων για τα οποία γίνεται λόγος και τι ακριβώς αντικατοπτρίζουν στην αγορά, ώστε να γίνει κατανοητό το όφελος της μελέτης ως προς τη σφαιρικότερη αντίληψη των χρηματιστηριακών αγορών ή ως προς τη διαχείριση ενός χαρτοφυλακίου. Βεβαίως η ερμηνεία της πορείας των αγορών δεν είναι απλό ζήτημα, διότι πάντα επιδρούν σε αυτές τάσεις, περιοδικά φαινόμενα και διάφοροι κοινωνικοπολιτικοί παράγοντες, στοιχεία τα οποία δε θα αναλυθούν σε αυτή την εργασία.

Η εργασία αναπτύσσεται σε δύο κύρια μέρη. Στο πρώτο μέρος αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται, τόσο ώστε να υπάρξει μία τριβή με τα οικονομικά υποκείμενα για τα οποία θα γίνει λόγος, όσο και προς την παρουσίαση της θεωρίας δικτύων και των μέτρων αυτής, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για να εξαχθούν τα

συμπεράσματα βάσει των αποτελεσμάτων. Στο δεύτερο μέρος θα αναλυθεί η μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί και θα αναπτυχθεί η εφαρμογή στα πραγματικά δεδομένα τιμών των μετοχών του δείκτη S&P 500 και των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης με υποκείμενες αξίες εμπορεύματα.

Για την ανάλυση των χρονοσειρών και την εκτίμηση των σχέσεων αιτιότητας θα χρησιμοποιηθούν προηγμένα στατιστικά εργαλεία, ενώ για να εμβάθυνση στην ανάλυση των δικτύων θα χρησιμοποιηθούν περιγραφικά μέτρα και μέτρα κεντρικότητας, τόσο κόμβων, όσο και δικτύων.

Τα χρηματοοικονομικά δίκτυα έχουν συγκεντρώσει έντονο ενδιαφέρον και έχουν γίνει πολλές εργασίες στο ευρύτερο θέμα. Οι περισσότερες βασίζονται στο συντελεστή συσχέτισης Pearson. Ενδεικτικά παρατίθενται μερικές εργασίες οι οποίες εισήγαγαν κάποια καινοτόμα προσέγγιση των χρηματοοικονομικών δικτύων.

Οι Bonanno, Caldarelli, Lillo et al. (2004) δημοσίευσαν ένα άρθρο, στο οποίο προσέγγισαν τις μετοχές δικτυακά. Συγκεκριμένα χρησιμοποίησαν το συντελεστή συσχέτισης του Pearson για να κατασκευάσουν τα μέγιστα ζευγνύοντα δένδρα για τις 100 μετοχές με την υψηλότερη κεφαλαιοποίηση του χρηματιστηρίου της Νέας Υόρκης. Η ανάλυσή τους έγινε τόσο στις χρονοσειρές των τιμών κλεισίματος, όσο και σε χρονοσειρές των ενδιάμεσων τιμών που λάμβαναν οι μετοχές εντός της ίδιας μέρας. Με τη δεύτερη μέθοδο εστίασαν σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα και διαπίστωσαν σημαντικές δομικές αλλαγές στη δομή του MST κατά την πάροδο του χρόνου μέσα στη μέρα.

Οι Tumminello, Di Matteo, Aste και Mantegna (2007) δημοσίευσαν μία εργασία η οποία μοιάζει σε αρκετά στοιχεία με την παραπάνω. Με χρήση του συντελεστή συσχέτισης του Pearson εκτίμησαν τη συσχέτιση μεταξύ των 300 μετοχών του χρηματιστηρίου της Νέας Υόρκης και κατασκεύασαν τόσο τα μέγιστα ζευγνύοντα δένδρα, όσο και δίκτυα που μπορούσαν να γίνουν επίπεδα γραφήματα, χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο που οι ίδιοι δημιούργησαν. Ασχολήθηκαν επίσης με πολύ μικρούς χρονικούς ορίζοντες χρησιμοποιώντας τη δεύτερη μέθοδο και έκαναν παρατηρήσεις σχετικά με τη μεταβολή διαφόρων περιγραφικών μέτρων του δικτύου μέσα στη μέρα. Έπειτα ομαδοποίησαν τα αποτελέσματα σε τομείς μετοχών για να διαπιστωθούν οι διαφορές από τομέα σε τομέα.

Ο Sandoval L. jr. (2013) στην εργασία του μελέτησε τη συσχέτιση μεταξύ 92 χρηματιστηριακών δεικτών από όλο τον κόσμο με στόχο να παρατηρήσει τις κοινότητες που δημιουργούνται στα δίκτυα. Η συσχέτιση εκτιμήθηκε με το συντελεστή συσχέτισης του Spearman, ο οποίος προτιμήθηκε έναντι του συνηθισμένου Pearson διότι δύναται να εντοπίζει διασυσχετίσεις που οφείλονται σε μη-γραμμικές αλλά μονότονες σχέσεις. Χώρισε τη χρονοσειρά σε παράθυρα ενός έτους και παρατήρησε τις αλλαγές στη δομή των κοινοτήτων και στις σχέσεις μεταξύ αυτών, καθώς επαναλάμβανε την ανάλυση για διαφορετικά επίπεδα κατωφλίου για τη σημαντικότητα του συντελεστή Spearman. Εξήγαγε συμπεράσματα σχετικά με το ποιες κοινότητες επηρεάζουν άλλες και στο τέλος παρουσίασε δύο δίκτυα για τη συνολική χρονοσειρά, ένα με βάση το συντελεστή συσχέτισης Spearman και ένα με βάση το συντελεστή συσχέτισης Pearson.

Το άρθρο που παρουσιάζει περισσότερα κοινά στοιχεία με την ανάλυση που θα ακολουθήσει είναι αυτό των Bekiros, Nguyen, Sandoval και Uddin που δημοσιεύτηκε το 2017 και είναι το μόνο που εξετάζει σύστημα που περιέχει συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και μετοχές με σχετική μέθοδο. Στην εργασία εξετάζεται η αιτιότητα μεταξύ των δύο μέσων με το συντελεστή συσχέτισης Pearson, με τη μεταφορική εντροπία και την αποτελεσματική μεταφορική εντροπία. Από τις σχέσεις που προκύπτουν κατασκευάζονται τα δίκτυα και υπολογίζονται οι κεντρικότητες κόμβων. Βάσει των συνδέσεων που καθιστούν έναν κόμβο κεντρικό σε επίπεδα βαθμικής κεντρικότητας και κεντρικότητας ισχύος, δηλαδή αν είναι μεταξύ κόμβων ίδιας ή διαφορετικής κατηγορίας, προσεγγίζεται κατά πόσο η μία κατηγορία οδηγεί την άλλη.

Το 2019 οι Xiao, Yu, Fang και Ding προσέγγισαν τη συνδετικότητα του δικτύου 18 συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης με τη μέθοδο variance decomposition και χωρίζοντας τα εμπορεύματα σε κατηγορίες, διερεύνησαν ποιες κατηγορίες είναι ευάλωτες στις μεταβολές της αγοράς και ποιες όχι. Μεταξύ άλλων διαπίστωσαν πως η συνδετικότητα του δικτύου αυξάνεται σε περιόδους οικονομικής αναταραχής.



Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης

Α' ΜΕΡΟΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Τόσο οι μετοχές, όσο και τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης αποτελούν αντικείμενα διαπραγματεύσεων στις διεθνείς αγορές, κυρίως λόγω των δυνητικά υψηλών αποδόσεων που μπορούν να προσφέρουν στους επενδυτές. Βεβαίως η υψηλή προσδοκώμενη απόδοση συνεπάγεται αυξημένο κίνδυνο στην επένδυση. Αυτός είναι ένας βασικός λόγος που έχει δημιουργηθεί η ανάγκη ερμηνείας της συμπεριφοράς των τιμών των μετοχών, καθώς και των υπολοίπων παραγώγων χρηματοοικονομικών προϊόντων. Η ορθή ερμηνεία της αγοράς επιφέρει σωστή διαχείριση χαρτοφυλακίου και συνεπώς, ανάλογα βέβαια με το σκοπό της αρχικής επένδυσης, τα προσδοκώμενα κέρδη με το χαμηλότερο δυνατό ρίσκο.

Προχωρώντας θα γίνει εκτενής αναφορά στα επιμέρους στοιχεία γύρω από τις μετοχές και τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης, βάσει των οποίων θα καταστεί σαφές το πώς «δομούνται» και το τι αντικατοπτρίζουν στις αγορές.

Παρότι μιλώντας για μετοχές και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης αναφερόμαστε σε δύο κατηγορίες με εντελώς διαφορετική δομή όσον αφορά το τι ακριβώς προσδιορίζουν, θα φανεί κατά το στάδιο της εφαρμογής πως οι ιστορικές τιμές της μιας κατηγορίας, κάθε άλλο παρά ανεξάρτητες δεν είναι από εκείνες της άλλης.

1.1. ΜΕΤΟΧΕΣ

Οι μετοχές αποτελούν τα μερίδια ιδιοκτησίας σε μια εταιρεία, όπως γίνεται αντιληπτό και από τον αγγλικό όρο «share». Στον κάτοχο της κάθε μετοχής (μέτοχο - shareholder) ανήκει το μερίδιο εκείνο της επιχείρησης που αντιστοιχεί στη μετοχή. Οι μετοχές διακρίνονται σε κοινές (common) και προνομιούχες (premium), μια διάκριση που σχετίζεται κυρίως με το δικαίωμα του μετόχου στη λήψη αποφάσεων (μία κοινή μετοχή εξασφαλίζει μία ψήφο στη Γενική Συνέλευση των μετόχων) και με τη διανομή μερισμάτων. Όλες οι κοινές μετοχές μιας εταιρείας έχουν την ίδια ακριβώς ονομαστική

αξία, συνεπώς είναι ισοδύναμες ως προς τα δικαιώματα που εξασφαλίζουν στους κατόχους τους. Το ποσοστό της εταιρείας που ανήκει σε κάθε μέτοχο προκύπτει από το λόγο του πλήθους των μετοχών που κατέχει προς το συνολικό πλήθος των μετοχών που έχει εκδώσει η εταιρεία. Η ευρύτερα διαδεδομένη νομική μορφή μετοχικής εταιρείας είναι η Ανώνυμη Εταιρεία.

Παρότι οι διαφορές των δύο τύπων μετοχών δε σχετίζονται με την επικείμενη μελέτη, επισημαίνονται προς πληροφόρηση του αναγνώστη οι κυριότερες εξ αυτών. Πρώτον, όπως ήδη αναφέρθηκε, μία κοινή μετοχή δίνει στον κάτοχό της δικαίωμα μίας ψήφου στη Γενική Συνέλευση των μετόχων της εταιρείας, σε αντίθεση με τις προνομιούχες μετοχές, οι οποίες δεν εξασφαλίζουν δικαίωμα ψήφου για τους κατόχους τους. Ωστόσο είναι δυνατόν, βάσει του καταστατικού της κάθε εταιρείας, μία προνομιούχος μετοχή να εξασφαλίζει ψήφο για τον κάτοχό της σε συγκεκριμένα ζητήματα για τα οποία συνεδριάζει η Γενική Συνέλευση.

Δεύτερον, αυτό που καθιστά τη μετοχή προνομιούχα είναι η προτεραιότητα του μετόχου ως προς τη διανομή μερισμάτων, έναντι των κοινών μετόχων. Μέρισμα λέγεται το ποσό που αντιστοιχεί σε κάθε μετοχή, το οποίο προκύπτει από τα κέρδη, ή από το μέρος των κερδών, που έχει αποφασίσει το Διοικητικό Συμβούλιο της εταιρείας να διανείμει στους μετόχους. Είναι δηλαδή η συμμετοχή του μετόχου στα κέρδη της εταιρείας. Υπάρχει περίπτωση το Διοικητικό Συμβούλιο να αποφασίσει να μη διανείμει μερίσματα, ώστε το κεφάλαιο που προκύπτει από τα κέρδη να χρησιμοποιηθεί για κάποια ενδεχόμενη επένδυση στην εταιρεία, ή να αποταμιευτεί ως αποθεματικό κεφάλαιο. Επίσης υπάρχει η πιθανότητα για δεδομένη λογιστική χρήση η εταιρεία να μην παρουσιάσει κέρδη, συνεπώς να μην υπάρχει διαθέσιμο ποσό για απόδοση ως μέρισμα. Σε περίπτωση λοιπόν που το ποσό το οποίο πρόκειται να διανεμηθεί στους μετόχους ως μέρισμα δεν επαρκεί, οι προνομιούχοι μέτοχοι δικαιούνται να απολάβουν πρώτοι το μέρισμα. Επεκτείνοντας σχετικά με τα μερίσματα, υπάρχει άλλη μία υποκατηγορία των προνομιούχων μετοχών, οι συσσωρευτικές προνομιούχες μετοχές. Η τελευταία εξασφαλίζει ότι ο κάτοχος τις μετοχής θα λάβει το μέρισμα που του αναλογεί αναδρομικά για τις χρήσεις εκείνες στις οποίες δε διανεμήθηκαν μερίσματα, βάσει της σταθερής μερισματικής απόδοσης η οποία αναγράφεται στη μετοχή. Σημειώνεται πως σταθερή μερισματική απόδοση μπορούν να έχουν μόνο προνομιούχες μετοχές, όχι οι κοινές. Επιπλέον, σε περίπτωση διάλυσης της εταιρείας οι ιδιοκτήτες

προνομιούχων μετοχών δικαιούνται να λάβουν πρώτοι πίσω το ποσό που αναλογεί, βάσει της εκκαθάρισης της εταιρείας, στην αρχική τους επένδυση.

Μία μετοχική εταιρεία για να αποφύγει το κόστος δανεισμού είναι πιθανόν να στραφεί στους μετόχους για αύξηση μετοχικού κεφαλαίου υπό μορφή έκδοσης νέων μετοχών. Το δικαίωμα που έχουν οι μέτοχοι για αγορά των νέων μετοχών που θα εκδοθούν από την εταιρεία σε δεδομένη τιμή λέγεται δικαίωμα προτίμησης. Αυτό το δικαίωμα εξασφαλίζει στους υφιστάμενους μετόχους την επιλογή να διατηρήσουν κατ' αναλογία το ποσοστό τους στην ιδιοκτησία της εταιρείας και μετά την αύξηση του μετοχικού κεφαλαίου, αγοράζοντας οι ίδιοι τις νέες μετοχές προτού η εταιρεία στραφεί σε τρίτους επενδυτές.

Είναι σημαντικό να τονιστεί πως το χρηματιστήριο, για τη λειτουργία του οποίου θα γίνει λόγος παρακάτω, αποτελεί δευτερογενή αγορά μετοχών, καθώς πρόκειται για απλή μεταβίβαση ανώνυμων μετοχών μεταξύ δύο συμβαλλομένων. Είναι μία συναλλαγή η οποία δεν επηρεάζει την αξία της εταιρείας, σε αντίθεση με την έκδοση και πώληση νέων μετοχών, η οποία είναι η πρωτογενής αγορά (Brealey et al. 2011).

Μιλώντας για την αξία μιας μετοχής, πρέπει να είναι σαφές σε ποια ακριβώς έκφραση της αξίας της αναφερόμαστε. Έτσι λοιπόν έχουμε την ονομαστική αξία της μετοχής, η οποία προκύπτει από το λόγο του μετοχικού κεφαλαίου προς το πλήθος των μετοχών, η οποία μεταβάλλεται μόνο έπειτα από μεταβολή του μετοχικού κεφαλαίου, τη λογιστική αξία της μετοχής, η οποία προκύπτει από τη διαίρεση των ιδίων κεφαλαίων της εταιρείας με το πλήθος των μετοχών και μεταβάλλεται βάσει των αλλαγών στις λογιστικές καταστάσεις της εταιρείας και τη χρηματιστηριακή αξία της μετοχής, η οποία προκύπτει από την προσφορά και τη ζήτηση της εν λόγω μετοχής στις χρηματιστηριακές αγορές. Κατά το στάδιο της εφαρμογής στην παρούσα εργασία, όπου θα γίνεται λόγος για την τιμή κάποιας μετοχής θα αναφερόμαστε στη χρηματιστηριακή της αξία ή τιμή.

Για να έχει κάποια μετοχή εταιρείας χρηματιστηριακή αξία είναι δεδομένο πως η εν λόγω εταιρεία είναι εισηγμένη σε τουλάχιστον ένα χρηματιστήριο. Τα χρηματιστήρια είναι ο ασφαλέστερος «χώρος» που πραγματοποιούνται συναλλαγές, είτε αφορούν μετοχές είτε κάποιο άλλο χρηματοπιστωτικό μέσο, όσον αφορά τις δευτερογενείς αγορές. Οι μετοχές των εισηγμένων εταιρειών είναι το χρηματοπιστωτικό μέσο που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο όγκο συναλλαγών στις

αγορές, λόγω της δυνητικά υψηλής απόδοσης που μπορεί να έχει ως επένδυση. Τα περισσότερα επενδυτικά χαρτοφυλάκια αποτελούνται από μετοχές, είτε καθολικά, είτε σε συνδυασμό με άλλα χρηματοοικονομικά προϊόντα. Οι επενδυτές αποζητούν από το χαρτοφυλάκιό τους το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος (απόδοση) με το μικρότερο δυνατό κίνδυνο. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι που επιχειρείται η επίτευξη των παραπάνω. Θα γίνει αναφορά σε αυτές σε επόμενη παράγραφο. Έπειτα και από την ανάλυση των πραγματικών δεδομένων θα είναι δυνατό να εντοπισθούν ορισμένοι συνδυασμοί χρηματοπιστωτικών μέσων που αντισταθμίζουν τον επενδυτικό κίνδυνο.

1.2. ΣΥΜΒΟΛΑΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΠΛΗΡΩΣΗΣ

Στην προηγούμενη παράγραφο εισήχθησαν οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με τις μετοχές, οι οποίες αποτελούν ένα πρωτογενές χρηματοπιστωτικό μέσο, δηλαδή ένα χρηματοοικονομικό προϊόν του οποίου η ιδιοκτησία δύναται να τεθεί σε διαπραγμάτευση (Γαλιάτσος 2010). Άλλα γνωστά πρωτογενή χρηματοπιστωτικά μέσα, πέρα από τις μετοχές, είναι τα ομόλογα, εταιρικά ή κρατικά, τα έντοκα γραμμάτια και τα αμοιβαία κεφάλαια. Ωστόσο υπάρχει και μία δεύτερη κατηγορία χρηματοπιστωτικών προϊόντων, τα παράγωγα. Το όνομά τους υποδηλώνει πως η αξία τους «παράγεται» από τα υποκείμενα μέσα με τα οποία είναι συνδεδεμένα. Ως επί το πλείστον τα παράγωγα χρηματοπιστωτικά προϊόντα είναι συμβόλαια που αναφέρονται σε προθεσμιακές πράξεις επί των πρωτογενών προϊόντων. Τα κυριότερα εξ αυτών είναι τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (futures), τα δικαιώματα προαίρεσης (options) και οι προθεσμιακές συμβάσεις (forwards). Στην παρούσα εργασία θα αναλυθούν οι χρονοσειρές των τιμών των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης που έχουν ως υποκείμενο μέσο τα εμπορεύματα (commodity futures).

Όπως σημειώθηκε και παραπάνω, τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης δεν έχουν καμία «δομική» σχέση με τις μετοχές. Οι μετοχές των εταιρειών, όπως αναλύθηκε, αντικατοπτρίζουν μερίδιο ιδιοκτησίας και η τιμή τους, εάν πρόκειται για ονομαστική/λογιστική, προκύπτει από ένα σαφή μαθηματικό προσδιορισμό, ή εάν πρόκειται για τη χρηματιστηριακή, προκύπτει από τις ανάγκες της αγοράς. Τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης ωστόσο αντικατοπτρίζουν μία προθεσμιακή πράξη με ποικίλα υποκείμενα μέσα διαπραγμάτευσης. Δημιουργήθηκαν με στόχο τη

μείωση της αβεβαιότητας στους δύο αντισυμβαλλόμενους, σχετικά με μία συναλλαγή που επρόκειτο να πραγματοποιηθεί σε δεδομένο χρονικό διάστημα.

Η απαρχή των οργανωμένων συναλλαγών συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης με υποκείμενο μέσο τα εμπορεύματα εντοπίζεται στην Ιαπωνία στις αρχές του 18ου αιώνα, με στόχο την ανταλλαγή συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης σχετικά με το ρύζι. Ακολούθησε το ανταλλακτήριο του Σικάγο (Chicago Board of Trade – CBOT) στα μέσα του 19ου αιώνα. Κοινός παρονομαστής ήταν, στο μεγαλύτερο μέρος, ο περιορισμός της αβεβαιότητας σχετικά με τη μελλοντική τιμή που τελικά θα συμφωνούνταν για συγκεκριμένες αγοραπωλησίες σε δεδομένη στιγμή του βραχυχρόνιου ορίζοντα. Στο βωμό, λοιπόν, της μείωσης του ρίσκου, ολοένα και περισσότερα αγροτικά προϊόντα λάμβαναν τη θέση υποκειμένου σε συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης. Σήμερα στα οργανωμένα ανταλλακτήρια η συντριπτική πλειονότητα των συναλλαγών γίνεται από επενδυτές που στοχεύουν στην κερδοσκοπία. Παρότι οι σκοποί που ωθούν τους αντισυμβαλλόμενους στη σύναψη συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης δε σχετίζονται με την εργασία αυτή, για λόγους πληρότητας παρουσίασης θα παρατεθούν οι δύο βασικές ομάδες συμμετεχόντων παρακάτω.

Πέρα, λοιπόν, από τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης που είναι διαπραγματεύσιμα σε οργανωμένες αγορές, υπάρχουν τα συμβόλαια που πλεονεκτούν στο γεγονός πως είναι φτιαγμένα για να εξυπηρετούν ακριβώς τις ανάγκες των δύο συμβαλλόμενων. Τα εξωχρηματιστηριακά αυτά συμβόλαια ονομάζονται Over the Counter (OTC) και μειονεκτούν έναντι εκείνων που διαπραγματεύονται στις αγορές στο σκέλος της ασφάλειας που παρέχει μία συναλλαγή που πραγματοποιείται σε οργανωμένη αγορά.

Αξίζει να εξηγηθεί το πώς ακριβώς λειτουργεί ένα συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης, ώστε να είναι κατανοητό το τι υποδηλώνει η τιμή του. Αναφέρθηκε ήδη ότι πρόκειται για ένα συμβόλαιο μεταξύ δύο συμβαλλόμενων, οι οποίοι συμφωνούν για την τιμή αγοραπωλησίας μιας ποσότητας ενός συγκεκριμένου εμπορεύματος σε δεδομένη στιγμή στο μέλλον. Αφενός ο πωλητής, ο οποίος λέγεται πως καταλαμβάνει αρνητική έκθεση (short position), (Πολυμένης 2013), επιθυμεί να πουλήσει στην υψηλότερη δυνατή τιμή το προϊόν του, όμως ταυτόχρονα φοβάται κάποια ενδεχόμενη πτώση των τιμών του προϊόντος την στιγμή που πρόκειται να πραγματοποιηθεί η φυσική παράδοση, κυρίως λόγω χαμηλής ζήτησης αναλογικά με την προσφορά του εν

λόγω προϊόντος στην αγορά. Ως εκ τούτου δύναται να «πέσει» στην τιμή, μέχρι το επίπεδο που καλύπτονται τα κόστη παραγωγής, συν ένα λογικό περιθώριο κέρδους. Αφετέρου δε ο αγοραστής, ο οποίος λαμβάνει θετική έκθεση (long position), (Πολυμένης 2013), προσδοκά να αγοράσει στη χαμηλότερη δυνατή τιμή, ωστόσο ελλοχεύει πάντα ο κίνδυνος για αύξηση της τιμής του προϊόντος στην αγορά τη στιγμή που πρόκειται να λάβει χώρα η παράδοση, κυρίως λόγω της αυξημένης ζήτησης του προϊόντος, σε συνδυασμό με τη χαμηλή προσφορά αυτού. Είναι σαφές λοιπόν πως η αιτία της δημιουργίας αυτών των συμβολαίων είναι ο από κοινού περιορισμός της αβεβαιότητας για τους δύο συμβαλλόμενους, φυσικά για τον ακριβώς αντίθετο σκοπό. Με άλλα λόγια πρόκειται για μια συμφωνία που αποσκοπεί στην αντιστάθμιση του κινδύνου (hedging). Ως απόρροια των παραπάνω, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως την ημέρα λήξης του συμβολαίου ο ένας εκ των δύο συμβαλλομένων θα βρεθεί κερδισμένος κι ο άλλος χαμένος, λόγω της διαφοράς της προσυμφωνηθείσας τιμής με εκείνη που θα επικρατεί στην αγορά την εν λόγω ημέρα.

Προχωρώντας στην παρουσίαση των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης, θα σταθούμε στις δύο βασικές ομάδες συμμετεχόντων στα συμβόλαια αυτά. Ο αρχικός σκοπός της σύναψης των συμβολαίων αυτών έχει ήδη αναφερθεί. Βάσει αυτού λοιπόν διακρίνεται η ομάδα των αντισταθμιστών (hedgers), που αποσκοπεί στη μείωση της αβεβαιότητας για τις μελλοντικές τιμές του εμπορεύματος που είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την εμπορική τους δραστηριότητα. Για την εξάλειψη της αβεβαιότητας αυτής, οι αντισταθμιστές είναι διατεθειμένοι να επωμιστούν το κόστος του λεγόμενου «πριμ κινδύνου», σύμφωνα με τον J.M. Keynes (Keynes 1936). Το αντίπαλο δέος, η ομάδα των κερδοσκοπών (speculators), εκμεταλλεύεται τον προαναφερθέντα φόβο των αντισταθμιστών και προσδοκά να επικαρπωθεί το ποσό που αντιστοιχεί στο πριμ κινδύνου. Για να έχουν τα παραπάνω υπόσταση, λαμβάνουμε υπόψη την παραδοχή πως ως επί το πλείστον οι αντισταθμιστές έχουν θέση πώλησης, ενώ οι κερδοσκόποι θέση αγοράς (Johnson 1960).

Σημειώνεται πως ένα συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης στη σύγχρονη οικονομία δεν καταλήγει ποτέ σε φυσική παράδοση του εμπορεύματος, καθώς οι αντισυμβαλλόμενοι κλείνουν τις «θέσεις» τους μέσω νέων συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης, λαμβάνοντας την αντίθετη θέση από αυτήν που κατείχαν στο εν λόγω συμβόλαιο. Οι κυριότεροι λόγοι που συμβαίνει αυτό, είναι πως συνήθως οι όροι παράδοσης στο συμβόλαιο δε βολεύουν τους αντισυμβαλλόμενους, καθώς πρόκειται

για τυποποιημένα συμβόλαια, όσον αφορά αυτά που τίθενται σε διαπραγμάτευση στις διεθνείς αγορές, όπως επίσης η ιδιαίτερα δαπανηρή διαδικασία παράδοσης (Χριστόπουλος και Ντόκας 2012). Βεβαίως σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το γεγονός πως στη σύγχρονη εποχή η συντριπτική πλειοψηφία των αντισυμβαλλομένων στα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης είναι κερδοσκόποι επενδυτές, οι οποίοι δεν αποζητούν να παραλάβουν το εμπόρευμα, παρά μόνο να επικαρπωθούν το κέρδος της επενδυτικής δραστηριότητας.

Ένας επιπλέον λόγος που καθιστά τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης ελκυστικά για τους επενδυτές είναι πως δε χρειάζεται να καταβληθεί ολόκληρο το ποσό που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εμπορικής συμφωνίας, παρά μόνο ένα περιθώριο ασφάλισης (margin account) για την επίτευξη της συμφωνίας (Χριστόπουλος και Ντόκας 2012). Βέβαια αυτός είναι ένας λόγος που καθιστά τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης ικανά να διαταράξουν μία οικονομία, ιδίως όταν δεν είναι καλά οργανωμένη, επειδή δημιουργούν ψευδείς σχέσεις προσφοράς-ζήτησης, καθώς τα κεφάλαια για την ολοκλήρωση της συμφωνηθείσας συναλλαγής συνήθως δεν υπάρχουν.

Οδεύοντας προς το στάδιο της σύγκλισης της θεωρίας με τα δεδομένα της επικείμενης ανάλυσης, γεννάται εύλογα η απορία, για ποιο λόγο στην εργασία αυτή επιλέχθηκαν να αναλυθούν οι χρονοσειρές των τιμών των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης (futures prices), αντί για τις τρέχουσες τιμές των εμπορευμάτων (spot prices). Αιτία είναι πως τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης προσδίδουν μια καλύτερη εικόνα της χρηματιστηριακής τιμής των εμπορευμάτων, καθώς οι τρέχουσες τιμές σπανίως ταυτίζονται με τις πραγματικές τιμές, βάσει των οποίων λαμβάνουν χώρα οι συναλλαγές (Reichsfeld and Roache 2011). Επίσης οι τρέχουσες τιμές είναι εξαιρετικά ευάλωτες σε απρόβλεπτα φαινόμενα και συνεπώς η ερμηνεία τους δεν ερμηνεύει τις πραγματικές συνθήκες που προκύπτουν από την προσφορά και τη ζήτηση του εκάστοτε εμπορεύματος (Pindyck 2001). Επιβεβαίωση της τελευταίας παρατήρησης αποτελεί το γεγονός πως από την ανάλυση των χρονοσειρών των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης προκύπτουν πολύ πιο αξιόπιστες προβλέψεις για τη μελλοντική τιμή των εμπορευμάτων συγκριτικά με την ανάλυση των χρονοσειρών των τρεχουσών τιμών των ίδιων των εμπορευμάτων (Reichsfeld and Roache 2011).



Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΧΕΣΕΙΣ ΑΙΤΙΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Χρονολογική σειρά ή χρονοσειρά (time series) λέγεται η ακολουθία των τιμών μιας μεταβλητής σε διακριτό χρόνο. Η ανάλυση χρονοσειρών χρησιμοποιείται εκτενώς για την ερμηνεία της πορείας μιας μεταβλητής στο χρόνο και για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών που πρόκειται να λάβει η μεταβλητή. Με την ανάλυση χρονοσειρών διαφορετικών μεταβλητών εξάγονται συμπεράσματα για τη σχέση που πιθανώς να έχουν οι μεταβλητές μεταξύ τους και κατά πόσο οι τιμές που λαμβάνουν στο χρόνο αλληλεξαρτώνται. Στην παρούσα μελέτη θα ασχοληθούμε με τις χρονοσειρές των τιμών μετοχών και συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης.

2.1. ΣΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ

Για τη μελέτη χρονοσειρών και την εξαγωγή αμερόληπτων συμπερασμάτων από αυτές, σύμφωνα με τη μέθοδο που θα ακολουθηθεί σε αυτή την εργασία, πρέπει να ισχύει η προϋπόθεση της στασιμότητας. Μια χρονοσειρά χαρακτηρίζεται ως στάσιμη, όταν στο χρονικό ορίζοντα δε μεταβάλλονται σημαντικά τα στατιστικά στοιχεία της κατανομής των μεταβλητών υστέρησης $X_t, X_{t+1}, \dots$. Συγκεκριμένα, για να υπάρχει η ασθενής στασιμότητα, που είναι το ζητούμενο, πρέπει η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση αυτής να παραμένουν στατιστικά σταθερές, καθώς επίσης η αυτοσυσχέτιση στη χρονοσειρά να παραμένει σταθερή. Από αυτό το σημείο κι έπειτα, όποτε γίνεται αναφορά σε στασιμότητα θα εννοείται η ασθενής στασιμότητα.

Όταν η μελετώμενη μεταβλητή είναι ένα χρηματοοικονομικό μέσο, στην περίπτωση της εργασίας αυτής μετοχή ή συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης, τότε στις τιμές αυτής επιδρούν τάσεις και περιοδικά φαινόμενα. Ως τάση μπορεί να λογισθεί το αποτέλεσμα μιας αυξημένης (ή μειωμένης) ζήτησης στο χρηματοοικονομικό μέσο λόγω προτίμησης των επενδυτών, η γενική συμπεριφορά λόγω κάποιας οικονομικής κρίσης και το αποτέλεσμα του πληθωρισμού. Τα περιοδικά φαινόμενα συνήθως οφείλονται στην εποχικότητα που χαρακτηρίζει ορισμένα χρηματοοικονομικά προϊόντα.

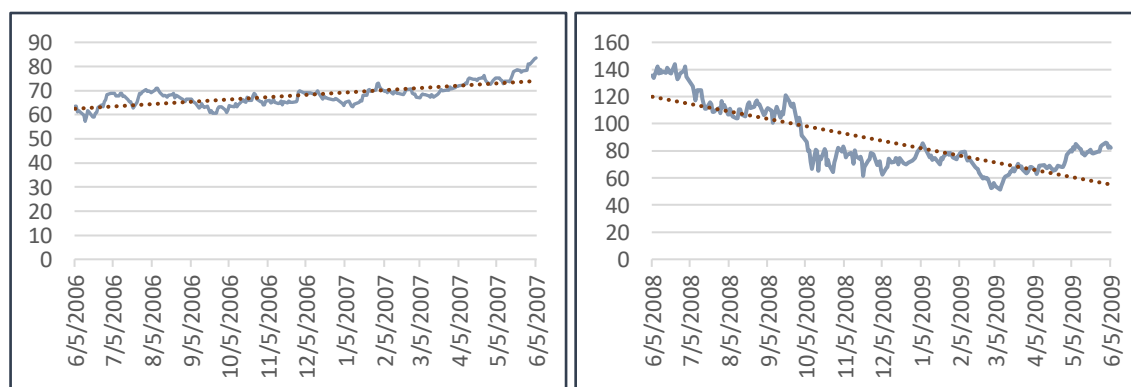
Η επιρροή που έχουν τα παραπάνω στη χρονοσειρά των τιμών της μεταβλητής, την καθιστά μη στάσιμη. Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα, ώστε να γίνει

πλήρως κατανοητή η έννοια της στασιμότητας. Στο Διάγραμμα 1 αποτυπώνεται η πορεία των τιμών κλεισίματος της μετοχής APA για 19 έτη. Για να γίνει εμφανές πως πρόκειται για μία μη στάσιμη χρονοσειρά, μεγεθύνονται δύο χρονικά παράθυρα ενός



Διάγραμμα 1: Η χρονοσειρά της μετοχής APA για 19 έτη. Οι κάθετες γραμμές πλέγματος οριοθετούν διάστημα ενός έτους.

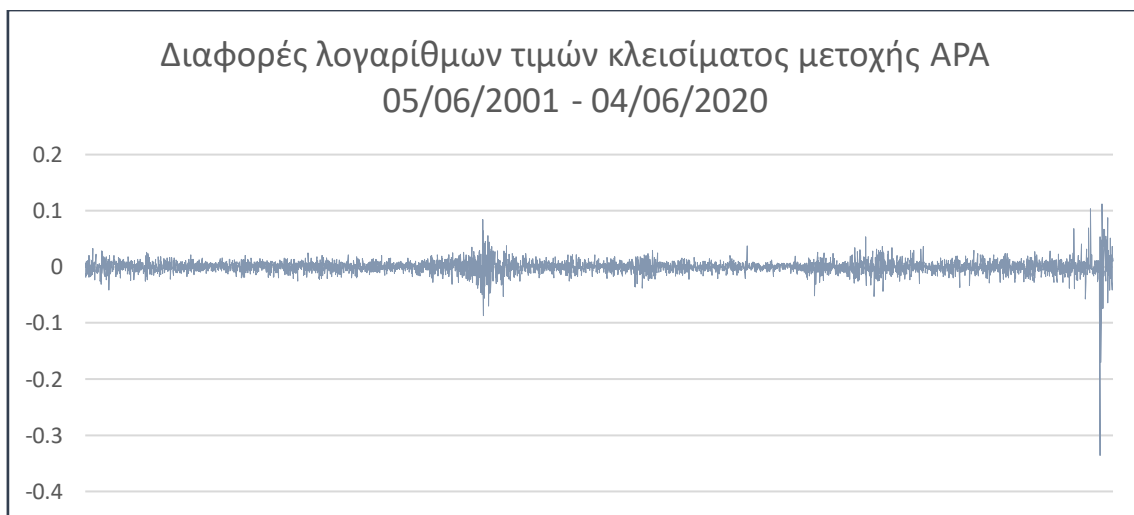
έτους το καθένα. Για να έχουμε στασιμότητα στη χρονοσειρά, τα δύο δείγματα θα πρέπει να έχουν στατιστικά όμοια χαρακτηριστικά κατανομής, ειδικά η χρονοσειρά είναι μη στάσιμη. Στο Διάγραμμα 2α εστιάζουμε στο χρονικό παράθυρο 05/06/2006 – 05/06/2007, ενώ στο Διάγραμμα 2β στο χρονικό παράθυρο 05/06/2008 – 05/06/2009. Η εκτίμηση για τη μέση τιμή του πρώτου δείγματος είναι $\bar{x}_1=68,15$ και η τυπική απόκλιση $s_1=4,57$, ενώ για το δεύτερο δείγμα έχουμε $\bar{x}_2=87,53$ και $s_2=23,51$ αντίστοιχα. Συνεπώς έχουμε δύο διαφορετικά τμήματα της χρονοσειράς, στα οποία τα στατιστικά στοιχεία της περιθώριας κατανομής του X_t μεταβάλλονται σημαντικά. Για να είναι αποτελεσματική η περαιτέρω μελέτη και να προσπεραστεί το πρόβλημα των



Διάγραμμα 2: α) Χρονικό παράθυρο 05/06/2006 - 05/06/2007. Μέση τιμή δείγματος 68,15 και τυπική απόκλιση 4,57 β) Χρονικό παράθυρο 05/06/2008 - 05/06/2009. Μέση τιμή δείγματος 87,53 και τυπική απόκλιση 23,51

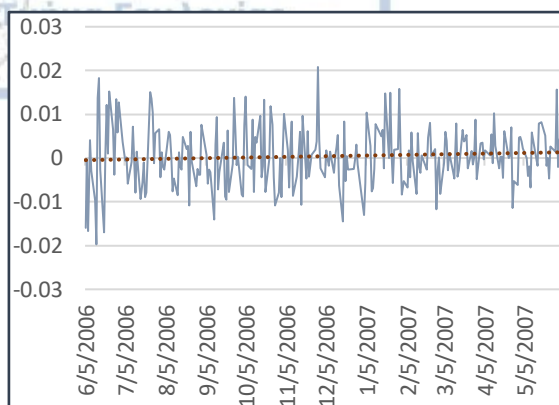
τάσεων που επιδρούν στη χρονοσειρά, η χρονοσειρά πρέπει να μετατραπεί σε στάσιμη. Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την τάση κάθε χρονοσειράς.

Στην παρούσα εργασία η απαλοιφή των τάσεων από τη χρονοσειρά, που λέγεται και προλεύκανση, θα γίνει με τη μέθοδο της δημιουργίας χρονοσειράς από τις διαφορές των λογαρίθμων των τιμών της μεταβλητής. Έτσι, για κάθε x_t θα έχουμε την τιμή $y_t = \log(x_t) - \log(x_{t-1})$, $t=\{2,3,...,N\}$, όπου N το πλήθος των παρατηρήσεων της μεταβλητής X . Με αυτόν τον τρόπο η νέα χρονοσειρά είναι απαλλαγμένη από τις τάσεις της αρχικής, όπως αποτυπώνεται στο *Διάγραμμα 3*. Επιπλέον, παράλληλα με την εξάλειψη των τάσεων, η αυτοσυσχέτιση θα πρέπει να παραμένει σταθερή, το οποίο θα πρέπει να διερευνηθεί στα χρονικά παράθυρα που θα χωριστεί η χρονοσειρά.

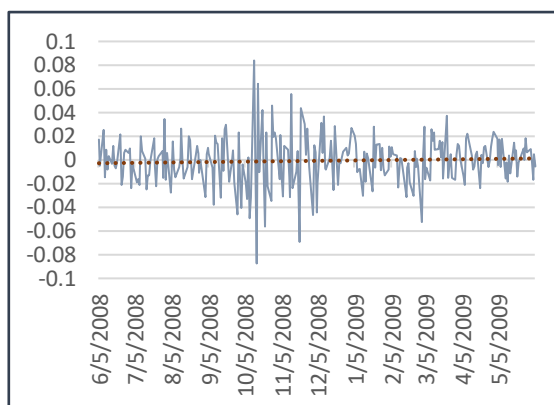


Διάγραμμα 3: Χρονοσειρά διαφορών λογαρίθμων των τιμών κλεισίματος της μετοχής APA

Παρακάτω εστιάζουμε ξανά στα ίδια δυο χρονικά παράθυρα της χρονοσειράς, των οποίων τα δείγματα πριν την προλεύκανση παρουσίαζαν σημαντικές διαφορές στα στατιστικά στοιχεία της κατανομής τους. Τα *Διαγράμματα 4α και 4β* είναι τα αντίστοιχα των *2α και 2β* στην επεξεργασμένη πλέον χρονοσειρά. Παρατηρούμε πως πλέον τα στατιστικά στοιχεία των δύο κατανομών δεν διαφέρουν σημαντικά. Έτσι η χρονοσειρά είναι πλέον στάσιμη και μπορούμε να προχωρήσουμε σε περαιτέρω ανάλυση, με τις μεθόδους που θα παρατεθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.



Διάγραμμα 4: α) Χρονικό παράθυρο 05/06/2006 - 05/06/2007. Μέση τιμή δείγματος ≈ 0 και τυπική απόκλιση 0,01



β) Χρονικό παράθυρο 05/06/2008 - 05/06/2009. Μέση τιμή δείγματος ≈ 0 και τυπική απόκλιση 0,02

2.2. ΑΠΟ ΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΣΤΗΝ ΑΙΤΙΟΤΗΤΑ

Στόχος της ανάλυσης των χρονοσειρών δύο ή περισσότερων μεταβλητών είναι ο εντοπισμός αξιόπιστων σχέσεων μεταξύ τους. Όταν η συμπεριφορά των τιμών των μεταβλητών στην πορεία του χρόνου παρουσιάζει από κοινού μεταβολή, υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών αυτών. Η συσχέτιση μπορεί να είναι γραμμική και μη-γραμμική. Η γραμμική συσχέτιση μπορεί να είναι θετική, που δηλώνει ανάλογη αύξηση της μίας με την αύξηση της άλλης, ή αρνητική, που δηλώνει το αντίθετο.

Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος υπολογισμού της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών είναι με τη χρήση του συντελεστή συσχέτισης Pearson. Ωστόσο ο συντελεστής αυτός είναι αποδοτικός μόνο στην περίπτωση που η σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι γραμμική. Εάν η μία μεταβλητή συσχετίζεται με την άλλη λόγω μη γραμμικών σχέσεων, ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson δε δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Όταν λοιπόν υπάρχει ανάγκη για διερεύνηση μη γραμμικών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, η συσχέτιση εκτιμάται με διαφορετικά μέσα. Ένα τέτοιο μέσο, το οποίο αποτελεί και τη βάση για επόμενες μεθόδους ανάλυσης που θα παρουσιαστούν, είναι η αμοιβαία πληροφορία. Η αμοιβαία πληροφορία βασίζεται στην εντροπία Shannon, η οποία δίνεται από τον εξής τύπο:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) \quad (2.1)$$

Όπου η X θεωρείται διακριτή τυχαία μεταβλητή που παίρνει τιμές x_i , $i=1,2,\dots,n$. Στην περίπτωση συνεχούς X θεωρείται διαμέριση των τιμών της σε διαστήματα. Η

βάση του λογαρίθμου δείχνει σε ποια κλίμακα μετράται η πληροφορία. Στην περίπτωση που η βάση είναι 2 η πληροφορία μετράται με το δυαδικό σύστημα, δηλαδή σε bits (binary digits). Η αμοιβαία πληροφορία δύο τυχαίων μεταβλητών X και Y ορίζεται ως εξής, όπου $H(X,Y)$ η από-κοινού εντροπία των δύο μεταβλητών:

$$I(X;Y) = H(X) - H(X|Y) = H(X) + H(Y) - H(X,Y) \quad (2.2)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson και η αμοιβαία πληροφορία είναι δύο μέτρα που ποσοτικοποιούν τη συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών. Ιδιαίτερα για χρονοσειρές, οι δύο μεταβλητές μπορούν να θεωρηθούν με υστέρηση τ , δηλαδή X_t και $X_{t+\tau}$ και τότε η συσχέτιση ορίζει πως η παρελθούσα τιμή της μίας συσχετίζεται με την παρούσα της άλλης. Για παράδειγμα, έστω ότι παρατηρείται συσχέτιση μεταξύ των X_t και Y_{t-1} . Είναι λοιπόν εμφανές πως η τιμή της μεταβλητής X τη στιγμή t συσχετίζεται με την τιμή της μεταβλητής Y τη στιγμή $t-1$. Ωστόσο αυτό δεν είναι πάντα αρκετό για να ειπωθεί με βεβαιότητα πως η μελλοντική τιμή της μεταβλητής X εξαρτάται από την παρούσα τιμή της μεταβλητής Y . Υπάρχει σίγουρα ένδειξη για κάτι τέτοιο, παρόλα αυτά δεν αποδεικνύεται η ύπαρξη αιτιώδους σχέσης μεταξύ των μεταβλητών (Simon 1954). Για να γίνει κατανοητός ο διαχωρισμός των δύο εννοιών, παρατίθεται ένα λογικό παράδειγμα:

Η αύξηση της τιμής του πετρελαίου επιφέρει πτώση της τιμής του δολαρίου.

Η αύξηση της τιμής του πετρελαίου επιφέρει αύξηση της τιμής του φυσικού αερίου.

Από τις δύο παραπάνω προτάσεις προκύπτει μια σαφής σχέση αντίθετης συσχέτισης μεταξύ της τιμής του δολαρίου και της τιμής του φυσικού αερίου. Ωστόσο θα ήταν εσφαλμένο να υποτεθεί πως η τιμή του ενός έχει άμεση επιρροή στην τιμή του άλλου, καθώς είναι εμφανές πως η μεταβολή στις δύο επιμέρους τιμές προκαλείται από έναν τρίτο παράγοντα, μία τρίτη μεταβλητή, η οποία είναι η τιμή του πετρελαίου. Δηλαδή υπάρχει μία αιτιώδης σχέση μεταξύ των τιμών του πετρελαίου και του δολαρίου και μία αιτιώδης σχέση μεταξύ των τιμών του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Η συσχέτιση, λοιπόν, μεταξύ των τιμών δολαρίου και φυσικού αερίου είναι πλαστή (spurious) (Simon 1954).

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθούν οι σχέσεις αιτιότητας ανάμεσα στις χρονοσειρές των χρηματοοικονομικών μεγεθών, καθώς το ενδιαφέρον εστιάζεται στο να εντοπισθούν οι πραγματικές εξαρτήσεις μεταξύ τους. Με βάση τις αιτιώδεις αυτές

σχέσεις θα κατασκευαστεί το δίκτυο που θα μελετηθεί. Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει αυτό θα αναπτυχθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

2.3. ΜΕΤΡΑ ΑΙΤΙΟΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα μέτρα συσχέτισης δεν είναι ικανά να εντοπίσουν σχέσεις αιτιότητας μεταξύ δύο (ή και περισσότερων) μεταβλητών που παρατηρούνται με τις αντίστοιχες χρονοσειρές. Ως εκ τούτου, προκειμένου να εντοπιστούν αυτές οι σχέσεις απαιτούνται μέτρα που εστιάζουν στην αιτιότητα. Παρακάτω θα παρατεθούν επτά από αυτά, εκ των οποίων τα τρία θα χρησιμοποιηθούν στην επικείμενη εφαρμογή.

2.3.1. Δείκτες αιτιότητας με βάση γραμμικά αυτοπαλίνδρομα μοντέλα

Ο απλούστερος τρόπος εντοπισμού σχέσεων αιτιότητας είναι με τη χρήση του δείκτη αιτιότητας κατά Granger (Granger Causality Index – GCI). Προϋπόθεση ώστε ο δείκτης αυτός να δώσει αληθή αποτελέσματα είναι οι μελετώμενες χρονοσειρές να είναι στάσιμες. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση γραμμικών σχέσεων αιτιότητας.

Σύμφωνα, λοιπόν, με την αιτιότητα κατά Granger, υπάρχει σχέση αιτιότητας μεταξύ των μεταβλητών X και Y , όταν οι μελλοντικές τιμές της χρονοσειράς της Y ερμηνεύονται καλύτερα όταν στο αυτοπαλίνδρομο (VAR) μοντέλο τάξης p για την Y περιλαμβάνεται και η μεταβλητή X , παρά όταν απουσιάζει. Έστω λοιπόν η χρονοσειρά για τη μεταβλητή X , $\{x_t\}_{t=1}^N$ και για τη μεταβλητή Y , $\{y_t\}_{t=1}^N$, όπου N το πλήθος των παρατηρήσεων. Έτσι, έχουμε τα δύο παρακάτω αυτοπαλίνδρομα μοντέλα:

$$\text{Το μοντέλο χωρίς τη μεταβλητή } X: y_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{(t-i)} + e_{R,t} \quad (2.3)$$

$$\text{Το μοντέλο με τη μεταβλητή } X: y_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{(t-i)} + \sum_{i=1}^p \beta_i x_{(t-i)} + e_{U,t} \quad (2.4)$$

Σημειώνεται πως οι συντελεστές α_i , $i=1,2,\dots,p$ δεν είναι ίδιοι στα δύο μοντέλα, αλλά εκτιμώνται από την προσαρμογή του κάθε μοντέλου στις χρονοσειρές. Το μοντέλο (2.3) λέγεται περιορισμένο (restricted), ενώ το (2.4) μη-περιορισμένο (unrestricted). Στην περίπτωση που η διακύμανση των καταλοίπων του μη-περιορισμένου μοντέλου $\text{Var}(e_U)$ είναι μικρότερη από αυτή των καταλοίπων του

περιορισμένου $\text{Var}(e_R)$, τότε λέγεται πως η μεταβλητή X επιδρά στην Y κατά Granger (Granger 1969). Από τα παραπάνω προκύπτει ο δείκτης αιτιότητας κατά Granger:

$$GCI_{X \rightarrow Y} = \ln \frac{\text{Var}(e_R)}{\text{Var}(e_U)} \quad (2.5)$$

Τα παραπάνω ισχύουν για ένα σύστημα με δύο μεταβλητές, τη X και την Y , όπου βάσει των χρονοσειρών τους προκύπτουν οι σχέσεις αιτιότητας μεταξύ τους. Όταν το μελετώμενο σύστημα περιλαμβάνει περισσότερες από δύο μεταβλητές, έστω K , και πρέπει να εντοπισθούν οι άμεσες σχέσεις αιτιότητας, τα δύο αυτοπαλίνδρομα μοντέλα (περιορισμένο και μη) πρέπει να επαναπροσδιορισθούν, συμπεριλαμβάνοντας και τους όρους μεταβλητών υστέρησης ως και p , για άλλες $K-2$ μεταβλητές. Λαμβάνοντας υπόψη τις χρονοσειρές των υπόλοιπων μεταβλητών $\mathbf{Z}=\{Z_1, Z_2, \dots, Z_{K-2}\}$, $\{z_{1,t}\}_{t=1}^N$, $\{z_{2,t}\}_{t=1}^N$, ..., $\{z_{K-2,t}\}_{t=1}^N$, προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\text{Περιορισμένο: } y_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{(t-i)} + \sum_{j=1}^{K-2} \sum_{i=1}^p \gamma_{j,i} z_{j,(t-i)} + e_{R,t} \quad (2.6)$$

$$\text{Μη-περιορισμένο: } y_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{(t-i)} + \sum_{i=1}^p \beta_i x_{(t-i)} + \sum_{j=1}^{K-2} \sum_{i=1}^p \gamma_{j,i} z_{j,(t-i)} + e_{U,t} \quad (2.7)$$

Αντίστοιχα, όπως για τις σχέσεις (2.3) και (2.4) οι συντελεστές α_i και $\gamma_{j,i}$, $i=1, \dots, p$, $j=1, \dots, K-2$, εκτιμώνται ξεχωριστά για κάθε μοντέλο. Από τις διακυμάνσεις των καταλοίπων των δύο μοντέλων στις (2.6) και (2.7) προκύπτει ο δείκτης δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (Conditional Granger Causality Index – CGCI), όπου εάν $\text{Var}(e_U) < \text{Var}(e_R)$, τότε η μεταβλητή X επιδρά στο μέλλον της Y άμεσα, παρουσία των υπολοίπων μεταβλητών του συστήματος (Geweke 1984):

$$CGCI_{X \rightarrow Y|Z} = \ln \frac{\text{Var}(e_R)}{\text{Var}(e_U)} \quad (2.8)$$

Ωστόσο για να είναι αξιόπιστη η εκτίμηση του δείκτη δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger, θα πρέπει οι παρατηρήσεις κάθε χρονοσειράς να είναι πολύ περισσότερες συγκριτικά με το πλήθος των συντελεστών των αυτοπαλίνδρομων μοντέλων. Ειδικά η εκτίμηση για τους συντελεστές είναι ασταθής, δηλαδή έχει μεγάλη διασπορά. Αυτό οδηγεί σε μεγάλη διασπορά του δείκτη αιτιότητας και συνεπώς γενικά λανθασμένη εκτίμηση για την άμεση αιτιότητα. Υπό αυτό το πρίσμα παρουσιάστηκε ένα επιπλέον μέτρο για την εκτίμηση της αιτιότητας, όπου συμμετέχει

ένα, συνήθως μικρό, υποσύνολο του συνόλου των $K \times p$ μεταβλητών υστέρησης στο μη-περιορισμένο μοντέλο (2.7). Η επιλογή των μεταβλητών που συμπεριλαμβάνονται στο αυτοπαλίνδρομο μοντέλο γίνεται με τον τροποποιημένο αλγόριθμο επιλογής προς τα πίσω στο χρόνο (modified Backward-in-Time Selection – mBTS), χρησιμοποιώντας ως κριτήριο επιλογής το BIC (Bayesian information criterion). Με τη μέθοδο mBTS δημιουργείται ένα διάνυσμα $\mathbf{w}_t$ που περιέχει ως στοιχεία κάποιες μόνο από τις $K \times p$ μεταβλητές υστέρησης, το οποίο χρησιμοποιείται για το σχηματισμό του αυτοπαλίνδρου μοντέλου (Siggiridou and Kugiumtzis 2016)

Έστω, λοιπόν, ότι το σύστημα αποτελείται από μεταβλητές πλήθους K και πρέπει να εκτιμηθεί η αιτιότητα της X_i , $i=\{1,2,...,K-1\}$, στην X_j , που δεν μπορεί να εξηγηθεί από τις υπόλοιπες μεταβλητές X_k , $k \neq i$. Έτσι προκύπτουν τα δύο αυτοπαλίνδρομα μοντέλα:

$$\text{Περιορισμένο μοντέλο: } x_{j,t} = \sum_{k=1, k \neq i}^K \mathbf{a}_{j,k} \mathbf{w}_{j,k} + e_{R,t} \quad (2.9)$$

$$\text{Μη – περιορισμένο μοντέλο: } x_{j,t} = \sum_{k=1}^K \boldsymbol{\beta}_{j,k} \mathbf{w}_{j,k} + e_{U,t} \quad (2.10)$$

Όπου στο περιορισμένο μοντέλο το διάνυσμα $\mathbf{w}_j$ δεν περιέχει μεταβλητές υστέρησης X_i , ενώ στο μη-περιορισμένο μοντέλο μπορεί να περιέχει. Εάν από τον αλγόριθμο mBTS δεν επιλεγεί καμία μεταβλητή υστέρησης X_i για να περιληφθεί στο διάνυσμα $\mathbf{w}_j$ του μη-περιορισμένου μοντέλου, τα δύο μοντέλα είναι ίδια και $RCGCI_{X_i \rightarrow X_j} = 0$.

Αντίστοιχα με το δείκτη δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger υπολογίζεται και ο περιορισμένος δείκτης δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger:

$$RCGCI_{X_i \rightarrow X_j | \mathbf{X}_{k, k \neq i}} = \ln \frac{\text{Var}(e_R)}{\text{Var}(e_U)} \quad (2.11)$$

2.3.2. Δείκτες αιτιότητας με βάση μέτρα πληροφορίας

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο δείκτης αιτιότητας κατά Granger δύναται να εντοπίσει σχέσεις αιτιότητας που προκύπτουν μονάχα από γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης. Ωστόσο η αιτιότητα ενδέχεται να οφείλεται και σε μη γραμμικές σχέσεις μεταξύ δύο (ή περισσότερων) μεταβλητών. Ένα μέτρο που εισήχθη και δύναται να εντοπίσει τόσο

γραμμικές, όσο και μη γραμμικές σχέσεις αιτιότητας είναι η μεταφορική εντροπία (transfer entropy) και βασίζεται στην εντροπία Shannon, όπως αυτή ορίστηκε στη σχέση (2.1) (Schreiber T. 2000).

Με τη μεταφορική εντροπία, λοιπόν, όταν πρόκειται για ένα σύστημα δύο μεταβλητών, όπως αυτό που αναπτύχθηκε παραπάνω για την παρουσίαση του δείκτη αιτιότητας κατά Granger (GCI), μετράται η επίδραση της μεταβλητής X στην Y , έπειτα από χρόνο T . Πρώτα για χρόνους $t = \max\{(m_x - 1)\tau_x, (m_y - 1)\tau_y\}$ σχηματίζεται το διάνυσμα εμφύθισης (embedding vector) από τη χρονοσειρά της X , που περιέχει παρελθούσες τιμές της X , $\mathbf{x}_t = [x_t, x_{t-\tau_x}, \dots, x_{t-(m_x-1)\tau_x}]'$ και το αντίστοιχο διάνυσμα εμφύθισης από τη χρονοσειρά της Y , που περιέχει παρελθούσες τιμές Y , $\mathbf{y}_t = [y_t, y_{t-\tau_y}, \dots, y_{t-(m_y-1)\tau_y}]'$. Οι δείκτες τ_x και τ_y δηλώνουν το χρονικό βήμα υστέρησης για τα αντίστοιχα διανύσματα, ενώ τα m_x και m_y δηλώνουν τη διάσταση των αντίστοιχων διανυσμάτων. Συνήθως έχουμε $\tau_x = \tau_y = \tau$ και $m_x = m_y = m$ και ειδικότερα για συστήματα σε διακριτό χρόνο, όπως τα χρηματοοικονομικά, έχουμε $\tau = 1$. Το διάνυσμα των μελλοντικών τιμών της μεταβλητής Y είναι το $\mathbf{y}_t^T = [y_{t+1}, y_{t+2}, \dots, y_{t+T}]'$, αλλά και εδώ συνήθως απλοποιείται η μελλοντική κατάσταση για μία χρονική στιγμή, δηλαδή $\mathbf{y}_t^T = y_{t+1}$. Έτσι λοιπόν από τη σχέση που ορίζει την αμοιβαία πληροφορία προκύπτει η παρακάτω, που δίνει τον τύπο της μεταφορικής εντροπίας (TE):

$$TE_{X \rightarrow Y} = I(\mathbf{y}_t^T; \mathbf{x}_t | \mathbf{y}_t) = H(\mathbf{y}_t^T, \mathbf{y}_t) + H(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) - H(\mathbf{y}_t^T, \mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) - H(\mathbf{y}_t) \quad (2.12)$$

Όπου δηλώνει την πληροφορία από την κατάσταση της X , $\mathbf{x}_t$ στη μελλοντική κατάσταση της Y , $\mathbf{y}_t^T$, ουδετεροποιώντας την κατάσταση της Y , $\mathbf{y}_t$.

Υποθέτοντας πως το σύστημα δεν είναι διμεταβλητό και υπάρχουν K μεταβλητές, όπως αυτές προσδιορίστηκαν στην παρουσίαση του δείκτη δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (CGCI), εισάγεται το μέτρο της μερικής μεταφορικής εντροπίας (partial transfer entropy), στο οποίο συμπεριλαμβάνονται στη δέσμευση και οι καταστάσεις των υπολοίπων $K-2$ μεταβλητών, που δίνονται από τα αντίστοιχα διανύσματα εμφύθισης $\mathbf{Z}_t = \{\mathbf{z}_{1,t}, \mathbf{z}_{2,t}, \dots, \mathbf{z}_{K-2,t}\}$, όπου $\mathbf{z}_{l,t} = [z_{l,t}, z_{l,t-\tau_{z_l}}, \dots, z_{l,t-(m_{z_l}-1)\tau_{z_l}}]'$, $l = \{1, 2, \dots, K-2\}$. Συμπεριλαμβανομένων των παραπάνω, προκύπτει ο εξής τύπος για τη μερική μεταφορική εντροπία (PTE):

$$\begin{aligned} PTE_{X \rightarrow Y | Z} &= I(\mathbf{y}_t^T; \mathbf{x}_t | \mathbf{y}_t, \mathbf{Z}_t) = \\ &= H(\mathbf{y}_t^T, \mathbf{y}_t | \mathbf{Z}_t) + H(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t | \mathbf{Z}_t) - H(\mathbf{y}_t^T, \mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t | \mathbf{Z}_t) - H(\mathbf{y}_t | \mathbf{Z}_t) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Παρατηρούμε πως οι όροι εντροπίας αφορούν μεταβλητές μεγάλης διάστασης, λόγω της παρουσίας πολλών διανυσματικών μεγεθών. Για την εκτίμηση των όρων εντροπίας χρησιμοποιείται η μέθοδος των κοντινότερων γειτόνων, που έχει κριθεί ως η πιο αξιόπιστη, ιδιαίτερα για υψηλότερες διαστάσεις.

Με τη χρήση της μερικής μεταφορικής εντροπίας δύνανται να εντοπισθούν σχέσεις αιτιότητας που προέρχονται τόσο από γραμμικά, όσο και από μη γραμμικά συστήματα. Παρόλα αυτά όταν στο μελετώμενο σύστημα υπάρχουν πολλές μεταβλητές Z και για την εκτίμηση της μερικής μεταφορικής εντροπίας χρησιμοποιούνται κατά συνέπεια πολλά διανύσματα εμπύθισης, η διάσταση γίνεται πολύ μεγάλη, λόγω των πολλών διανυσματικών μεγεθών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι εκτιμήσεις της μερικής μεταφορικής εντροπίας για την αιτιότητα να μην είναι αξιόπιστες (Parana et al. 2012). Ωστόσο επειδή υπάρχει η ανάγκη για αξιόπιστες μετρήσεις των μη γραμμικών σχέσεων αιτιότητας σε πολυμεταβλητά συστήματα, έχουν προταθεί διάφορα τέτοια μέτρα αιτιότητας που υποκαθιστούν τη μερική εντροπία μεταφοράς. Ένα από αυτά θα παρουσιαστεί στην επόμενη παράγραφο.

2.3.3. Δείκτες αιτιότητας με βάση μέτρα πληροφορίας και μείωση διάστασης

Στην παραπάνω παράγραφο παρατέθηκαν δύο από τα μέτρα με τα οποία μπορούν να εκτιμηθούν οι πιθανές σχέσεις αιτιότητας μεταξύ δύο μεταβλητών, είτε αυτές οφείλονται σε γραμμικές, είτε σε μη γραμμικές σχέσεις. Ωστόσο κατέστη σαφές πως σε ένα πολυμεταβλητό σύστημα εμφανίζεται το πρόβλημα της εκτίμησης των σχέσεων αιτιότητας που οφείλεται στη μεγάλη διάσταση που προκύπτει από την παρουσία πολλών διανυσματικών μεγεθών στην εκτίμηση.

Για τη διμεταβλητή περίπτωση και την εκτίμηση αιτιότητας από τη X στην Y , μέσω μιας βηματικής διαδικασίας επιλέγεται ένα μικτό διάνυσμα εμπύθισης $\mathbf{w}_t$, το οποίο περιέχει ένα υποσύνολο μεταβλητών υστέρησης τόσο της μεταβλητής X , όσο και της μεταβλητής Y , από ένα σύνολο μεταβλητών υστέρησης για X και Y , έως κάποια μέγιστη υστέρηση. Το διάνυσμα $\mathbf{w}_t$ μπορεί να χωριστεί ως $\mathbf{w}_t = [\mathbf{w}_t^x, \mathbf{w}_t^y]$, όπου το $\mathbf{w}_t^x$ περιλαμβάνει τις μεταβλητές υστέρησης της μεταβλητής X και το $\mathbf{w}_t^y$ περιλαμβάνει τις

Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και μετοχές: μια δικτυακή προσέγγιση
μεταβλητές υστέρησης της μεταβλητής Y . Έτσι προκύπτει το μέτρο MIME ως (Vlachos and Kugiumtzis 2010):

$$MIME_{X \rightarrow Y} = \frac{I(y_{t+1}; \mathbf{w}_t^x | \mathbf{w}_t^y)}{I(y_{t+1}; \mathbf{w}_t)} \quad (2.14)$$

Ο αριθμητής είναι η πληροφορία της μελλοντικής κατάστασης της μεταβλητής Y που ερμηνεύεται μόνο από τα στοιχεία της X στο μικτό διάνυσμα εμπύθισης. Ο παρονομαστής είναι η συνολική αμοιβαία πληροφορία και χρησιμοποιείται για να κανονικοποιηθεί το μέτρο. Εάν στο διάνυσμα $\mathbf{w}_t$ δεν περιέχονται παρατηρήσεις της μεταβλητής X , $\mathbf{w}_t^x = \emptyset$, τότε $MIME_{X \rightarrow Y} = 0$ και συμπεραίνουμε πως το μέλλον της Y δεν εξαρτάται από τη X , άρα δεν υπάρχει αιτιότητα από τη X στην Y .

Υποθέτοντας πως το μελετώμενο σύστημα δεν είναι διμεταβλητό αλλά αποτελείται από K μεταβλητές, όπως ορίσθηκαν και παραπάνω, οι μεταβλητές υστέρησης και από τις υπόλοιπες $K-2$ μεταβλητές, που συνοπτικά συμβολίζονται ως Z , μπορεί να συμπεριλαμβάνονται στο μικτό διάνυσμα εμπύθισης $\mathbf{w}_t$. Το διάνυσμα $\mathbf{w}_t$ μπορεί τώρα να χωρισθεί ως $\mathbf{w}_t = [\mathbf{w}_t^x, \mathbf{w}_t^y, \mathbf{w}_t^z]$. Από τα παραπάνω προκύπτει το μέτρο PMIME (Kugiumtzis 2013).

$$PMIME_{X \rightarrow Y|Z} = \frac{I(y_{t+1}; \mathbf{w}_t^x | \mathbf{w}_t^y, \mathbf{w}_t^z)}{I(y_{t+1}; \mathbf{w}_t)} \quad (2.15)$$

Ο αριθμητής είναι η πληροφορία της μελλοντικής κατάστασης της μεταβλητής Y που ερμηνεύεται από τα στοιχεία της X στο μικτό διάνυσμα εμπύθισης $\mathbf{w}_t$. Ο παρονομαστής είναι η συνολική αμοιβαία πληροφορία της μελλοντικής κατάστασης της Y και του μικτού διανύσματος εμπύθισης και χρησιμοποιείται για να κανονικοποιηθεί το μέτρο.

2.4. ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που πρέπει να αποφασισθεί αν κάποια υπόθεση γίνεται δεκτή ή πρέπει να απορριφθεί. Η διαδικασία του ελέγχου περιλαμβάνει τη διατύπωση δύο αντιτιθέμενων υποθέσεων. Η υπόθεση που ελέγχεται λέγεται μηδενική υπόθεση και συνήθως συμβολίζεται με H_0 , ενώ η υπόθεση που ισχύει σε περίπτωση απόρριψης της πρώτης λέγεται εναλλακτική και συνήθως συμβολίζεται με H_1 (Σαριαννίδης et al. 2013). Στα πλαίσια της εργασίας

αυτής ο έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας θα εφαρμοσθεί για να ληφθεί η απόφαση εάν οι εκτιμήσεις των μέτρων αιτιότητας για ύπαρξη σχέσεων αιτιότητας είναι στατιστικά σημαντικές. Η υπόθεση που ελέγχεται σε αυτή την περίπτωση είναι πως δεν υπάρχει σχέση αιτιότητας από τη μεταβλητή X στην Y , ενώ η εναλλακτική της είναι πως υπάρχει.

Ο στατιστικός έλεγχος πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Η πρώτη προσέγγιση είναι η παραμετρική, όπου υποθέτουμε ότι το στατιστικό που προκύπτει από τα μελετώμενα δεδομένα προέρχεται από κάποια γνωστή κατανομή και γίνεται σύγκριση του στατιστικού ελέγχου που υπολογίζεται στο δείγμα με τις κριτικές τιμές γνωστής κατανομής που έχει βρεθεί να ισχύει ασυμπτωτικά για το στατιστικό αυτό. Οι κρίσιμες τιμές ορίζουν την ουρά (για μονόπλευρο έλεγχο) ή τις ουρές (για δίπλευρο έλεγχο) της κατανομής, για δεδομένο επίπεδο σημαντικότητας α . Για την απόφαση του ελέγχου συγκρίνεται η τιμή του στατιστικού στο δείγμα με την κρίσιμη τιμή ή τις κρίσιμες τιμές ή αντίστοιχα η p -τιμή που αντιστοιχεί στο στατιστικό του δείγματος με το επίπεδο σημαντικότητας α . Αναλόγως του αποτελέσματος της σύγκρισης προχωρούμε σε αποδοχή ή απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης. Στην περίπτωση του μονόπλευρου δεξιού ελέγχου, για να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση πρέπει το στατιστικό ελέγχου να είναι μεγαλύτερο από την κρίσιμη τιμή της αντίστοιχης κατανομής ή η p -τιμή να είναι μικρότερη από το επίπεδο σημαντικότητας (Σαριαννίδης et al. 2013). Ο παραμετρικός έλεγχος είναι αποτελεσματικός όταν ισχύει πως τα δεδομένα του προβλήματος προέρχονται από τη γνωστή κατανομή που υποθέσαμε.

Όσον αφορά τα μέτρα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, παραμετρικός έλεγχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελεγχθεί η στατιστική σημαντικότητα του δείκτη αιτιότητας κατά Granger (GCI), του δείκτη δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (CGCI) και του περιορισμένου δείκτη δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (RCGCI), όπως ορίστηκαν στις σχέσεις (2.5), (2.8) και (2.11) αντίστοιχα. Συγκεκριμένα ο έλεγχος γίνεται με τη μέθοδο Snedecor-Fisher (F-test). Η στατιστική ελέγχου ορίζεται ως εξής:

$$F = \frac{(SSE^R - SSE^U)/p}{SSE^U/[(N - p) - Kp]} \quad (2.16)$$

Όπου SSE είναι το άθροισμα των τετραγώνων των καταλοίπων κάθε μοντέλου R και U αντίστοιχα, p είναι η τάξη του μοντέλου, $N - p$ είναι ο αριθμός των εξισώσεων και

Κρ το πλήθος των συντελεστών στο μη-περιορισμένο U μοντέλο (Kholdy and Sohrabian 1990).

Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της εσφαλμένης παραδοχής πως το στατιστικό ελέγχου που υπολογίζεται στο δείγμα ακολουθεί ασυμπτωτικά κάποια γνωστή κατανομή, υπάρχει η δεύτερη προσέγγιση, αυτή του μη-παραμετρικού ελέγχου. Ένας συνήθης τρόπος που διενεργείται τέτοιου είδους έλεγχος είναι η επαναδειγματοληψία. Η επαναδειγματοληψία διενεργείται πολλές φορές, ώστε από τα νέα δείγματα να προκύψουν πολλές νέες τιμές του ελεγχόμενου εκτιμητή (στατιστικό ελέγχου), διατηρώντας την κατανομή σταθερή. Έπειτα συγκρίνεται η τιμή του εκτιμητή του πρωτότυπου δείγματος με τις τιμές των εκτιμητών που προκύπτουν από τα ανακατασκευασμένα δείγματα και προκύπτει η p -τιμή. Η αποδοχή ή η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης γίνεται με τη σύγκριση της p -τιμής με το επίπεδο σημαντικότητας, όπως πράττουμε και στον παραμετρικό έλεγχο. Η μέθοδος αυτή προτείνεται ως πιο αποδοτική όταν τα δεδομένα του προβλήματος δεν προσαρμόζονται σε κάποια γνωστή κατανομή. (Westfall and Young 1993)

Στους παραμετρικούς και μη-παραμετρικούς ελέγχους που επαναλαμβάνονται χρησιμοποιώντας συνδυασμούς των ίδιων μεταβλητών, γνωστοί ως πολλαπλοί έλεγχοι, είναι πιθανό να υπάρξει εσφαλμένη απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης, δηλαδή σφάλμα τύπου I, καθώς για το σχηματισμό της κατανομής χρησιμοποιούνται οι ίδιες παρατηρήσεις του κάθε δείγματος. Για να περιοριστούν τέτοιου τύπου σφάλματα γίνεται ο έλεγχος των ψευδών απορρίψεων (False Discovery Rate – FDR) (Benjamini and Hochberg 1995).



Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

Η θεωρία δικτύων αποτελεί μία μαθηματική προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία ένα σύνολο οντοτήτων και οι σχέσεις μεταξύ αυτών αναπαρίστανται αντίστοιχα ως οι κόμβοι και οι ακμές ενός γράφου. Η θεωρία των γράφων, που συμπεριλαμβάνει επιπλέον μέτρα χαρακτηρισμού του γράφου, αποτελεί εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων σε πολλούς επιστημονικούς τομείς, καθώς τα συστατικά του εκάστοτε μελετώμενου συνόλου αντιμετωπίζονται ως ένα σύστημα και όχι ξεχωριστά.

3.1. ΕΙΔΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΓΕΙΤΝΙΑΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων μεταξύ των οποίων υπάρχει ροή πληροφορίας που αποτυπώνεται στις συνδέσεις. Ο γράφος είναι η μαθηματική αναπαράσταση του δικτύου, δηλαδή το δίκτυο μοντελοποιείται ως γράφος. Η φύση της σχέσης μεταξύ των κόμβων του δικτύου καθορίζει εάν ο γράφος θα είναι κατευθυνόμενος ή μη και σταθμισμένος ή μη.

Τα παραπάνω, όπως κι επίσης το είδος του δικτύου, προσδιορίζονται από τον τρόπο με τον οποίο έχει δημιουργηθεί ο πίνακας γειτνίασης (adjacency matrix). Στον πίνακα γειτνίασης περιέχονται όλα τα δεδομένα για την κατασκευή του γράφου που αναπαριστά το δίκτυο. Οι γραμμές και οι στήλες του πίνακα είναι οι κόμβοι του δικτύου, ενώ η ύπαρξη ή όχι σχέσης μεταξύ των κόμβων αποτυπώνεται στην τιμή του αντίστοιχου στοιχείου του πίνακα. Τα στοιχεία του πίνακα παίρνουν τιμές στο διάστημα $[-1,1]$, με το μηδέν να δηλώνει απουσία σχέσης μεταξύ των κόμβων, ενώ οι υπόλοιπες τιμές αντιστοιχούν στο βάρος κάθε σύνδεσης και καθιστούν το δίκτυο σταθμισμένο. Οι αρνητικές τιμές στα βάρη υποδηλώνουν μια σχέση «παραπληροφόρησης» μεταξύ των κόμβων και συνήθως συναντώνται σε δίκτυα γνώσης. Στην περίπτωση που δεν μελετάται η στάθμιση, παρά μόνο η ύπαρξη ή όχι σχέσης, το δίκτυο λέγεται μη σταθμισμένο. Όταν γίνεται λόγος για μη κατευθυνόμενο γράφο, τότε ο πίνακας γειτνίασης είναι συμμετρικός, ενώ στην περίπτωση του κατευθυνόμενου γράφου, μη μηδενικές τιμές των στοιχείων δηλώνουν σχέση κατευθυνόμενη από τον κόμβο της γραμμής προς τον κόμβο της στήλης.

Βάσει του τρόπου με τον οποίο προσδιορίζεται η σχέση μεταξύ των κόμβων και κατ' επέκταση συμπληρώνονται τα στοιχεία του πίνακα γειτνίασης, προκύπτει και το ανάλογο δίκτυο. Τα δίκτυα που θα παρουσιαστούν στην επικείμενη εφαρμογή προκύπτουν από τις σχέσεις αιτιότητας μεταξύ οικονομικών μέσων (μετοχών και συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης), βάσει της ανάλυσης αιτιότητας των χρονοσειρών τους. Τα στοιχεία του πίνακα γειτνίασης είναι οι τιμές του χρησιμοποιούμενου μέτρου αιτιότητας για όλους τους συνδυασμούς μεταβλητών ανά δύο, οι οποίες αποτελούν τους κόμβους του δικτύου, εφόσον έχει ελεγχθεί πρώτα η στατιστική τους σημαντικότητα. Το δίκτυο που προκύπτει από έναν τέτοιο πίνακα γειτνίασης λέγεται δίκτυο αιτιότητας. Τα δίκτυα αιτιότητας είναι εξ ορισμού κατευθυνόμενα, καθώς η αιτιότητα εκτιμάται με τον υπολογισμό της επίδρασης μίας μεταβλητής X στο μέλλον μίας άλλης μεταβλητής Y . Καθώς τα μέτρα αιτιότητας που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και θα χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή είναι μη αρνητικά και κανονικοποιημένα, οι τιμές στάθμισης των συνδέσεων βρίσκονται στο διάστημα $[0,1]$.

3.2. ΜΕΤΡΑ ΚΕΝΤΡΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το κέντρο του δικτύου ορίζεται από την εκκεντρότητα του κάθε κόμβου. Ωστόσο υπάρχουν και άλλα χαρακτηριστικά με βάση τα οποία μπορεί ένας κόμβος να είναι κεντρικός, όπως το πλήθος των συνδέσεων που έχει με άλλους κόμβους, το βάρος των συνδέσεων αυτών, η απόστασή του από άλλους κόμβους, ακόμα και η κεντρικότητα των εγγύτερων κόμβων. Η αρχική ιδέα για την κεντρικότητα των κόμβων προήλθε από τα κοινωνικά δίκτυα, όπου η θέση ισχύος κάποιου κόμβου έναντι στους άλλους ερμηνευόταν από τη δυνατότητά του να «ελέγχει» τη ροή πληροφόρησης και από την «ανεξαρτησία» του σχετικά με τους υπόλοιπους, καθώς εκείνος ήταν απαραίτητος για τους άλλους κι όχι το αντίστροφο (Bavelas 1950, Shaw 1954).

Αρχικά έχουμε τη βαθμική κεντρικότητα (degree centrality), με την οποία η κεντρικότητα ενός κόμβου εκτιμάται βάσει του βαθμού που έχει, σε σχέση με το μέγιστο που θα μπορούσε να έχει. Ο μέγιστος βαθμός που θα μπορούσε να έχει κάθε κόμβος προκύπτει όταν συνδέεται με όλους τους υπόλοιπους, έτσι διαιρώντας το βαθμό της κορυφής i με το μέγιστο, ο τύπος κανονικοποιείται. Έστω λοιπόν ένα δίκτυο

Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και μετοχές: μια δικτυακή προσέγγιση
με η κόμβους. Η βαθμική κεντρικότητα του κόμβου i ορίζεται ως εξής (Freeman 1978/1979):

$$c_D(v_i) = \frac{\deg(v_i)}{n-1} \quad (3.1)$$

όπου $\deg(v_i)$ ο βαθμός του κόμβου i , ο οποίος είναι το πλήθος των συνδέσεων του κόμβου i .

Σε ένα κατευθυνόμενο δίκτυο, όπως αυτό που πρόκειται να μελετηθεί στο στάδιο της εφαρμογής, η βαθμική κεντρικότητα έχει δύο εκφάνσεις, μία που προσδιορίζεται από τον έσω-βαθμό, δηλαδή τις συνδέσεις με κατεύθυνση προς τον κόμβο i και μία από τον έξω-βαθμό, δηλαδή τις συνδέσεις με κατεύθυνση από τον κόμβο i προς τους άλλους κόμβους.

Όταν το δίκτυο είναι σταθμισμένο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κεντρικότητα ισχύος κόμβου (node strength centrality), κατά την οποία ένας κόμβος είναι κεντρικός όταν το άθροισμα των βαρών των ακμών με τις οποίες συνδέεται με άλλους είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των υπόλοιπων κόμβων. Κανονικοποιείται διαιρώντας το άθροισμα με το μέγιστο δυνατό, δηλαδή $n-1$, όπου ο κόμβος συνδέεται με όλους τους υπόλοιπους με ακμή βάρους 1. Έστω $w_{i,j}$ το βάρος της σύνδεσης μεταξύ των κόμβων i και j . Η κεντρικότητα ισχύος κόμβου ορίζεται ως εξής (Opsahl et al. 2010):

$$c_{NS}(v_i) = \frac{\sum_j w_{i,j}}{n-1} \quad (3.2)$$

Όπως η βαθμική κεντρικότητα, έτσι και η κεντρικότητα ισχύος κόμβου έχει δύο εκφάνσεις, μία που προσδιορίζεται από τις εισερχόμενες συνδέσεις (in-node strength centrality) και μία από τις εξερχόμενες (out-node strength centrality). Ωστόσο δεν πρέπει να συγχέεται με τη βαθμική κεντρικότητα, καθώς σε ένα σταθμισμένο δίκτυο ο βαθμός υπολογίζεται μόνο με το πλήθος των συνδέσεων και δεν υπολογίζει το βάρος αυτών.

Έπειτα θα χρησιμοποιηθεί η ενδιάμεση κεντρικότητα (betweenness centrality), με την οποία η κεντρικότητα ενός κόμβου εκτιμάται βάσει του πλήθους των γεωδαισιακών που περνούν από αυτόν, σε σχέση με το μέγιστο πλήθος γεωδαισιακών που θα μπορούσαν να διέρχονται από αυτόν. Έστω λοιπόν $g_{j,k}$ η γεωδαισιακή που συνδέει τους κόμβους $j, k \neq i$, και $j \neq k$ και $g_{j,k}(i)$ η γεωδαισιακή που συνδέει τους j και k

και διέρχεται από τον i . Η ενδιαμέση κεντρικότητα του κόμβου i σε κανονικοποιημένη μορφή ορίζεται ως εξής (Freeman 1977):

$$c_B(v_i) = \frac{\sum_{j \neq k} \frac{g_{j,k}(i)}{g_{j,k}}}{(n-1)(n-2)} \quad (3.3)$$

Σύμφωνα με την κεντρικότητα εγγύτητας (closeness centrality), ένας κόμβος είναι κεντρικός όταν η απόστασή του από τους υπόλοιπους κόμβους είναι μικρότερη η αντίστοιχη των υπολοίπων. Έστω λοιπόν $d(v_i, v_j)$ η απόσταση του κόμβου i από τον j . Καθώς η κεντρικότητα πρέπει να παίρνει μεγαλύτερη τιμή όταν το σύνολο των αποστάσεων είναι μικρό, ορίζεται ως το αντίστροφο του συνόλου των αποστάσεων. Για να κανονικοποιηθεί πολλαπλασιάζεται με το μικρότερο δυνατό σύνολο των αποστάσεων, που είναι $n-1$, δηλαδή να συνδέεται με όλους τους υπόλοιπους κόμβους με μονοπάτια μήκους 1. (Freeman 1978/1979):

$$c_C(v_i) = \frac{n-1}{\sum_{j=1, j \neq i}^{n-1} d(v_i, v_j)} \quad (3.4)$$

Όλες οι παραπάνω κεντρικότητες αναφέρονται σε κόμβους του δικτύου. Για να μετρηθεί η κεντρικότητα σε επίπεδο δικτύου (centralization) με βάση τα ίδια κριτήρια που αναφέρθηκαν παραπάνω, χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος, στον οποίο αντικαθιστώντας το $\mathbb{m}$ με κάποια από τις κεντρικότητες κόμβου που παρουσιάστηκαν παραπάνω, ως προς την οποία μελετάται η κεντρικότητα δικτύου, προκύπτει και η ανάλογη κεντρικότητα (Freeman 1978/1979):

$$M_G = \frac{\sum_k [\mathbb{m}_\xi - \mathbb{m}_k]}{\max\{\sum_k [\mathbb{m}_\xi^A - \mathbb{m}_k^A]\}} \quad (3.5)$$

Όπου G το δίκτυο με n κόμβους, $\mathbb{m}_k$ η κεντρικότητα του κόμβου k , όπου $k=1,2,\dots,n-1$ και $\mathbb{m}_\xi$ η κεντρικότητα του κόμβου ξ , στον οποίο παρουσιάζεται η μέγιστη τιμή κεντρικότητας σχετικά με όλους τους υπόλοιπους κόμβους k του G . Ισχύει $\mathbb{m}_\xi \geq \mathbb{m}_k$, για κάθε κόμβο k . Το A είναι ένα δίκτυο με n κόμβους επίσης, το οποίο έχει τη μέγιστη θεωρητική δυνατή τιμή κεντρικότητας. Στον κόμβο ξ του γραφήματος A παρουσιάζεται η μεγαλύτερη τιμή κεντρικότητας $\mathbb{m}_\xi^A$ σχετικά με αυτή στους υπόλοιπους κόμβους k του γραφήματος A , $\mathbb{m}_k^A$.

Έτσι, στον αριθμητή είναι το άθροισμα των διαφορών της τιμής της μελετώμενης κεντρικότητας στον κόμβο που παρουσιάζει τη μέγιστη, από τις αντίστοιχες τιμές όλων των υπόλοιπων κόμβων του γραφήματος. Ο παρονομαστής είναι το μέγιστο αποτέλεσμα που μπορεί να υπάρξει από το άθροισμα αυτών των διαφορών για γράφημα ίδιας τάξης και χρησιμοποιείται για να κανονικοποιηθεί το μέτρο. Έτσι, για να έχει μεγάλη τιμή η κεντρικότητα δικτύου θα πρέπει να υπάρχουν λίγοι κόμβοι που έχουν υψηλή τιμή της αντίστοιχης κεντρικότητας κόμβου, η οποία για τους περισσότερους πρέπει να είναι χαμηλή. Έτσι η ποσότητα στον αριθμητή αυξάνεται.

Για παράδειγμα, για να προκύψει από τη γενική σχέση (3.5) η βαθμική κεντρικότητα δικτύου (degree centralization) αντικαθίστανται οι όροι $\mathbb{m}$ του αριθμητή με τη βαθμική κεντρικότητα, όπως ορίστηκε στην (3.1). Η ποσότητα στον παρονομαστή γίνεται μέγιστη, όταν στο γράφημα Α ο κόμβος ξ συνδέεται με όλους τους άλλους κόμβους κ , ενώ οι κ συνδέονται μόνο με τον ξ . Κατ' αυτόν τον τρόπο ο ξ έχει βαθμό $n-1$, ενώ κάθε κ έχει βαθμό 1. Συνεπώς η διαφορά θα είναι για κάθε κόμβο κ $n-2$. Εφόσον υπάρχουν $n-1$ κόμβοι κ , το άθροισμα είναι το $(n-1)(n-2)$ και είναι το μέγιστο δυνατό για γραφήματα με n κόμβους. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω τύπος (Freeman 1978/1979):

$$Degree - Centralization_G = \frac{\sum_{\kappa} [c_D(\xi) - c_D(\kappa)]}{(n-1)(n-2)} \quad (3.6)$$

Ομοίως προκύπτουν και οι υπόλοιπες κεντρικότητες σε επίπεδο δικτύου.



Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης

Β' ΜΕΡΟΣ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

4.1. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΤΟΧΟΣ

Όπως ήδη αναφέρθηκε στην εισαγωγή, ο στόχος της εν λόγω εργασίας είναι να διερευνηθούν οι σχέσεις άμεσης αιτιότητας μεταξύ μετοχών, μεταξύ συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης, όπως και ανάμεσα στα δύο. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στη διερεύνηση ύπαρξης σχέσεων αιτιότητας οι οποίες είναι σταθερές στο χρόνο, ή έστω σταθερές για σημαντικά χρονικά διαστήματα. Με τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν από την ανάλυση αυτή θα είμαστε σε θέση να προσεγγίσουμε την επίδραση που έχει ένα χρηματοοικονομικό μέσο στα υπόλοιπα και κατ' επέκταση να έχουμε επίγνωση εάν κάποιο μέσο επηρεάζει σταθερά ένα άλλο. Επίσης θα διαπιστωθεί εάν η μία κατηγορία οδηγεί την άλλη. Όσον αφορά τη συμβολή της δικτυακής προσέγγισης σε αυτό το εγχείρημα, τα μέτρα κεντρικότητας των κόμβων θα συμβάλλουν στην εξαγωγή των συμπερασμάτων σχετικά με το αν ένα χρηματοοικονομικό μέσο επηρεάζει ή επηρεάζεται συστηματικά στην πάροδο του χρόνου και ποιος είναι ο ρόλος του στο σύστημα.

4.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Η εφαρμογή που θα παρουσιαστεί έγινε με την ανάλυση πραγματικών δεδομένων βάθους δεκαπενταετίας (06/06/2005 – 04/06/2020) που αντλήθηκαν από τον ιστότοπο Yahoo Finance (finance.yahoo.com). Συγκεκριμένα στην εφαρμογή μελετώνται οι χρονοσειρές τιμών κλεισίματος 58 μετοχών και 24 συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης με υποκείμενο μέσο εμπορεύματα. Τα δεδομένα προέρχονται από αμερικάνικες αγορές και η τιμή μετράται σε δολάριο Αμερικής (USD). Επιλέχθηκαν 5 μετοχές για κάθε έναν από τους 11 τομείς του δείκτη Standard & Poor's 500, με κριτήριο το ύψος της κεφαλαιοποίησής τους και 24 συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης που διαπραγματεύονται στις αγορές της Νέας Υόρκης ή του Σικάγο.

Όμως μερικές χρονοσειρές ξεκινούν αργότερα από την ημερομηνία αναφοράς της μελέτης (06/06/2005) και γι' αυτό έγιναν τα παρακάτω βήματα. Συγκεκριμένα, τρεις από τις μετοχές με την υψηλότερη κεφαλαιοποίηση εισήχθησαν το 2012 (Facebook, Visa, Mastercard). Για να υπάρχουν 5 μετοχές από κάθε τομέα από την αρχή της χρονοσειράς, επιλέχθηκαν από τους αντίστοιχους τομείς οι αμέσως επόμενες μετοχές ώστε να τις υποκαταστήσουν. Επειδή όμως δε θα ήταν αντιπροσωπευτική η ανάλυση για τις πιο πρόσφατες χρονικές περιόδους εάν έμεναν εκτός 3 τόσο σημαντικές μετοχές, προστέθηκαν στο σύστημα οι χρονοσειρές τους το 2012. Επίσης το 2012 ξεκινάει και η μετοχή της Kinder Morgan, ωστόσο γι' αυτή δε χρησιμοποιήθηκε κάποια άλλη ως αντικατάσταση. Ο λόγος είναι πως σε αντίθεση με τις τρεις προαναφερθείσες που κατέχουν πολύ υψηλές θέσεις στην κατάταξη βάσει κεφαλαιοποίησης, η τελευταία βρίσκεται ήδη πολύ πιο πίσω κοιτώντας τις μετοχές του S&P500 συνολικά. Ειδικά αν γίνει αναγωγή σε επίπεδα τομέων, ο κλάδος ενέργειας, στον οποίο ανήκει η Kinder Morgan, βρίσκεται χαμηλά σε επίπεδο συνολικής κεφαλαιοποίησης. Έτσι, για να βρεθεί η έκτη τη τάξει μετοχή του κλάδου ενέργειας θα έπρεπε να κατεβούμε αρκετά χαμηλά σε επίπεδα κεφαλαιοποίησης, κάτι που αποκλίνει από το αρχικό κριτήριο επιλογής που τέθηκε. Το σύστημα, λοιπόν, περιλαμβάνει 54 μετοχές έως το Μάιο του 2012 και από τον Ιούνιο του 2012 έως το τέλος οι μετοχές είναι 58.

Αντίστοιχο πρόβλημα παρουσιάστηκε και σε δύο συμβολαία μελλοντικής εκπλήρωσης (Παλλαδίου και Λευκόχρυσου). Οι χρονοσειρές των δύο παρότι ξεκινούν από την αρχή, έως το 2012 παρουσιάζουν σημαντικά κενά με πολλές χαμένες τιμές σε διαφορετικά διαστήματα. Ως εκ τούτου, κρίθηκε σωστό να προστεθούν στο σύστημα μαζί με τις 4 προαναφερθείσες μετοχές, με τις χρονοσειρές να ξεκινάνε επίσης από τον Ιούνιο του 2012 έως το τέλος, όπου είναι πλήρεις. Έτσι λοιπόν έχουμε χρονοσειρές 22 συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης έως το Μάιο του 2012 και από τον Ιούνιο του 2012 έως το τέλος γίνονται 24. Συνολικά το σύστημα τη χρονική περίοδο 06/2005 – 05/2012 περιλαμβάνει 76 μεταβλητές και την περίοδο 06/2012 – 06/2020 περιλαμβάνει 84.

Ένα ακόμη πρόβλημα που παρουσιάστηκε στις χρονοσειρές των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης είναι η ύπαρξη κενών σε 3 συγκεκριμένες μέρες κάθε έτους (παραμονή 4ης Ιουλίου, μία μέρα της τελευταίας εβδομάδας του Νοεμβρίου, δεύτερη μέρα Χριστουγέννων). Για να προσπεραστεί αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιήθηκαν παρεμβαλλόμενες τιμές.

Το τελευταίο πρόβλημα που παρουσιάστηκε οφείλεται σε ένα πρωτοφανές ιστορικό γεγονός της 20ης Απριλίου 2020. Εκείνη την ημέρα, η τιμή του συμβολαίου για αργό πετρέλαιο ήταν αρνητική (-37,63USD)! Αυτό προκλήθηκε λόγω του προβλήματος στην αποθήκευση του πετρελαίου, καθώς τα αποθέματα είχαν ήδη γεμίσει τους αποθηκευτικούς χώρους και δεν υπήρχε περιθώριο για περαιτέρω παραλαβές. Αιτία αυτού ήταν η κατακόρυφη πτώση της κατανάλωσης και συνεπώς της ζήτησης πετρελαίου, λόγω των μαζικών lockdown παγκοσμίως ως μέτρο πρόληψης της πανδημίας COVID-19. Εκείνη τη μέρα ο κάτοχος ενός τέτοιου συμβολαίου μελλοντικής εκπλήρωσης πλήρωνε για να το ξεφορτωθεί! Το υπολογιστικό πρόβλημα που προέκυψε από αυτή την αρνητική τιμή είναι πως δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι διαφορές των λογαρίθμων των ημερήσιων τιμών για απαλοιφή των τάσεων στη συγκεκριμένη χρονοσειρά, καθώς δεν ορίζεται λογάριθμος αρνητικής ποσότητας με πραγματικούς αριθμούς. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό, αυξήθηκε η τιμή κάθε παρατήρησης της χρονοσειράς κατά 40.

4.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές των τιμών των χρηματοοικονομικών μέσων, όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω. Για να είναι οι χρονοσειρές επεξεργάσιμες και τα στοιχεία που προκύπτουν από την ανάλυσή τους να είναι αξιόπιστα, μετατράπηκαν σε στάσιμες παίρνοντας τις διαφορές των λογαρίθμων των τιμών. Η ανάλυση χωρίστηκε σε δύο μέρη, από άποψη υπολογισμών, καθώς στην πορεία προστέθηκαν επιπλέον μεταβλητές.

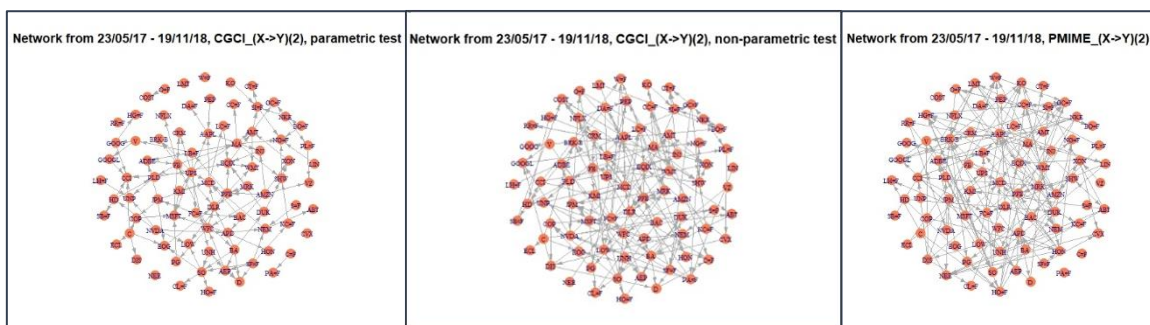
Η ανάλυση έγινε σε επικαλυπτόμενα χρονικά παράθυρα ενάμισι έτους, ήτοι 378 ημερών. Κάθε παράθυρο επικαλύπτει το τελευταίο 1/3 του αμέσως προηγούμενου, δηλαδή μισό έτος (126 μέρες). Ο χρονικός άξονας χωρίστηκε έτσι σε 15 παράθυρα, εκ των οποίων το τελευταίο είχε μήκος 257 ημερών. Η προσέγγιση με χρονικά παράθυρα μας επιτρέπει να διαπιστώσουμε τις ενδεχόμενες μεταβολές στην εικόνα και τα χαρακτηριστικά του δικτύου, δεδομένης της δυναμικής φύσης των οικονομικών αγορών. Οι 378 παρατηρήσεις είναι ικανοποιητικές δεδομένου του πλήθους των μεταβλητών, ώστε οι εκτιμήσεις των μέτρων αιτιότητας να είναι αξιόπιστες.

Εφόσον ο στόχος μας είναι η διερεύνηση των σχέσεων απευθείας αιτιότητας μεταξύ των μεταβλητών, τα μέτρα αιτιότητας που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση

είναι ο δείκτης δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (CGCI), ο περιορισμένος δείκτης δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (RCGCI) και η μερική αμοιβαία πληροφορία από μική εμβύθιση (PMIME), όπως ορίστηκαν στις σχέσεις (2.7), (2.10) και (2.15) αντίστοιχα. Η μερική μεταφορική εντροπία απορρίφθηκε, διότι δε συνίσταται όταν στο σύστημα υπάρχουν πολλές μεταβλητές, όπως έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία έπειτα από αποτελέσματα ερευνών (Parana et al. 2012). Για τον υπολογισμό κάθε μέτρου χρησιμοποιήθηκαν τιμές με χρονική υστέρηση έως και 2.

Σε μερικές περιπτώσεις όπου χρειάστηκε να γίνει εστίαση σε χρονικό παράθυρο μικρότερου μήκους, χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά ο περιορισμένος δείκτης δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (RCGCI) για την εκτίμηση της αιτιότητας, καθώς τα αποτελέσματα που δίνει είναι αξιόπιστα ακόμη και όταν οι χρονοσειρές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του έχουν μικρό πλήθος παρατηρήσεων (Siggiridou and Kugiumtzis 2016). Έτσι, για την εκτίμηση στο δεύτερο μέρος ανάλυσης, όπου οι χρονοσειρές μελετήθηκαν σε 61 χρονικά παράθυρα 84 ημερών (τεσσάρων μηνών), τα δίκτυα κατασκευάστηκαν βάσει των εκτιμήσεων του RCGCI.

Πριν σχηματιστεί ο πίνακας γειτνίασης κάθε χρονικού παραθύρου από τις τιμές των μέτρων αιτιότητας, ελέγχθηκε η στατιστική τους σημαντικότητα. Επιλέχθηκε μη παραμετρικός έλεγχος, καθώς το στατιστικό που υπολογίστηκε στο δείγμα δεν προκύπτει από κάποια γνωστή κατανομή. Οπότε αν επιλεγόταν ο παραμετρικός έλεγχος για τους εκτιμητές της αιτιότητας λόγω γραμμικών σχέσεων τα αποτελέσματα θα διέφεραν από την πραγματικότητα. Ο μη-παραμετρικός έλεγχος έγινε με τη μέθοδο της επαναδειγματοληψίας. Σε κάθε περίπτωση έγινε με τυχαίο τρόπο 100 φορές σε κάθε δείγμα αντιμετάθεση των παρατηρήσεων και επαναυπολογίστηκε το εκάστοτε μέτρο αιτιότητας. Έπειτα, βάσει της κατανομής των εκτιμήσεων υπολογίστηκε η p-



Διάγραμμα 5: Αριστερά το δίκτυο που προκύπτει από τις τιμές του CGCI έπειτα από παραμετρικό έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας, στη μέση το δίκτυο που προκύπτει από τις τιμές του CGCI έπειτα από μη-παραμετρικό έλεγχο και δεξιά το δίκτυο που προκύπτει από τις τιμές του PMIME. Επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,015$.

τιμή. Η μικρότερη δυνατή p -τιμή που μπορεί να προκύψει για τις 101 συνολικές τιμές του εκτιμητή από τη συνάρτηση υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκε είναι 0,0133, με διόρθωση στην τάξη τιμών στον υπολογισμό της p -τιμής. Παράλληλα, κατά την εφαρμογή της διόρθωσης FDR στον μη-παραμετρικό έλεγχο παρουσιάζονταν το φαινόμενο όλες οι σχέσεις αιτιότητας να κρίνονται στατιστικά μη-σημαντικές. Αυτό γινόταν διότι το κριτήριο εξετάζει ένα κατώτερο όριο p -τιμών για πλήθος ελέγχων και όταν αυτό ήταν μεγαλύτερο της μικρότερης p -τιμής 0,0133 δεν έβρισκε καμία απόρριψη. Αποτέλεσμα αυτού ήταν να προκύπτουν πλήρως ασυνδετικά δίκτυα για κάθε σχεδόν χρονικό παράθυρο, κάτι που δεν επιτρέπει περαιτέρω ανάλυση. Ως εκ τούτου, εφόσον η διόρθωση FDR δε χρησιμοποιήθηκε, ορίστηκε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,015$ ώστε η μηδενική υπόθεση να απορρίπτεται μόνο στην περίπτωση που η p -τιμή είναι 0,0133, όταν δηλαδή η εκτίμηση του εκάστοτε μέτρου αιτιότητας βρίσκεται δεξιότερα από όλες τις τιμές του μέτρου των τυχαιοποιημένων δειγμάτων στην κατανομή. Το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,015$ χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο κάθε εκτίμησης.

Οι πίνακες γειτνίασης για κάθε παράθυρο κατασκευάστηκαν έπειτα από τον έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας των εκτιμήσεων των μέτρων αιτιότητας. Από αυτούς προέκυψαν τα δίκτυα αιτιότητας κάθε χρονικού παραθύρου, τα οποία σε όλα τα παράθυρα είχαν απομονωμένους κόμβους.

Καθώς τα δίκτυα είναι πολύ αραιά, αναλύθηκε ο βαθμός των δικτύων και πώς αυτός μεταβάλλεται κατά την πάροδο του χρόνου, ώστε να διαπιστωθεί σε ποια χρονικά παράθυρα τα δίκτυα είναι πυκνότερα και συνεπώς υπάρχουν περισσότερες σχέσεις άμεσης αιτιότητας μεταξύ των χρηματοοικονομικών μέσων. Σε αυτές τις χρονικές περιόδους έγινε περαιτέρω ανάλυση στα μικρότερα χρονικά παράθυρα.

Τέλος, διερευνήθηκε κατά πόσο οι συνδέσεις των δικτύων είναι μεταξύ χρηματοοικονομικών μέσων των δύο διαφορετικών κατηγοριών, ώστε να διαπιστωθεί αν πράγματι είχε νόημα η προσέγγιση ενός συστήματος που περιλαμβάνει μεταβλητές και από τις δύο κατηγορίες.



Κουγιουμτζής Ζ. Ιωάννης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

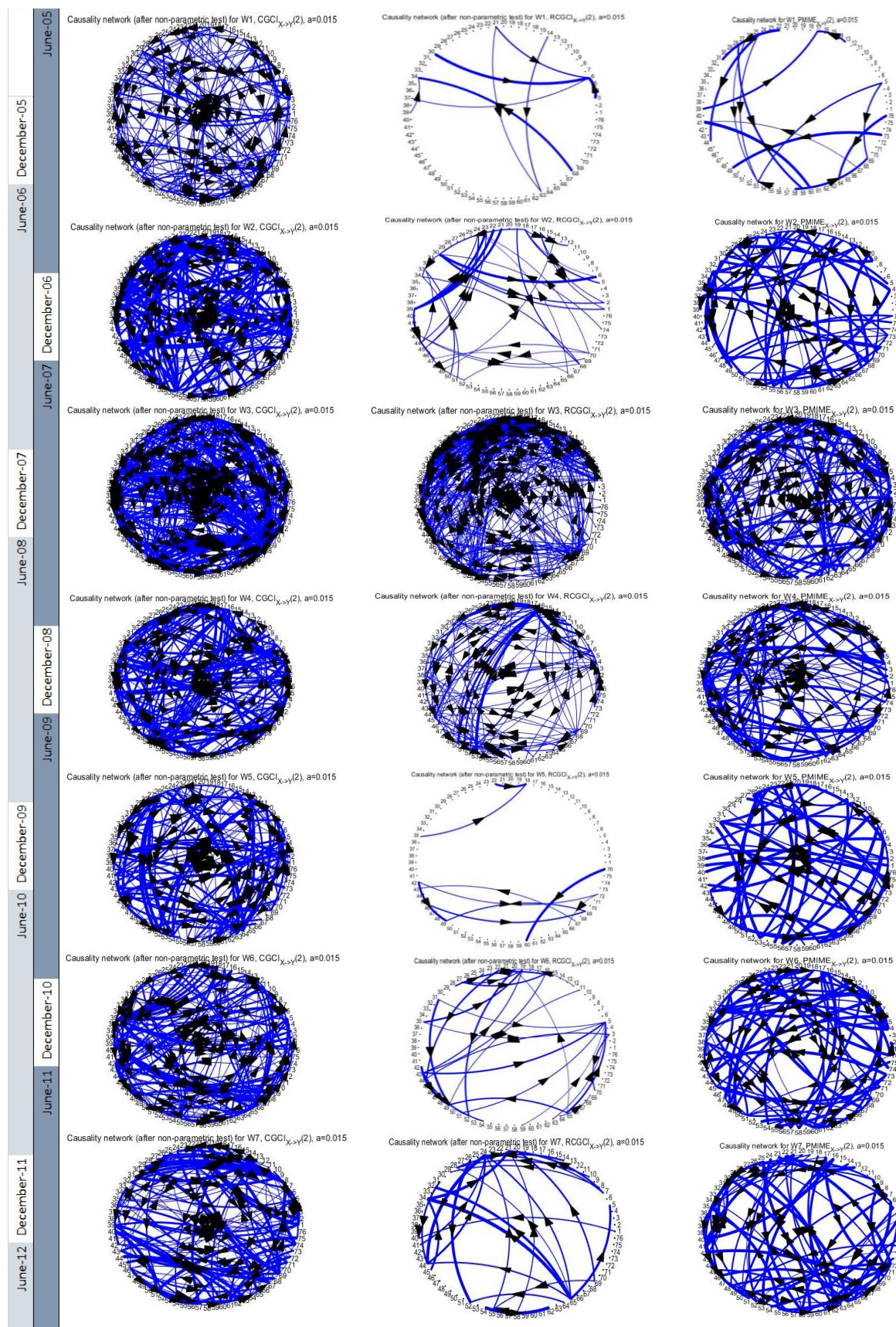
Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης που έγινε σε δύο μέρη. Στην πρώτη ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε μεγάλα χρονικά παράθυρα, ενώ στη δεύτερη τα αποτελέσματα της ανάλυσης στα μικρά.

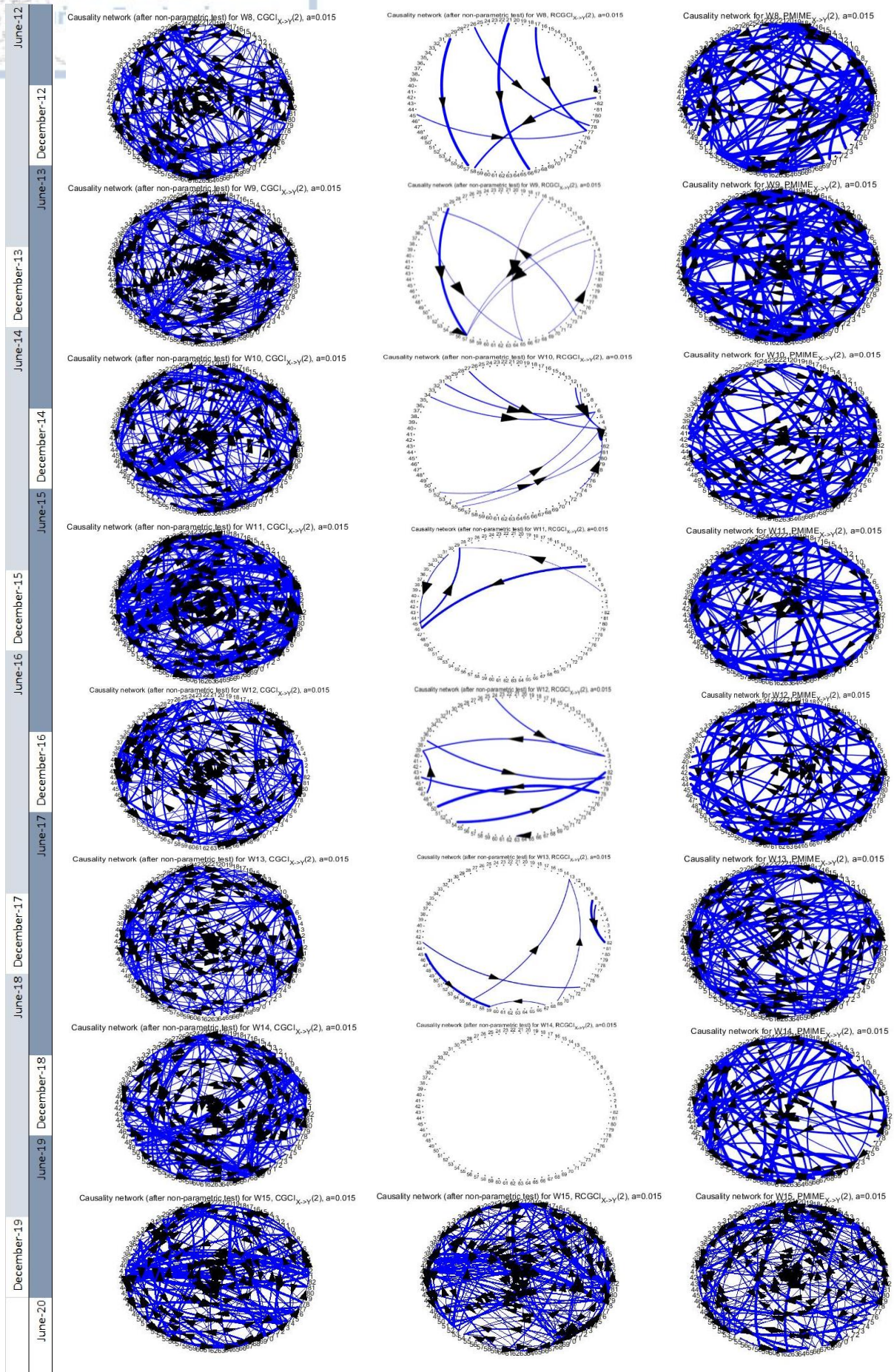
5.1. ΧΡΟΝΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ 378 ΗΜΕΡΩΝ

Η επεξεργασία ξεκίνησε απαλείφοντας τις τάσεις και την αυτοσυσχέτιση από τις χρονοσειρές και οι νέες τιμές χωρίστηκαν σε 15 τμήματα 378 ημερών. Από τον υπολογισμό των μέτρων αιτιότητας για τα 15 χρονικά παράθυρα και την κατασκευή πινάκων γειτνίασης προέκυψαν τα δίκτυα που απεικονίζονται στο *Διάγραμμα 6*. Ο κάθετος χρονικός άξονας στα αριστερά δείχνει ποιες χρονικές περιόδους καλύπτει το κάθε παράθυρο, όπως επίσης και το χρονικό τμήμα της επικάλυψης. Ακόμα κι από την όψη των δικτύων είναι εμφανές πως σε κάθε χρονικό παράθυρο η δομή του δικτύου αλλάζει, ανεξάρτητα από το μέτρο που επιλέχθηκε για τον υπολογισμό της άμεσης αιτιότητας. Οπτικά γίνεται ευκολότερα αντιληπτό κυρίως στα δίκτυα που κατασκευάστηκαν από τις εκτιμήσεις του περιορισμένου δείκτη δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger, καθώς είναι τα πιο αραιά, ωστόσο ακόμα και οι λιγοστές συνδέσεις διαφέρουν σε κάθε παράθυρο.

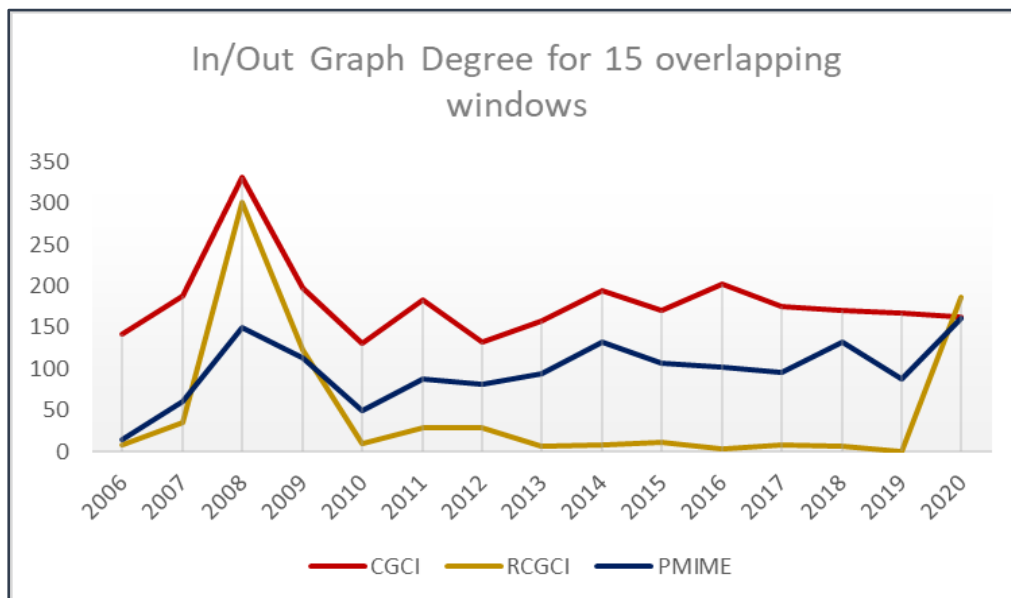
Αναφέρθηκε ήδη κατά την παρουσίαση των μέτρων αιτιότητας που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση πως οι δύο δείκτες που βασίζονται σε γραμμικά αυτοπαλίνδρομα μοντέλα, ο CGCI και ο RCGCI, δύνανται να εντοπίσουν αιτιότητα που οφείλεται μόνο σε γραμμικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Παρόλα αυτά τα δίκτυα που προκύπτουν από τις εκτιμήσεις του CGCI και του RCGCI δομικά διαφέρουν πολύ. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι πως για την εκτίμηση του CGCI στο αυτοπαλίνδρομο μοντέλο συμμετέχουν όλες οι μεταβλητές, ενώ για τον RCGCI μόνο οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν βάσει του αλγορίθμου mBTS, κάτι που ενδεχομένως καθιστά το μέτρο αυστηρότερο. Αντιθέτως το μέτρο PMIME εντοπίζει αιτιότητα που οφείλεται τόσο σε γραμμικές, όσο και σε μη-γραμμικές σχέσεις.

Διάγραμμα 6: Από αριστερά προς τα δεξιά: Δίκτυα αιτιότητας βάσει των εκτιμήσεων του CGCI, του RCGCI και του PMIME. Στο αριστερό άκρο βρίσκεται ο άξονας του χρόνου.





Ο περιορισμένος δείκτης δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (RCGCI) αποδείχθηκε στην πράξη το αυστηρότερο μέτρο αιτιότητας, καθώς τα δίκτυα που προέκυψαν από τις εκτιμήσεις του είναι τα πιο αραιά, με μέση πυκνότητα δικτύου για τα 15 χρονικά παράθυρα περίπου 0,86%. Αντιθέτως τα δίκτυα που προέκυψαν από πίνακα γειτνίασης βασισμένο στις εκτιμήσεις του δείκτη δεσμευμένης αιτιότητας κατά Granger (CGCI) ήταν πυκνότερα για κάθε χρονικό παράθυρο, πλην του τελευταίου, για το χρονικό διάστημα μεταξύ 30/05/2019 και 04/06/2020. Σε αυτό το χρονικό παράθυρο η υψηλότερη πυκνότητα συνδέσεων παρατηρήθηκε στο δίκτυο που σχηματίστηκε βάσει των εκτιμήσεων του RCGCI (2,82%). Παράλληλα, όσον αφορά τα δίκτυα από τις εκτιμήσεις του RCGCI, παρατηρήθηκε η υψηλότερη πυκνότητα ακμών (5,25%) σε εκείνο του χρονικού παραθύρου από 05/06/2007 έως 01/12/2008. Υψηλή πυκνότητα σχετικά με τα υπόλοιπα χρονικά παράθυρα παρατηρήθηκε και στο αμέσως επόμενο, 03/06/2008 – 30/11/2009 (2,14%). Όλα τα υπόλοιπα δίκτυα που σχηματίστηκαν από τις εκτιμήσεις του RCGCI είχαν πυκνότητα μικρότερη από 0,6%. Στο *Διάγραμμα 7* φαίνεται η πορεία του βαθμού των δικτύων στα 15 χρονικά παράθυρα, για κάθε ένα από τα τρία μέτρα αιτιότητας. Η πυκνότητα κυμαίνεται ακριβώς όπως ο βαθμός του δικτύου, καθώς ο έσω ή ο έξω βαθμός ισούται με το πλήθος των συνδέσεων.



Διάγραμμα 7: Ο έσω/ έξω βαθμός των δικτύων για τα 15 επικαλυπτόμενα χρονικά παράθυρα. Οι συνδέσεις του δικτύου είναι ακριβώς όσες και ο έσω/έξω βαθμός. Οπότε ανάλογη είναι και η πυκνότητα των δικτύων για τα 15 παράθυρα.

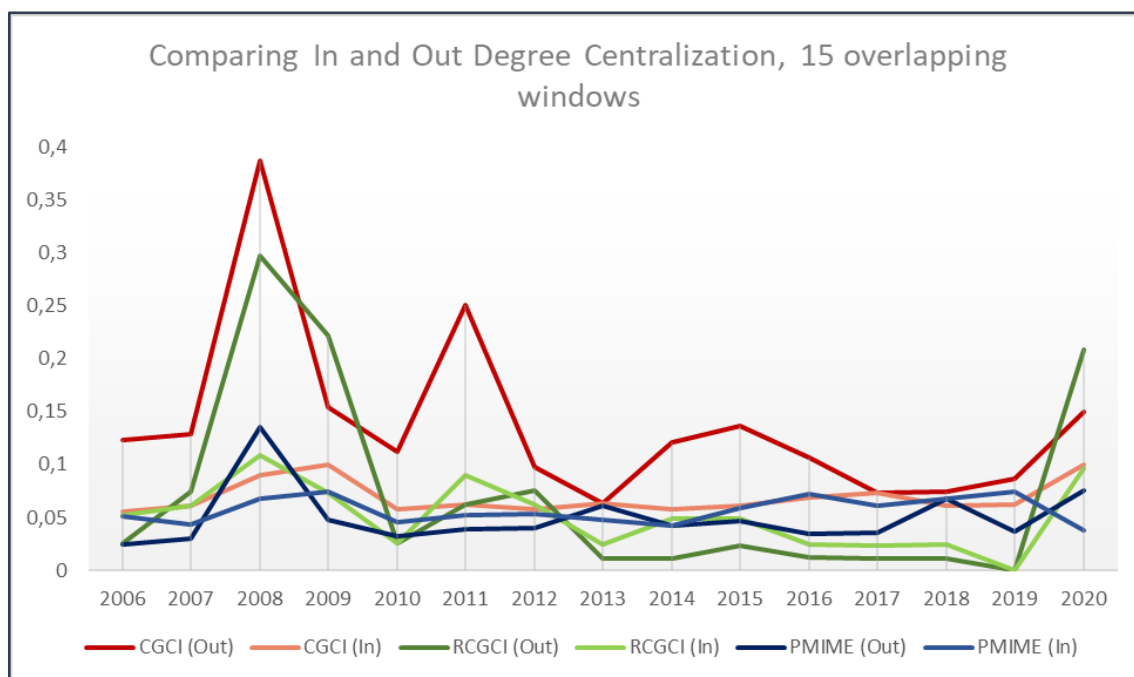
Στα δύο χρονικά παράθυρα από 05/06/2007 ως 01/12/2008 (3^ο) και από 30/05/2019 ως 04/06/2020 (15^ο) παρατηρήθηκε η υψηλότερη πυκνότητα μεταξύ των δικτύων που προέκυψαν τόσο από τις εκτιμήσεις του RCGCI, όσο και από τις εκτιμήσεις του PMIME. Αναλογιζόμενοι τις ημερομηνίες, στο πρώτο εκ των δύο παραθύρων περιλαμβάνεται η χρονική περίοδος της Παγκόσμιας Οικονομικής Κρίσης (Global Financial Crisis) που ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2007 με την αναταραχή των χρηματοπιστωτικών αγορών που σχετίζονταν με τις αγορές ενυπόθηκων δανείων. Σε αυτό το χρονικό παράθυρο το δίκτυο παρουσίασε το μεγαλύτερο βαθμό. Το αντίκτυπο που είχε η κατάσταση αυτή στις χρηματοοικονομικές αναλύσεις επεσήμαναν οι Diebold και Yilmaz (2008) στην εργασία τους, η οποία εστίαζε στις διακυμάνσεις της μεταβλητότητας και των αποδόσεων των παγκόσμιων αγορών μετοχών.

Το δεύτερο εκ των δύο παραθύρων περιλαμβάνει το χρονικό διάστημα όπου ξέσπασε η πανδημία COVID-19 και την κατακόρυφη πτώση των χρηματιστηριακών δεικτών ως απόρροια της πανδημίας στα μέσα του Μάρτιου του 2020. Το δίκτυο που σχηματίστηκε σε αυτό το παράθυρο βάσει των εκτιμήσεων του CGCI δεν παρουσίασε κάποια σημαντική διαφορά στην πυκνότητα των συνδέσεων του, σε σχέση με εκείνα των υπόλοιπων παραθύρων.

Ως εκ τούτου, συμπεραίνουμε πως υπάρχει η ένδειξη αλλαγών στις σχέσεις αιτιότητας μεταξύ των χρηματοοικονομικών μέσων όταν κάποια κρίση βρίσκεται σε εξέλιξη. Για να εξεταστεί περαιτέρω η παρατήρηση αυτή, στην ενότητα 5.2 θα παρουσιαστεί ανάλυση σε μικρότερα χρονικά παράθυρα, μήκους τεσσάρων μηνών, ώστε να προσεγγισθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι δύο κρίσεις.

Η υποψία για αναταραχή στις σχέσεις αιτιότητας τις περιόδους αυτές ενισχύεται ακόμη περισσότερο από τα αποτελέσματα του επόμενου βήματος ανάλυσης. Γίνεται σύγκριση της έσω-βαθμικής κεντρικότητας δικτύου (In-Degree Centralization) με την έξω-βαθμική κεντρικότητα δικτύου (Out-Degree Centralization). Για τα δίκτυα του CGCI η έξω-βαθμική κεντρικότητα πάντα είναι μεγαλύτερη από την έσω, ενώ για τα δίκτυα που κατασκευάστηκαν βάσει των εκτιμήσεων των δύο άλλων μέτρων ισχύει στις περισσότερες περιπτώσεις το αντίστροφο. Παρόλα αυτά, στα δύο παράθυρα που αναλύθηκαν εκτενέστερα παραπάνω παρατηρείται πως η έξω βαθμική κεντρικότητα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από ό,τι η έσω για τα δίκτυα των RCGCI και PMIME. Φαίνεται, λοιπόν, πως η δομή αλλάζει στα δύο αυτά χρονικά παράθυρα. Στο *Διάγραμμα*

8 φαίνεται η πορεία της κεντρικότητας δικτύου κατά την πάροδο του χρόνου και για τα 3 δίκτυα κάθε χρονικού παραθύρου.

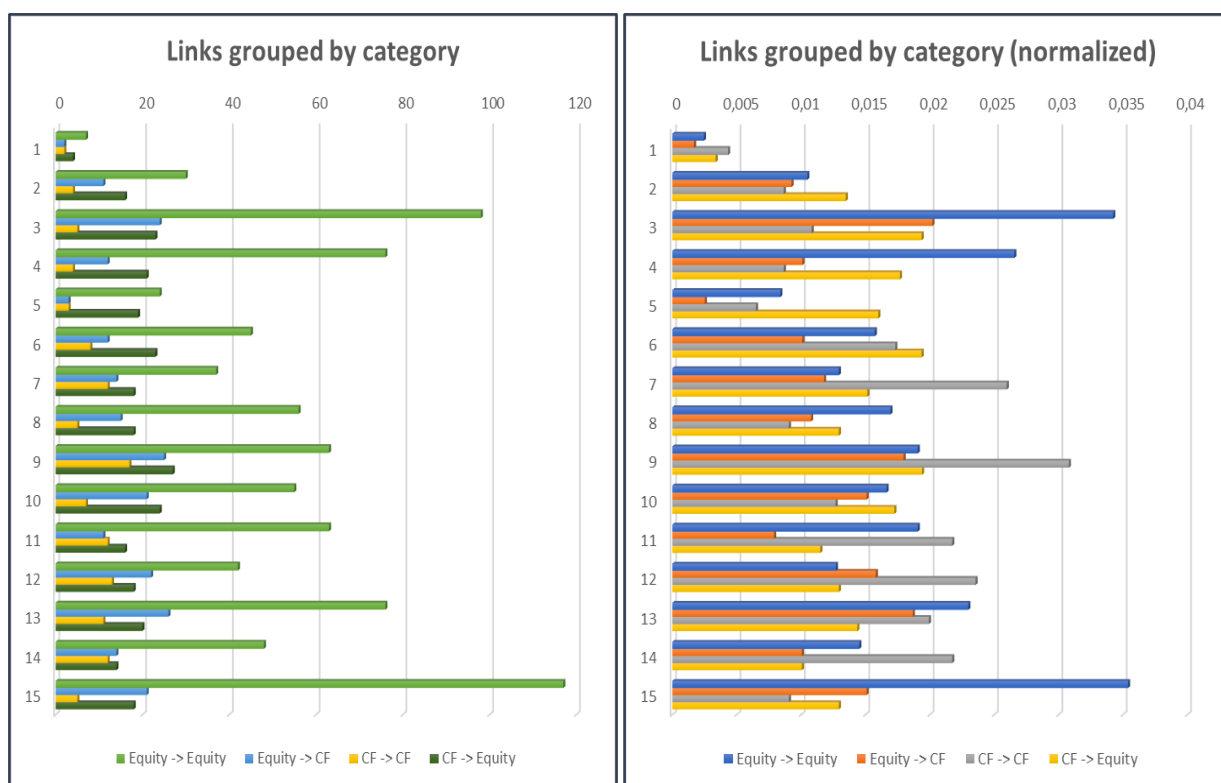


Διάγραμμα 8: Η έσω-βαθμική και η έξω-βαθμική κεντρικότητα δικτύου για τα 15 επικαλυπτόμενα χρονικά παράθυρα.

Η αλλαγή που παρατηρείται στην βαθμική κεντρικότητα των δικτύων των RCGCI και PMIME για τα δύο αυτά χρονικά παράθυρα δείχνει πως αλλάζει το μοτίβο κεντρικότητας των κόμβων. Στα δίκτυα με υψηλή έσω-βαθμική κεντρικότητα υπάρχουν κόμβοι με υψηλή έσω-βαθμική κεντρικότητα, δηλαδή υπάρχουν κόμβοι στους οποίους επιδρούν πολλοί αλλά όχι κόμβοι οι οποίοι επηρεάζουν πολλούς. Όταν είναι υψηλή η έξω-βαθμική κεντρικότητα συμβαίνει το αντίστροφο.

Στο επόμενο στάδιο διερευνήθηκε κατά πόσο είχε πραγματικά ουσία να συμπεριληφθούν στο σύστημα που μελετήθηκε χρονοσειρές τόσο μετοχών, όσο και συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης. Σε μία παρόμοια ανάλυση που παρουσιάστηκε σε επιστημονικό άρθρο (Bekiros et al. 2017) φάνηκε να υπάρχει σχέση μεταξύ μετοχών και συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης, ωστόσο για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson, η μεταφορική εντροπία και μία παραλλαγή της, η αποτελεσματική μεταφορική εντροπία. Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία που προκύπτουν από τα δίκτυα που κατασκευάστηκαν με βάση τις εκτιμήσεις του PMIME, στο Διάγραμμα 9 αναλύεται σε τι είδους συνδέσεις επιμερίζεται ο βαθμός του δικτύου. Για αυτή την προσέγγιση επιλέχθηκαν τα δίκτυα του PMIME, καθώς είναι το μέτρο που

δύναται να εντοπίσει αιτιότητα οφειλόμενη τόσο σε γραμμικές, όσο και σε μη-γραμμικές σχέσεις. Συνυπολογίζοντας τη διαφορετικότητα που παρατηρείται στις συνδέσεις μεταξύ των τριών δικτύων σε κάθε παράθυρο, κρίθηκε καλύτερο να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία από τα δίκτυα που κατασκευάστηκαν βάσει των εκτιμήσεων του PMIME.



Διάγραμμα 9: α) Ανάλυση των συνδέσεων στα δίκτυα του PMIME για τα 15 χρονικά παράθυρα. β) Συνδέσεις κανονικοποιημένες βάσει των συνολικών δυνατών συνδέσεων για κάθε κατηγορία.

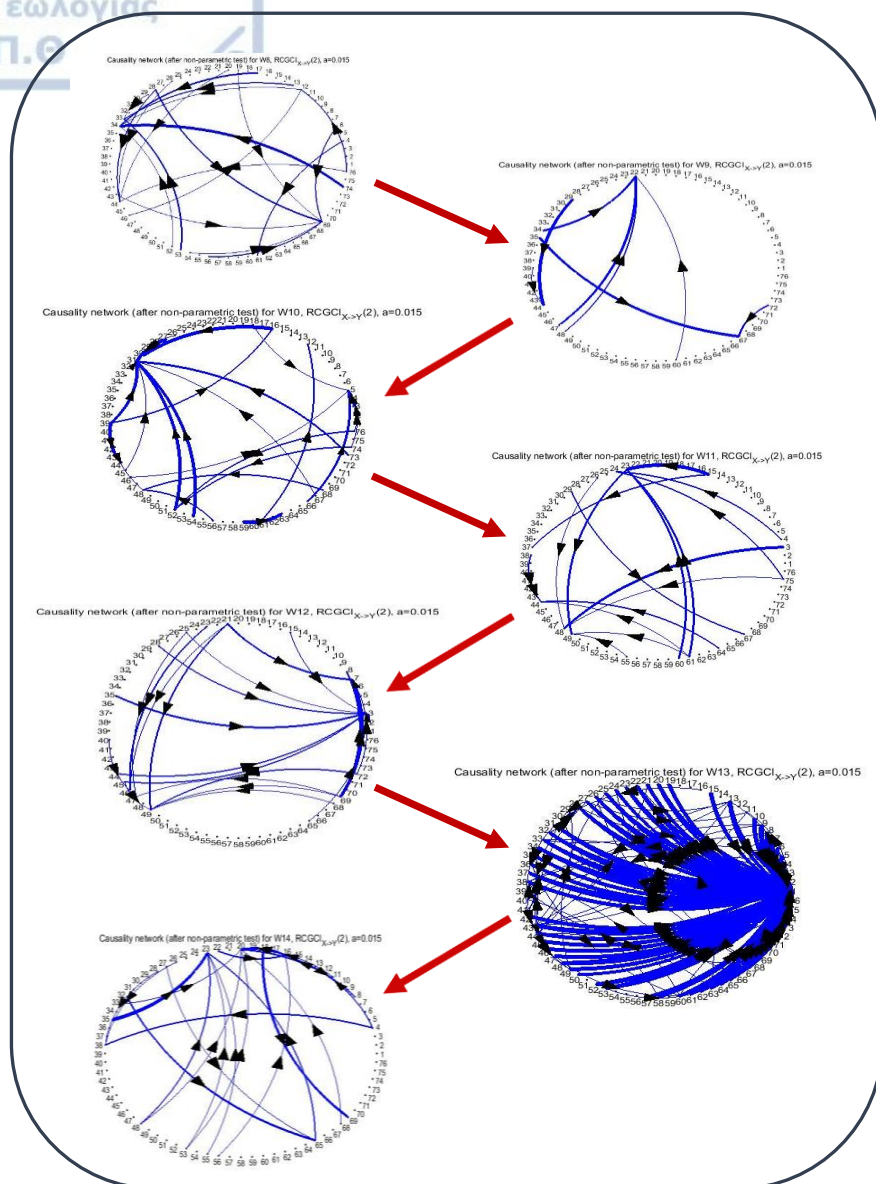
Όπως φαίνεται οι περισσότερες σχέσεις αιτιότητας υπάρχουν μεταξύ μετοχών, καθώς βέβαια οι περισσότερες μεταβλητές είναι μετοχές. Οι σχέσεις μεταξύ συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης είναι οι λιγότερες, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο διότι είναι λιγότερα. Για να περιοριστεί το πρόβλημα του διαφορετικού πλήθους μεταβλητών από κάθε κατηγορία, στο Διάγραμμα 9β παρουσιάζονται οι συνδέσεις κανονικοποιημένες. Ωστόσο υπάρχουν επίσης αρκετές σχέσεις αιτιότητας μεταξύ μετοχών και συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης, οι οποίες κατά μέσο όρο για τα 15 χρονικά παράθυρα αποτελούν το 36,3% των συνολικών συνδέσεων. Επιπλέον παρατηρήθηκε πως η αύξηση του βαθμού στα δίκτυα των δύο χρονικών παραθύρων που περιλαμβάνουν χρονικά διαστήματα κρίσης, τα οποία σημειώθηκαν και παραπάνω, οφείλεται ως επί το πλείστον σε σχέσεις αιτιότητας ανάμεσα σε μετοχές. Ακόμα και στο κανονικοποιημένο διάγραμμα φαίνεται πως για τα 2 αυτά

παράθυρα οι συνδέσεις μεταξύ μετοχών είναι εκείνες που κάνουν τη διαφορά. Παρόλα αυτά, εφόσον ένα σημαντικό μέρος των συνολικών συνδέσεων προκύπτει από σχέσεις άμεσης αιτιότητας μεταξύ μεταβλητών από τις δύο διαφορετικές κατηγορίες, συμπεραίνουμε πως η δημιουργία ενός κοινού συστήματος είχε νόημα.

5.2. ΧΡΟΝΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ 84 ΗΜΕΡΩΝ

Για να γίνει εστίαση σε χρονικά διαστήματα μικρότερα των 18 μηνών, όπως έγινε στο πρώτο κομμάτι της ανάλυσης, για την εκτίμηση των σχέσεων άμεσης αιτιότητας χρησιμοποιήθηκε το μέτρο RCGCI, το οποίο όπως αποδείχθηκε παραπάνω είναι το αυστηρότερο εκ των τριών.

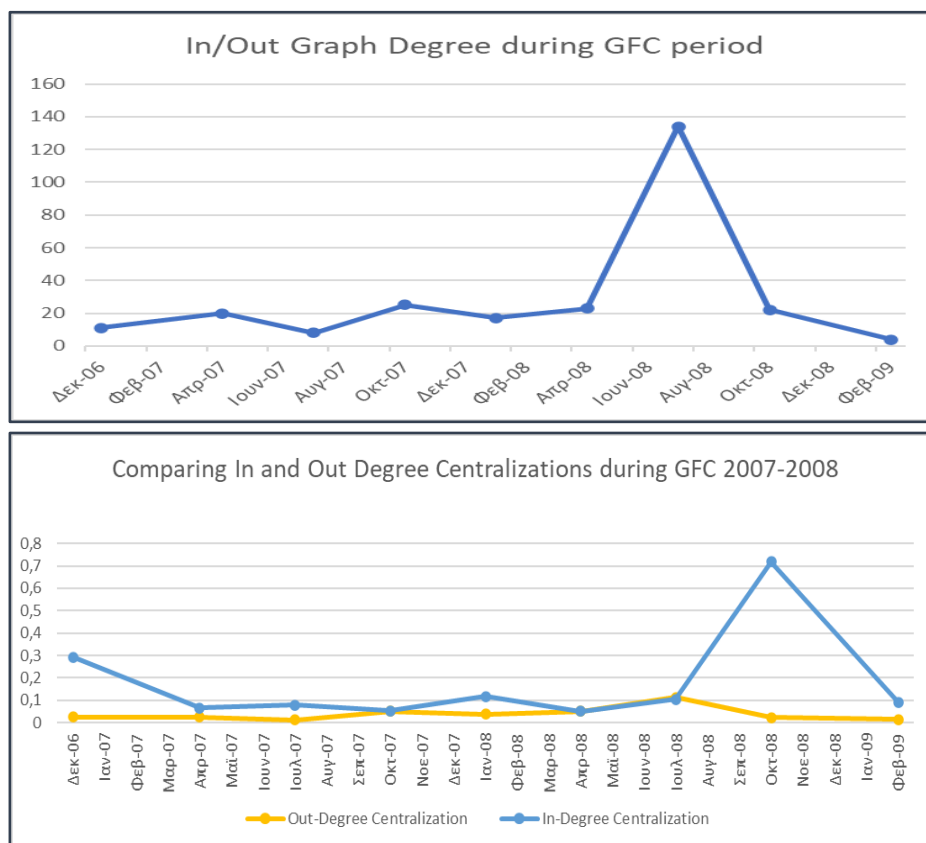
Για να προσεγγισθεί καλύτερα η πρώτη κρίση που διαπιστώθηκε, επιλέγονται τα 7 χρονικά παράθυρα που καλύπτουν το χρονικό διάστημα του παραθύρου ενάμισι έτους, στο οποίο υπήρξε αναταραχή. Συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα που καλύπτουν είναι από τις 27/02/2007 έως τις 15/12/2008. Τα δίκτυα που απεικονίζονται στο *Διάγραμμα 10* είναι τα δίκτυα για τα 7 χρονικά παράθυρα των τεσσάρων μηνών του διαστήματος που αναφέρθηκε. Οι συνδέσεις είναι σε κάθε παράθυρο ανάμεσα σε διαφορετικούς κόμβους και δεν παρατηρείται σταθερή δομή, με την πυκνότητα να λαμβάνει χαμηλές τιμές μεταξύ 0,14% - 0,44% στα 6 από τα 7 παράθυρα. Ωστόσο στο 6^ο παράθυρο, που καλύπτει το χρονικό διάστημα από τις 20/05/2008 έως τις 17/09/2008, φαίνεται πως πολλοί κόμβοι επηρεάζουν έναν συγκεκριμένο και το δίκτυο γίνεται πυκνότερο. Η αύξηση της πυκνότητας βέβαια οφείλεται στην ύπαρξη πολλών ακμών με κατεύθυνση σε έναν συγκεκριμένο κόμβο, κάτι που δεν επαληθεύει τις υποθέσεις που έγιναν από τα στοιχεία των μεγάλων παραθύρων για αλλαγή της φύσης της κεντρικότητας σε περίοδο κρίσης.



Διάγραμμα 10: Τα 7 χρονικά παράθυρα τεσσάρων μηνών που καλύπτουν το διάστημα 27/02/2007 – 15/12/2008. Τα βέλη δείχνουν τη ροή του χρόνου.

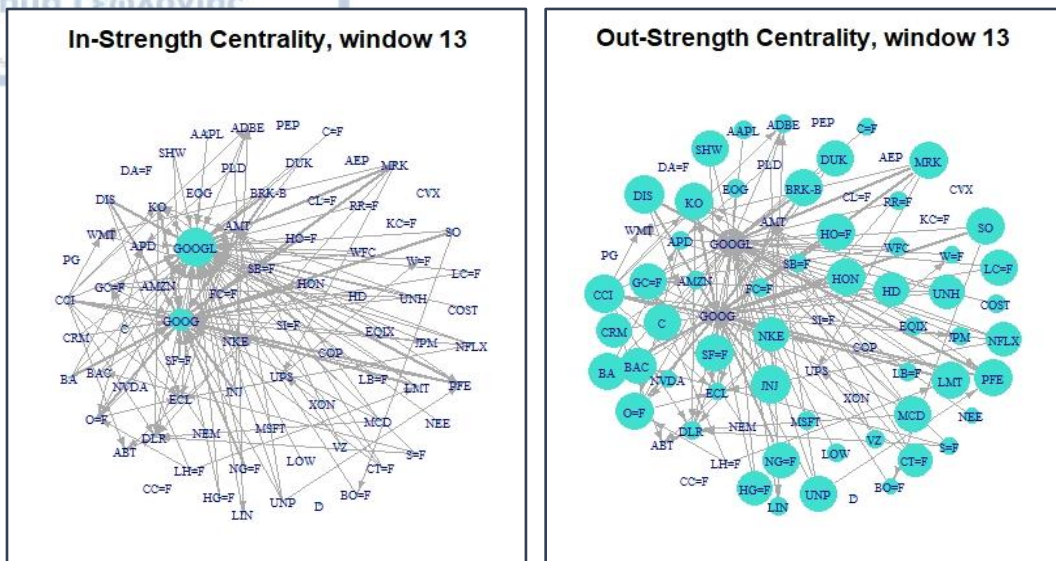
Για περαιτέρω διερεύνηση μελετήθηκε ο βαθμός και οι βαθμικές κεντρικότητες του δικτύου, χωρίς ωστόσο να παρατηρείται υψηλή τιμή ώστε να διαφέρουν από τα υπόλοιπα παράθυρα κατά μήκος των χρονοσειρών, πλην του παραθύρου που καλύπτει το χρονικό διάστημα 20/05/2008 – 17/09/2008, που ήταν αναμενόμενο. Στο Διάγραμμα 11α φαίνεται ο βαθμός για τα 7 παράθυρα της κρίσης, καθώς και για ένα πριν κι ένα μετά. Στο παράθυρο που ξεχωρίζει, ο βαθμός είναι αισθητά αυξημένος σε σχέση με τα υπόλοιπα, ωστόσο η υψηλή τιμή της έσω-βαθμικής κεντρικότητας του δικτύου σε συνδυασμό με την πολύ χαμηλή τιμή της έξω-κεντρικότητας, επαληθεύει

πως υπάρχουν πολύ λίγοι κόμβοι στους οποίους ασκούν επιρροή πολλοί άλλοι, όπως δείχνει το Διάγραμμα 11β.



Διαγράμματα 11α (επάνω) και 11β (κάτω): (α) Οι συνδέσεις των δικτύων του RCGCI για τα χρονικά παράθυρα την περίοδο της κρίσης, συν ένα πριν κι ένα μετά ώστε να διαπιστωθεί διαφορά. (β) Έσω και έξω βαθμική κεντρικότητα δικτύου, δεν παρατηρείται ανάλογο φαινόμενο όπως στο μεγάλο παράθυρο.

Εμβαθύνοντας σε αυτό το χρονικό παράθυρο, εξετάσθηκαν οι κεντρικότητες έσω-ισχύος και έξω-ισχύος, ώστε να εξακριβωθεί ποια είναι τα χρηματοοικονομικά μέσα που δέχονται επιρροή από πολλά άλλα. Στα Διαγράμματα 12α και 12β απεικονίζεται το ίδιο δίκτυο, αυτό του διαστήματος 20/05/2008 – 17/09/2008, όπου χρησιμοποιώντας την έσω και την έξω κεντρικότητα ισχύος κόμβου και επισημαίνοντας τους κόμβους με υψηλή τιμή αντίστοιχα, διαπιστώνεται πως οι μετοχές GOOGL και GOOG είναι εκείνες που επηρεάζονται από πολλά άλλα χρηματοοικονομικά μέσα. Οι δύο αυτές μετοχές είναι της εταιρείας Alphabet Inc., μητρικής εταιρείας της πασίγνωστης Google. Ιστορικά, από το Μάιο του 2008 αυτές οι δύο μετοχές είχαν έντονη πτωτική πορεία μέχρι και το Νοέμβριο του 2008, οπότε και σημειώθηκε η χαμηλότερη τιμή από το 2007 έως και σήμερα.

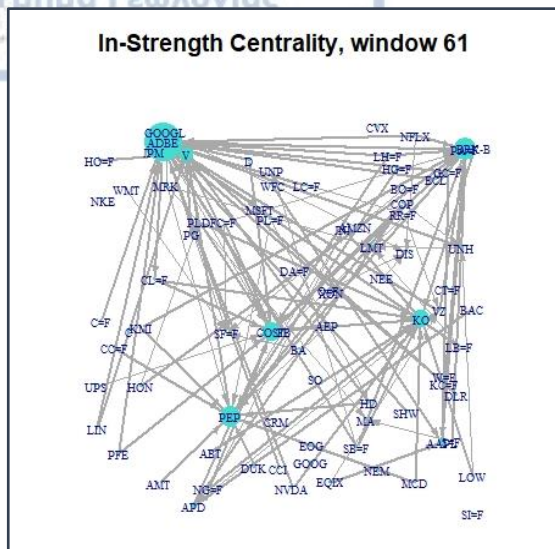


Διάγραμμα 12: α) Το δίκτυο το διάστημα 20/05/2008 – 17/09/2008, έχοντας επισημαίνει τους κόμβους με τη μεγαλύτερη κεντρικότητα έσω-ισχύος.

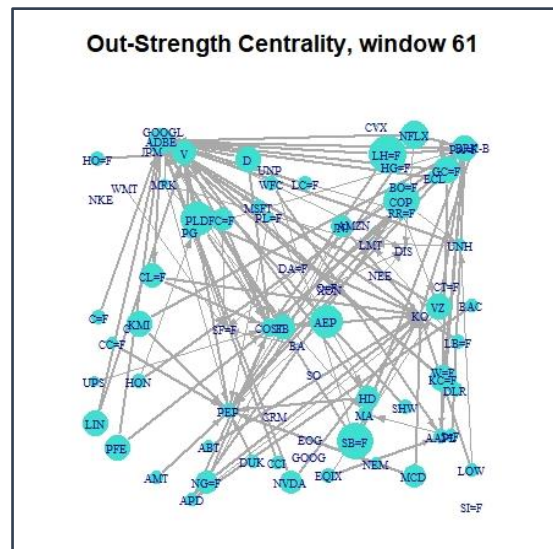
β) Το δίκτυο το διάστημα 20/05/2008 – 17/09/2008, έχοντας επισημαίνει τους κόμβους με τη μεγαλύτερη κεντρικότητα έξω-ισχύος.

Η κεντρικότητα ισχύος κόμβου ελέγχθηκε και στα δίκτυα των διπλανών παραθύρων, ωστόσο κανένας κόμβος δε διατήρησε υψηλή τιμή στην κεντρικότητα, όπως στο παράθυρο που παρουσιάζεται. Γενικότερα, σε κάθε παράθυρο που μελετήθηκε οι κεντρικότητες των κόμβων μεταβάλλονταν διαρκώς, χωρίς να μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για σταθερές σχέσεις άμεσης αιτιότητας ανά το χρόνο μεταξύ δύο μέσων.

Το χρονικό παράθυρο που σχετίζεται με τη δεύτερη κρίση που παρατηρήθηκε καλύπτει το διάστημα από 10/03/2020 έως και 04/06/2020. Ο έσω βαθμός του δικτύου σε αυτήν την περίπτωση είναι 114, ο δεύτερος μεγαλύτερος όλων των 61 παραθύρων, ακολουθώντας το παράθυρο που αναλύθηκε παραπάνω. Αυτά τα δύο ήταν και τα χρονικά παράθυρα στα οποία παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά στο βαθμό του δικτύου από τα υπόλοιπα. Ο κανονικοποιημένος δείκτης έξω-βαθμικής κεντρικότητας για το δίκτυο αυτό είναι 0,0326, ενώ ο δείκτης έσω-βαθμικής κεντρικότητας είναι 0,2826. Γίνεται αντιληπτό πως και σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν λίγοι κόμβοι που συγκεντρώνουν την επίδραση πολλών άλλων. Στα Διαγράμματα 13α και 13β απεικονίζεται το δίκτυο, έχοντας επισημανθεί οι κόμβοι με υψηλή κεντρικότητα έσω ισχύος και έξω ισχύος αντίστοιχα.



Διάγραμμα 13: α) Το δίκτυο το διάστημα 10/03/2020 – 04/06/2020, έχοντας επισημάνει τους κόμβους με τη μεγαλύτερη κεντρικότητα έσω-ισχύος.



β) Το δίκτυο το διάστημα 10/03/2020 – 04/06/2020, έχοντας επισημάνει τους κόμβους με τη μεγαλύτερη κεντρικότητα έξω-ισχύος.

Ο κόμβος προς τον οποίο κατευθύνονται οι περισσότερες ακμές είναι η μετοχή ADBE, της γνωστής εταιρείας Adobe Systems. Ιστορικά, σε αυτό που συνέβη εκείνο το διάστημα με τη μετοχή της Adobe δεν μπορεί να αποδοθεί κάποια ξεχωριστή οικονομική ερμηνεία, καθώς ακολουθούσε την ίδια τάση με την υπόλοιπη αγορά. Είναι παρόλα αυτά άξιο αναφοράς το παρακάτω: Τη μελετώμενη περίοδο ήταν θεσπισμένα παγκοσμίως μέτρα για την πρόληψη της πανδημίας COVID-19, οπότε σε πολλές περιπτώσεις ήταν δύσκολο να υπογραφεί κάποιο έγγραφο με τη φυσική παρουσία του υπογράφοντος. Έτσι, το σύστημα ψηφιακής υπογραφής της Adobe για την υπογραφή ηλεκτρονικών εγγράφων έγινε ιδιαίτερα δημοφιλές εκείνη την περίοδο!

Σημειώνεται δε, πως η Adobe είναι η έβδομη τη τάξει εταιρεία του τομέα τεχνολογίας σε κεφαλαιοποίηση. Οπότε σύμφωνα με το κριτήριο που τέθηκε για επιλογή των μετοχών, θα έμενε κανονικά έξω από αυτή την ανάλυση. Οι δύο από τις πέντε εταιρείες με τη μεγαλύτερη κεφαλαιοποίηση αυτού του τομέα είναι η Visa και η MasterCard. Ωστόσο οι χρονοσειρές των τιμών κλεισίματός τους ξεκινούσαν μετά το σημείο έναρξης της ανάλυσης και συνεπώς εντάχθηκαν στο σύστημα το 2012. Η μία από τις δύο μετοχές που χρησιμοποιήθηκαν για να τις υποκαταστήσουν ώστε να υπάρχουν 5 μετοχές κατά τομέα από την αρχή είναι η μετοχή της Adobe, η οποία παρέμεινε στο σύστημα και μετά την προσθήκη των V και MA. Ως εκ τούτου δόθηκε η ευκαιρία να παρατηρηθεί το φαινόμενο που περιεγράφηκε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ

Ολοκληρώνοντας την εφαρμογή οδηγούμαστε σε μερικά συμπεράσματα τα οποία ως επί το πλείστον σχετίζονται με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των σχέσεων άμεσης αιτιότητας μεταξύ συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης και μετοχών.

Η διάσπαση των χρονοσειρών σε χρονικά παράθυρα συνέβαλε στο να εντοπισθούν οι μεταβολές στη δομή του δικτύου κατά την πάροδο του χρόνου. Χρησιμοποιώντας περιγραφικά μέτρα δικτύων και μέτρα κεντρικότητας δικτύων για να μελετηθούν τα δίκτυα κάθε χρονικού παραθύρου βρέθηκαν κάποια που διέφεραν από τη συνολική εικόνα. Ερευνώντας παράλληλα ιστορικά γεγονότα που συνέβησαν τις περιόδους που εμφανίστηκαν σημαντικές δομικές διαφορές στα δίκτυα, φάνηκε πως οι διαφορές αυτές πάντα παρατηρούνταν σε περιόδους κρίσης. Κάτι τέτοιο δε θα ήταν δυνατό να εντοπισθεί εάν οι χρονοσειρές μελετώνταν συνολικά. Ωστόσο η διαφορετική δομή των δικτύων σε κάθε χρονικό παράθυρο δεν οδήγησε στην εξαγωγή συμπερασμάτων για συγκεκριμένες σχέσεις αιτιότητας μεταξύ δύο χρηματοοικονομικών μέσων που παραμένουν σταθερές στην πάροδο του χρόνου. Αυτό όμως επιβεβαιώνει πως οι χρηματοοικονομικές αγορές είναι δυναμικές και μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά τους στο χρόνο.

Η ανάλυση σε χρονικά παράθυρα μικρότερου μήκους, που επέτρεψε την εστίαση σε πιο συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, συνέβαλε στο να εξετασθούν διεξοδικότερα οι ενδείξεις των στοιχείων που προέκυπταν από την ανάλυση των μεγάλων παραθύρων για έντονες δομικές αλλαγές των δικτύων. Εξετάζοντας τα σημεία όπου υπήρχαν τέτοιες ενδείξεις σε μικρότερο χρονικό ορίζοντα, παρατηρήθηκαν κάποια αξιοσημείωτα γεγονότα τα οποία δεν ήταν δυνατόν να γίνουν αντιληπτά σε μεγαλύτερο χρονικό ορίζοντα.

Μια επιπλέον παρατήρηση γίνεται για τα μέτρα με τα οποία εκτιμάται η αιτιότητα, καθώς διαπιστώθηκαν σημαντικές δομικές διαφορές στα δίκτυα που κατασκευάστηκαν με βάση τις εκτιμήσεις του κάθε μέτρου. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην εξ ορισμού διαφορά των μέτρων που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς το PMIME

εντοπίζει και αιτιότητα που οφείλεται σε μη-γραμμικές σχέσεις, πέρα από γραμμικές, όπως συμβαίνει με τα άλλα δύο. Συμπεραίνουμε πως μερικές από τις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών του συστήματος οφείλονται σε μη-γραμμικές σχέσεις. Γίνεται αντιληπτό πως χρησιμοποιώντας μόνο ένα μέτρο αιτιότητας θα ήταν πιο δύσκολο να εντοπισθούν τα σημεία στα οποία τα δίκτυα διέφεραν σημαντικά. Αυτό διότι παρά τα διαφορετικά αποτελέσματα για τις εκτιμήσεις αιτιότητας μεταξύ μεταβλητών, όταν υπήρχε κάποια αναταραχή κάποια από τα περιγραφικά μέτρα των δικτύων, όπως ο βαθμός, παρουσίαζαν παρόμοια συμπεριφορά.

Η μελέτη κεντρικότητας σε επίπεδο κόμβων για τα μεγάλα χρονικά παράθυρα δεν οδήγησε σε συμπέρασμα για ύπαρξη συγκεκριμένων κόμβων υψηλής κεντρικότητας ανά το χρόνο, καθώς τόσο μεταξύ διαφορετικών παραθύρων, όσο και μεταξύ των δικτύων που κατασκευάστηκαν από διαφορετικά μέτρα για το ίδιο παράθυρο οι κεντρικοί κόμβοι ήταν διαφορετικοί. Ωστόσο η μελέτη της βαθμικής κεντρικότητας σε επίπεδο δικτύου συνέβαλε στο να εντοπισθούν περίοδοι αναταραχής. Δεδομένης της πολύ μικρής πυκνότητας των ακμών των δικτύων σε συνδυασμό με το μεγάλο πλήθος απομονωμένων κόμβων, η κεντρικότητα εγγύτητας και η ενδιάμεση κεντρικότητα δεν ήταν δυνατόν να δώσουν κάποιο ουσιαστικό αποτέλεσμα. Η κεντρικότητα κόμβων αποδείχθηκε χρήσιμη για τον εντοπισμό εκείνων που προκαλούσαν τις δομικές διαφορές στα μικρά χρονικά παράθυρα.

Όσον αφορά την παρουσία τόσο συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης και μετοχών στο μελετώμενο σύστημα, φάνηκε πως είναι χρήσιμο να περιληφθούν μεταβλητές και από τις δύο κατηγορίες, καθώς ένα μεγάλο μέρος των σχέσεων άμεσης αιτιότητας που διαπιστώθηκαν ήταν ανάμεσα σε χρηματοοικονομικά μέσα από τις δύο διαφορετικές κατηγορίες.

6.2. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης, κρίνεται πως θα έχει ερευνητικό ενδιαφέρον να προσεγγισθούν περισσότερο οι σχέσεις μεταξύ διαφορετικών χρηματοοικονομικών μέσων, είτε πρωτογενών, είτε παραγώγων. Προτείνονται μελέτες που θα περιλαμβάνουν μετοχές και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης, καθώς από ό,τι φάνηκε στη μελέτη αυτή υπάρχει νόημα για την από κοινού ανάλυση των δύο.

Συγκεκριμένα θα μπορούσαν να σχηματιστούν συστήματα που περιλαμβάνουν μετοχές μόνο από έναν τομέα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης με υποκείμενο μέσο εμπορεύματα και αυτό να επαναληφθεί ώστε να μελετώνται κάθε φορά μετοχές μόνο ενός τομέα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης. Με αυτόν τον τρόπο ίσως διαπιστωθεί κάποια πιο συγκεκριμένη σχέση που διέπει τις δύο κατηγορίες.

Επίσης φάνηκε να αποδίδει η μέθοδος μελέτης με μεγάλα και μικρά χρονικά παράθυρα. Ωστόσο στα μικρά παράθυρα το πλήθος των παρατηρήσεων δεν ήταν σημαντικά μεγαλύτερο από το πλήθος των μεταβλητών και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα μέτρα αιτιότητας, καθώς οι εκτιμήσεις τους δε θα ήταν αξιόπιστες. Με βάση κάποιο διαφορετικό κριτήριο επιλογής μεταβλητών, όπως αυτό που προτάθηκε παραπάνω, το πλήθος των μεταβλητών μπορεί να μειωθεί και να είναι δυνατή η μελέτη σε μικρότερα παράθυρα με περισσότερους τρόπους.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γαλιάτσος Κ. (2010). *Βασικές Γνώσεις Επενδυτικής Τραπεζικής: Λήψη και Διαβίβαση Εντολών* (4η έκδοση). Αθήνα: ΕΕΤ/ΕΤΙ.
- Νικολόπουλος Σ., Γεωργιάδης Λ., Παληός Λ. (2015). *Αλγοριθμική θεωρία γραφημάτων*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Ανακτήθηκε από: <http://hdl.handle.net/11419/2067>
- Πολυμένης Β. (2013). *Εισαγωγή στη Χρηματοοικονομική Ανάλυση*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σοφία.
- Σαριαννίδης Ν., Κοντέος Γ., Λαζαρίδης Θ. (2013). *Στατιστική και Οικονομετρία: Θεωρία και εφαρμογές*. (1η έκδοση). Κοζάνη: Συγγραφείς.
- Χριστόπουλος Α., Ντόκας Ι. (2012). *Θέματα Τραπεζικής και Χρηματοοικονομικής Θεωρίας*. Αθήνα: Εκδόσεις Κριτική.
- Bavelas A. (1950). Communication Patterns in Task-Oriented Groups. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22(6), pp 725–730. DOI:10.1121/1.1906679
- Bekiros S., Nguyen D.K., Sandoval L.jr., Uddin G.S. (2017). Information Diffusion, Cluster formation and Entropy-based Network Dynamics in Equity and Commodity Markets. *European Journal of Operational Research*, 256(3), pp 945-961. DOI:10.1016/j.ejor.2016.06.052
- Benjamini Y., Hochberg Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 57(1), pp 289–300. DOI:10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x
- Biggs N., Lloyd K.E., Wilson R.J. (1986). *Graph Theory, 1736-1936*. Οξφόρδη: Oxford University Press. Ανακτήθηκε από: books.google.com.na/books
- Bonanno G., Caldarelli G., Lillo F. et al. (2004). Networks of equities in financial markets. *Eur. Phys. J. B*, 38, pp 363–371. DOI:10.1140/epjb/e2004-00129-6
- Brealey R., Myers S., Allen F. (2011). *Principles of Corporate Finance* (10η έκδοση). Νέα Υόρκη: McGraw-Hill/Irwin.
- Diebold F.X., Yilmaz K. (2008). Measuring Financial Asset Return and Volatility Spillovers, with Application to Global Equity Markets. *The Economic Journal*, 119(534), pp 158–171. DOI:10.1111/j.1468-0297.2008.02208.x

- Freeman L. C. (1977). A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. *Sociometry*, 40(1), pp 35-41. DOI:10.2307/3033543
- Freeman L. C., (1978/1979). Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification, *Social Networks*, 1(3), pp 215-239. DOI:10.1016/0378-8733(78)90021-7
- Geweke J. F. (1984). Measures of Conditional Linear Dependence and Feedback between Time Series. *Journal of the American Statistical Association*, 79(388), pp 907-915. DOI:10.1080/01621459.1984.10477110
- Granger C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424-438. DOI:10.2307/1912791
- Johnson L. L. (1960). The Theory of Hedging and Speculation in Commodity Futures. *The Review of Economic Studies*, 27(3), pp 139-151. DOI:10.2307/2296076
- Keynes J.M. (1936). *The General Theory of Employment, Interest and Money*. London: Macmillan.
- König M.D., Battiston S. (2009). From Graph Theory to Models of Economic Networks. A Tutorial. In: Naimzada A.K., Stefani S., Torriero A. (eds) *Networks, Topology and Dynamics. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol 613. Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg. DOI:10.1007/978-3-540-68409-1_2
- Kholdy S., Sohrabian A. (1990). Exchange Rates and Prices: Evidence from Granger Causality Tests. *Journal of Post Keynesian Economics*, 13(1), pp 71-78. DOI:10.1080/01603477.1990.11489832
- Kugiumtzis D. (2013). Direct-Coupling Information Measure from Nonuniform Embedding. *Physical Review E*, 87(6), 062918. DOI:10.1103/PhysRevE.87.062918
- Opsahl T., Agneessens F., Skvoretz J. (2010). Node Centrality in Weighted Networks: Generalizing Degree and Shortest Paths. *Social Networks*, 32(3), pp 245-251. DOI:10.1016/j.socnet.2010.03.006
- Papana A., Kugiumtzis D. and Larsson P. G. (2012). Detection of Direct Causal Effects and Application to Epileptic Electroencephalogram Analysis. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 22(09), 1250222. DOI:10.1142/s0218127412502227
- Pindyck R.S. (2001). The Dynamics of Commodity Spot and Futures Markets: A Primer. *The Energy Journal*, 22(3), pp 1-29. DOI:10.2307/41322920
- Reichsfeld D., Roache S. (2011). Do Commodity Futures Help Forecast Spot Prices? *IMF Working Paper*, WP/11/254. Ανακτήθηκε από: citeseerx.ist.psu.edu

- Sandoval L. jr. (2013). Cluster formation and evolution in networks of financial market indices. *Algorithmic Finance*, 2(1), pp 3-43. DOI: 10.3233/AF-13015
- Schreiber T. (2000). Measuring Information Transfer. *Physical Review Letters*, 85 (2), pp 461-464. DOI:10.1103/PhysRevLett.85.461
- Shaw M. E. (1954). Group Structure and the Behavior of Individuals in Small Groups. *The Journal of Psychology*, 38(1), pp 139-149. DOI:10.1080/00223980.1954.9712925
- Sigiridou E., Kugiumtzis D. (2016). Granger Causality in Multivariate Time Series Using a Time-Ordered Restricted Vector Autoregressive Model. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 64(7), pp 1759-1773. DOI:10.1109/tsp.2015.2500893
- Simon H. A. (1954). Spurious Correlation: A Causal Interpretation. *Journal of the American Statistical Association*, 49(267), pp 467-479. DOI:10.1080/01621459.1954.10483515
- Tumminello M., Di Matteo T., Aste T., Mantegna R.N. (2007). Correlation based networks of equity returns sampled at different time horizons. *Eur. Phys. J. B*, 55, pp 209-217. DOI: 10.1140/epjb/e2006-00414-4
- Vlachos I., Kugiumtzis D. (2010). Nonuniform State-Space Reconstruction and Coupling Detection. *Physical Review E*, 82(1), 016207. DOI:10.1103/physreve.82.016207
- Westfall P.H., Young S.S. (1993). *Resampling-Based Multiple Testing: Examples and Methods for p-Value Adjustment*. Νέα Υόρκη: John Wiley & sons. Ανακτήθηκε από: books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=nuQXORVGI1QC
- Xiao B., Yu H., Fang L., Ding S. (2019). Estimating the connectedness of commodity futures using a network approach. *The Journal of Futures Markets*, 40(4), pp 598-616. DOI:10.1002/fut.22086

Ιστότοποι

[capital.com](https://www.capital.com)

finance.yahoo.com

www.barchart.com

www.investopedia.com

www.slickcharts.com