



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
“ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ  
ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ”**

**ΤΙΤΛΟΣ:**

**“ Μεταδόσεις μεταβλητότητας μεταξύ των αγορών μετοχών και ενέργειας:  
τάσεις και απειλές ”**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΠΛΟΥΜΙΣΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: 09320032**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΤΣΑΜΠΟΞΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

*Αθήνα, 2023*



## Ευχαριστίες

Θέλω να ζητήσω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους φίλους μου και την οικογένειά μου που με στηρίζουν και βρίσκονται παρόντες κάθε φορά που τους χρειάζομαι.

Θέλω επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου και στον επιβλέποντα καθήγητή μου, κος Κατσαμποξάκη Ιωάννη, που κατέστη αρωγός για την διεκπεραίωση της διπλωματικής αυτής.

Τέλος, θέλω να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον πατέρα μου που χωρίς την καθοδήγησή του δεν θα είχα καταφέρει να φτάσω στο σημείο που είμαι σήμερα.

*Η διπλωματική αυτή είναι αφιερωμένη στον πατέρα μου,*

*Δημήτριος του Γεωργίου Πλουμιστός (Κριός)*

## Περίληψη

Αυτή η εργασία χρησιμοποιεί ένα γενικευμένο πλαίσιο διανυσματικού αυτοπαλίνδρομου μοντέλου (VAR) που εξασφαλίζει ότι οι αναλύσεις διακύμανσης του σφάλματος πρόβλεψης παραμένουν συνεπείς ανεξάρτητα από τη σειρά των μεταβλητών. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, ποσοτικοποιούμε τις συνολικές και κατευθυντικές επιπτώσεις διασποράς της μεταβλητότητας μεταξύ των αγορών ενέργειας και χρηματιστηριακών δεικτών, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους κρίσης. Η έρευνα αποκαλύπτει εντυπωσιακές ομοιότητες στον τρόπο με τον οποίο η πανδημία Covid-19 και η συνεχιζόμενη σύγκρουση Ρωσίας-Ουκρανίας επηρέασαν τόσο τις αγορές ενέργειας όσο και τις αγορές χρηματιστηριακών δεικτών. Συγκεκριμένα, όλες οι χρηματιστηριακές αγορές αναγνωρίζονται ως παραλήπτες μεταβλητότητας που προέρχεται από τις αγορές ενέργειας κατά τη διάρκεια αυτών των κρίσεων, με την εξαίρεση των πρώιμων σταδίων κοινωνικοοικονομικής αναταραχής κατά τα οποία οι τοπικές χρηματιστηριακές αγορές που συνδέονται άμεσα με την αναταραχή εκδηλώνουν χαρακτηριστικά καθαρών συνεσφορέων μεταβλητότητας. Επιπλέον, τα ευρήματά μας υπογραμμίζουν ότι, κατά μέσο όρο, το φυσικό αέριο έχει αναδειχθεί σε σημαντική πηγή μη φυσιολογικής μετάδοσης μεταβλητότητας τα τελευταία χρόνια.

## Abstract

This paper employs a generalized vector autoregressive framework that ensures forecast-error variance decompositions remain consistent regardless of variable ordering. Within this framework, we quantify the overall and directional spillover effects of volatility between energy and stock markets, particularly during crisis periods. The research uncovers striking similarities in how the Covid-19 pandemic and the ongoing Russia-Ukraine conflict influenced both energy and stock markets. Notably, all stock markets are identified as recipients of volatility originating from energy markets during these crises with the exception be the early stages of socioeconomic turbulence in which local stock markets directly linked to the disorder exhibit characteristics of being net contributors of volatility. Furthermore, our findings highlight that, on average, natural gas has emerged as a substantial source of abnormal volatility transmission in recent years.

## Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	9
2. Επισκόπηση βιβλιογραφίας.....	10
3. Μια ανάλυση πάνω στις Χρονοσειρές.....	14
3.1 Εισαγωγικές έννοιες για την ανάλυση Χρονοσειρών.....	14
3.2 Στοχαστική διαδικασία.....	14
3.2.1 Χώρος Πιθανότητας.....	15
3.2.2 Τυχαία Μεταβλητή.....	15
3.3 Στασιμότητα στις Χρονοσειρές.....	15
3.4 Έλεγχοι Στασιμότητας.....	16
3.4.1 Σύγκριση της δοκιμής Dickey-Fuller και της δοκιμής ADF.....	16
3.4.2 Augmented Dickey-Fuller έλεγχος.....	16
3.4.3 Δοκιμή Phillips-Perron.....	17
4. Επισκόπηση μοντέλου.....	17
4.1 Μοντέλο VAR.....	19
4.2 Επιλογή βέλτιστης υστέρησης.....	20
4.3 Μετατροπή ενός μοντέλου VAR σε μοντέλο VMA.....	20
4.4 Συναρτήσεις Δυναμικών Αποκρίσεων.....	21
4.4.1 Δομικές Συναρτήσεις Δυναμικών Αποκρίσεων.....	21
4.4.2 Γενικευμένες Συναρτήσεις Δυναμικών Αποκρίσεων.....	22
4.4.3 Μαθηματική έκφραση των ορθογώνιων και γενικών συναρτήσεων απόκρισης.....	22
4.4.4 Ανάλυση της διακύμανσης των λαθών πρόβλεψης (FEVD).....	25
4.6 Συνολοκλήρωση στις χρονοσειρές.....	26
4.7 Διανυσματικά Υποδείγματα Διόρθωσης Λαθών (VECM).....	27
4.8 Μεθοδολογία Συνολοκλήρωσης των Engle και Granger.....	27
4.8.1 Βασικά βήματα της δοκιμής Engle-Granger.....	27
4.9 Μεθοδολογία Johansen για Συνολοκλήρωση.....	29
4.11 Δείκτης "Spillover" Diebold και Yilmaz.....	32
4.11.1 Ποσοστό Διακύμανσης.....	33
4.11.2 Συνολικός Δείκτη Διασποράς Μεταβλητότητας (Total spillovers effects).....	34
4.11.3 Κατευθυνόμενα spillovers effects (Directional Spillover effects).....	34
4.11.4 Καθαρά spillover (Net spillovers).....	35
4.11.5 Καθαρές αμοιβαία spillover (Net pairwise spillovers effects).....	35
5. Ανάλυση των δεδομένων.....	35
6. Εμπειρική Ανάλυση.....	38
6.1 Ανάλυση μεταβλητότητας σε λογαριθμική κλίμακα.....	38

6.2	Μήτρα Συσχετίσεων .....	48
6.3	Τεστ μοναδιαίας ρίζας και στασιμότητας.....	50
6.4	Επιλογή βέλτιστου αριθμού υστερήσεων.....	51
6.5	Spillover Πίνακας Πλήρους Δείγματος (Full Sample Spillover Table) .....	52
6.6	Connectedness Πίνακας Πλήρους Δείγματος (Full Sample Connectedness Table).....	54
6.7	Πλήρης δείγμα FEVD ως δίκτυο .....	56
6.8	Διάγραμμα μετάδοσης συνολικής μεταβλητότητας κινούμενου δείγματος .....	57
6.9	Συνολική Κατευθυνόμενη Διασύνδεση και Μετάδοση (Total Directional Connectedness and Spillover) .....	63
6.9.1	Μετάδοση μεταβλητότητας (Volatility Giving).....	64
6.9.2	Λήψη μεταβλητότητας (Volatility Receiving) .....	65
6.9.3	Καθαρή μεταβλητότητας (Net Volatility).....	66
6.10	Καθαρά κατά ζεύγη αποτελέσματα μετάδοσης και διασύνδεση χρησιμοποιώντας εκτιμήσεις κυλιόμενου παραθύρου.....	67
6.10.1	Κατά ζεύγη αποτέλεσμα μετάδοσης από τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στους δείκτες των χρηματιστηριακών αγορών .....	68
6.10.2	Κατά ζεύγη αποτελέσματα μετάδοσης μεταξύ των αγορών ενέργειας .....	73
6.10.3	Κατά ζεύγη αποτελέσματα μετάδοσης μεταξύ αργού πετρελαίου και χρηματιστηρίων 76	
6.10.4	Κατά ζεύγη αποτελέσματα μετάδοσης μεταξύ του χρυσού των χρηματιστηρίων και δεικτών ενέργειας .....	79
7.	Συμπέρασμα .....	83
8.	Βιβλιογραφία.....	85

Εικόνα 1:	Βασικές στατιστικές μετρήσεις για τις μεταβλητές .....	38
Εικόνα 2:	Μεταβλητότητα σε λογαριθμική κλίμακα αργού πετρελαίου .....	39
Εικόνα 3:	Λογαριθμική Διακύμανση των Μελλοντικών Συμβολαίων Φυσικού Αερίου .....	40
Εικόνα 4:	Λογαριθμική μεταβλητότητα μελλοντικών συμβολαίων πετρελαίου Brent .....	41
Εικόνα 5:	Λογαριθμική μεταβλητότητα του S&P 500 .....	42
Εικόνα 6:	Λογαριθμική μεταβλητότητα του Nikkei 225 .....	43
Εικόνα 7:	Λογαριθμική μεταβλητότητα του ρωσικού χρηματιστηρίου .....	44
Εικόνα 8:	Λογαριθμική μεταβλητότητα του FTSE 100 .....	45
Εικόνα 9:	Λογαριθμική μεταβλητότητα του σύνθετου δείκτη του χρηματιστηρίου της Σαγκάης .....	46
Εικόνα 10:	Λογαριθμική μεταβλητότητα της συναλλαγματικής ισοτιμίας EUR προς RUB .....	47
Εικόνα 11:	Λογαριθμική μεταβλητότητα των μελλοντικών συμβολαίων χρυσού .....	48
Εικόνα 12:	Μήτρα Συσχετίσεων .....	49
Εικόνα 13:	Augmented Dickey-Fuller test .....	50
Εικόνα 14:	Phillips-Perron test .....	51
Εικόνα 15:	Βέλτιστος αριθμός υστερήσεων .....	52

Εικόνα 16: Spillover Πίνακας Πλήρους Δείγματος (Full Sample Spillover Table)	52
Εικόνα 17: Connectedness Πίνακας Πλήρους Δείγματος (Full Sample Connectedness Table)	54
Εικόνα 18: FEVD ως δίκτυο	57
Εικόνα 19: Διάγραμμα μετάδοσης συνολικής μεταβλητότητας κινούμενου δείγματος	58
Εικόνα 20: Interconnectedness 01/03/22	61
Εικόνα 21: Interconnectedness 11/03/20	62
Εικόνα 22: Interconnectedness 01/11/20	63
Εικόνα 23: Συνολική Κατευθυνόμενη Διασύνδεση και Μετάδοση (Total Directional Connectedness and Spillover)	64
Εικόνα 24: Λήψη μεταβλητότητας (Volatility Receiving)	65
Εικόνα 25: Καθαρή μεταβλητότητας (Net Volatility)	66
Εικόνα 26: Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον S&P 500	68
Εικόνα 27:: Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον χρηματιστηριακό δείκτη της Ρωσίας	69
Εικόνα 28: Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον FTSE 100	70
Εικόνα 29: : Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον χρηματιστηριακό δείκτη της Σαγκάης	71
Εικόνα 30: Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον χρηματιστηριακό δείκτη στον Nikkei 225	72
Εικόνα 31: Διμερείς διασυνδέσεις φυσικού αερίου σε αργό πετρέλαιο Brent	73
Εικόνα 32: Διμερείς διασυνδέσεις φυσικού αερίου σε αργό πετρέλαιο WTI	74
Εικόνα 33: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου WTI σε αργό πετρέλαιο Brent	75
Εικόνα 34: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου WTI στον S&P 500	76
Εικόνα 35: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου Brent στον FTSE 100	77
Εικόνα 36: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου WTI στον MOEX δείκτη	77
Εικόνα 37: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου WTI στον SEE Composite δείκτη	78
Εικόνα 38: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου Brent στον Nikkei 225	79
Εικόνα 39: Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον χρυσό	79
Εικόνα 40: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου Brent στον χρυσό	80
Εικόνα 41: : Διμερείς διασυνδέσεις του S&P 500 στον χρυσό	81
Εικόνα 42: Διμερείς διασυνδέσεις του MOEX δείκτη της Ρωσίας στον χρυσό	82
Εικόνα 43: Διμερείς διασυνδέσεις του Nikkei 225 δείκτη της Ρωσίας στον χρυσό	83



## 1. Εισαγωγή

Η διασυνδεσιμότητα των αγορών ενέργειας και χρηματιστηριακών δεικτών αποτελεί εδώ και καιρό αντικείμενο ακαδημαϊκής έρευνας, με πιθανές επιπτώσεις στη παγκόσμια οικονομική σταθερότητα. Αυτή η διατριβή χρησιμοποιεί ένα γενικευμένο πλαίσιο διανυσματικού αυτοπαλίνδρομου μοντέλου (VAR) σχεδιασμένο για να διατηρεί συνεπείς αναλύσεις διακύμανσης του σφάλματος πρόβλεψης, ανεξάρτητα από τη σειρά των μεταβλητών. Το επίκεντρό μας είναι να αποκαλύψουμε τις περίπλοκες δυναμικές των διασπορών μεταβλητότητας μεταξύ των αγορών ενέργειας και χρηματιστηριακών δεικτών, ιδιαίτερα κατά τις κρίσιμες περιόδους, όπως η πανδημία Covid-19 και η συνεχιζόμενη σύγκρουση Ρωσίας-Ουκρανίας.

Στην έρευνά μας, εντοπίζουμε αξιοσημείωτους παραλληλισμούς στον αντίκτυπο αυτών των κρίσεων τόσο στις αγορές ενέργειας όσο και στις αγορές χρηματιστηριακών δεικτών. Αυτό που προκύπτει είναι μια πειστική αφήγηση όπου όλες οι χρηματιστηριακές αγορές εμφανίζονται ως παραλήπτες μεταβλητότητας που προέρχεται από τις αγορές ενέργειας κατά τις περιόδους αναταραχής. Ωστόσο, μια λεπτοφυής παρατήρηση προκύπτει στα πρώιμα στάδια κοινωνικοοικονομικής αναταραχής, αποκαλύπτοντας ότι οι τοπικές χρηματιστηριακές αγορές που συνδέονται άμεσα με την αναταραχή εκδηλώνουν χαρακτηριστικά καθαρών συνεσφορέων μεταβλητότητας στις αγορές ενέργειας.

Μια κρίσιμη πτυχή της έρευνάς μας είναι η διάκριση του φυσικού αερίου ως σημαντικής πηγής μη φυσιολογικής μετάδοσης μεταβλητότητας τα τελευταία χρόνια. Αυτό το εύρημα προσθέτει ένα επίπεδο πολυπλοκότητας στο υπάρχον σώμα της βιβλιογραφίας που υποδηλώνει πιθανές συνδέσεις μεταξύ των αγορών ενέργειας και χρηματιστηριακών δεικτών, όπως επισημάνθηκε από τους Campbell και Hentschel (1992) και άλλους. Οι χρηματοοικονομικές επιπτώσεις τέτοιων διασυνδέσεων είναι ουσιώδεις, με τις διαταραχές σε μία αγορά να ενισχύουν ενδεχομένως τα κόστη χρηματοδότησης των εταιρειών και να προκαλούν εξαιρετικά ασταθείς διαταραχές.

Οι συνέπειες του πολέμου Ρωσίας-Ουκρανίας αποτελούν ένα συγκριτικό υπόβαθρο, υπογραμμίζοντας τις βαθιές επιπτώσεις των αναταράξεων στις αγορές πετρελαίου και φυσικού αερίου τόσο στο μακροοικονομικό όσο και στο μικροοικονομικό τοπίο. Από τον αυξημένο πληθωρισμό λόγω των ανισορροπιών προσφοράς και ζήτησης έως τις άμεσες επιπτώσεις στις βιομηχανίες που βασίζονται στο φυσικό αέριο ως πηγή ενέργειας, το οικονομικό κύμα είναι τεράστιο. Επιπλέον, η πιθανότητα ενός σημαντικού σοκ προσφοράς ως αποτέλεσμα των αυξημένων τιμών της ενέργειας έχει επιπτώσεις στο σύνολο της οικονομίας, επηρεάζοντας την παραγωγικότητα, το εμπόριο και την οικονομική ευρωστία των νοικοκυριών.

Για τη διεξαγωγή αυτής της ολοκληρωμένης ανάλυσης, η μεθοδολογία μας αντλεί έμπνευση από τα έργα των Diebold και Yilmaz, ιδιαίτερα από τον δείκτη τους για την ποσοτικοποίηση του αντίκτυπου των σφαλμάτων πρόβλεψης στις εξαρτημένες μεταβλητές σε ένα διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο. Το χρονικό πλαίσιο για την ανάλυση χρονοσειρών μας εκτείνεται από τις 2 Ιανουαρίου 2018 έως τις 31 Μαΐου 2023, χρησιμοποιώντας ημερήσιες τιμές που εκφράζονται σε δολάρια ΗΠΑ από το Yahoo Finance.

Στην ουσία, αυτή η διατριβή συνεισφέρει στο υπάρχον σώμα της βιβλιογραφίας σχετικά με τη μετάδοση κινδύνου κατά τις κρίσεις, προσφέροντας γνώσεις σχετικά με τις επιπτώσεις της

πανδημίας Covid-19 και της σύγκρουσης Ρωσίας-Ουκρανίας στις αγορές ενέργειας και χρηματιστηριακών δεικτών. Μέσω της εμπειρικής έρευνας, αποκαλύπτουμε την περίπλοκη σχέση μεταξύ αυτών των αγορών, ρίχνοντας φως στις λεπτομέρειες των διασπορών μεταβλητότητας κατά τη διάρκεια περιόδων οικονομικής αναταραχής.

## 2. Επισκόπηση βιβλιογραφίας

Υπάρχει πληθώρα ακαδημαϊκών άρθρων που υποδηλώνουν πιθανές συνδέσεις μεταξύ της ενέργειας και των χρηματιστηριακών αγορών, καθώς οι χρηματοοικονομικές επιπτώσεις τυχόν αλληλεξαρτήσεων μεταξύ αυτών των αγορών θα μπορούσαν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, οι Campbell και Hentschel (1992) και άλλοι έχουν υποστηρίξει ότι η πιθανή συσχέτιση μεταξύ της ενέργειας και των χρηματιστηριακών αγορών θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση του κόστους χρηματοδότησης των επιχειρήσεων, καθώς θα μπορούσαν να προκληθούν έντονες και ασταθείς διαταραχές στην τελευταία αγορά όταν συμβαίνει ένα γεγονός υψηλής αστάθειας στην πρώτη. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως ανάδραση αστάθειας (volatility feedback).

Μετά το ξέσπασμα του πολέμου στην Ουκρανία, κατέστη σαφές ότι οι αναταράξεις στις αγορές πετρελαίου και φυσικού αερίου μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο μακροοικονομικό και μικροοικονομικό τοπίο. Για παράδειγμα, οι αιχμές στις τιμές του πετρελαίου μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση του πληθωρισμού λόγω των ανισοροπιών μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, όπως τεκμηριώνεται από τον Kilian (2008, 2009). Οι αναταράξεις στις τιμές του φυσικού αερίου μπορούν επίσης να επηρεάσουν άμεσα τις βιομηχανίες που βασίζονται στο φυσικό αέριο ως πηγή ενέργειας. Επιπλέον, ένα σημαντικό σοκ προσφοράς θα μπορούσε να προκύψει από μια αύξηση στις τιμές της ενέργειας που θα μπορούσε να επηρεάσει την δυνητική παραγωγή της οικονομίας. Η οικονομική αιτιολόγηση πίσω από αυτή την δήλωση μπορεί να αντληθεί από το γεγονός ότι μια αύξηση στις τιμές του πετρελαίου μειώνει την συνολική παραγωγικότητα των παραγωγικών συντελεστών, καθώς οι υψηλότερες τιμές του πετρελαίου οδηγούν στην απαξίωση της ενεργοβόρου τεχνολογίας παραγωγής, με αποτέλεσμα τη μείωση της προστιθέμενης αξίας από την παραγωγή. Επιπλέον, μια αύξηση στις τιμές της ενέργειας θα μπορούσε να επηρεάσει το κόστος μεταφοράς των αγαθών, λόγω των υψηλότερων τιμών του πετρελαίου, και ως εκ τούτου, θα μπορούσε να παρατηρηθεί μείωση της παραγωγικότητας και της οικονομικής ανάπτυξης, καθώς ο όγκος των εμπορεύσιμων αγαθών παγκοσμίως μειώνεται. Τέλος, οι αυξημένες τιμές της ενέργειας και το κόστος μεταφοράς των αγαθών θα μπορούσαν να έχουν άμεση επίδραση στην οικονομική ευρωστία των νοικοκυριών και την αγορά εργασίας, καθώς το υψηλότερο κόστος των επιχειρήσεων θα μπορούσε να οδηγήσει σε μαζικές απολύσεις σε μια προσπάθεια διατήρησης των κερδών της εταιρείας.

Διάφορες μελέτες έχουν εξετάσει τη συσχέτιση μεταξύ του πετρελαίου και των χρηματιστηριακών αγορών. Για παράδειγμα, ο Sadorsky (1999) μέσω της χρήσης των μοντέλων Vector Autoregressive (VAR) και Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH) αναλύει τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών του αργού πετρελαίου και της χρηματιστηριακής αγοράς των ΗΠΑ. Η μελέτη του εντοπίζει μια αιτιακή σχέση μεταξύ των αποδόσεων των χρηματιστηριακών δεικτών και της τιμής του πετρελαίου και της μεταβλητότητας της τιμής του πετρελαίου. Επιπλέον, η μελέτη υποδηλώνει ότι αυτή η διακριτή συσχέτιση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών των μετοχών. Ομοίως, οι Jones και Kaul (1996) υποστηρίζουν, μέσω της έρευνάς τους, ότι οι διαταραχές στις τιμές του πετρελαίου αποτελούν σημαντικό παράγοντα

μεταβλητότητας στις πραγματικές ταμειακές ροές των τιμών των μετοχών των Ηνωμένων Πολιτειών και του Καναδά. Αντίθετα, οι Huang et al. (1996), χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο VAR, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι αποδόσεις των μελλοντικών συμβολαίων πετρελαίου δεν συσχετίζονται με τον χρηματιστηριακό δείκτη S&P 500 και υποστηρίζουν ότι λόγω αυτής της έλλειψης συσχέτισης τα μελλοντικά συμβόλαια πετρελαίου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς διαφοροποίησης μετοχών.

Πολλές μελέτες έχουν εξερευνήσει τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών του πετρελαίου και των χρηματιστηριακών αγορών μετά τις πρωτοποριακές, προαναφερθείσες έρευνες. Οι Arouri et al. (2012), χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο Vector Autoregressive-Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (VAR-GARCH), εξετάζουν τη μετάδοση της μεταβλητότητας μεταξύ των αγορών πετρελαίου και μετοχών στην Ευρώπη για την περίοδο Ιανουάριος 1998 έως Δεκέμβριος 2009. Η έρευνά τους καταλήγει στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν σημαντικά αποτελέσματα μετάδοσης της μεταβλητότητας μεταξύ των αγορών πετρελαίου και μετοχών στην Ευρώπη, με τα αποτελέσματα της διασποράς να είναι πιο εμφανή από τις αγορές πετρελαίου στις αγορές μετοχών. Ομοίως, οι Mensi et al. (2013) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο VAR-GARCH για να μελετήσουν τη μετάδοση της μεταβλητότητας μεταξύ της χρηματιστηριακής αγοράς των ΗΠΑ και των αγορών εμπορευμάτων, συμπεριλαμβανομένου του αργού πετρελαίου, των τροφίμων, του χρυσού και των ποτών, και διαπίστωσαν ότι τα εμπορεύματα παρέχουν οφέλη διαφοροποίησης στα χαρτοφυλάκια μετοχών. Οι Wang et al. (2013) χρησιμοποίησαν ένα διαρθρωτικό μοντέλο VAR για να αποκαλύψουν ότι η δυναμική μεταξύ των αγορών πετρελαίου και μετοχών εξαρτάται από το αν η χώρα είναι καθαρός εισαγωγέας ή εξαγωγέας πετρελαίου. Επιπλέον, οι Arouri και Rault (2012) διερεύνησαν τη σχέση μεταξύ των τιμών του πετρελαίου και των μετοχών στις χώρες εξαγωγής πετρελαίου του Συμβουλίου Συνεργασίας του Κόλπου (GCC) και κατέδειξαν μια θετική συσχέτιση.

Πρόσφατες μελέτες έχουν αναλύσει τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών του πετρελαίου και των χρηματιστηριακών αγορών χρησιμοποιώντας ανάλυση wavelet σε πολλαπλές χρονικές κλίμακες. Ο Jammazi και ο Reboredo (2016), οι Cai et al. (2017) και οι Lin et al. (2019) είναι μερικοί από εκείνους που έχουν συνεισφέρει σε αυτό το σώμα της βιβλιογραφίας. Σύμφωνα με τους Cai et al. (2017), η μακροπρόθεσμη σχέση μεταξύ των τιμών του πετρελαίου και των χρηματιστηριακών αγορών στην Ανατολική Ασία συσχετίζεται σημαντικά χρησιμοποιώντας ανάλυση wavelet.

Προηγούμενες περιπτώσεις χρηματοοικονομικής αναταραχής οδήγησαν σε εκτεταμένη έρευνα σχετικά με τη διασυνδεσιμότητα, τη μετάδοση και τις επιπτώσεις διασποράς μεταξύ των αγορών πετρελαίου και χρηματοοικονομικών αγορών. Διάφορες μελέτες, συμπεριλαμβανομένων των Mensi et al. (2018), Awartani and Maghyereh (2013) και Zhang and Hamori (2021), υποστηρίζουν την υπόθεση της μετάδοσης και διαπίστωσαν αύξηση της συνκίνησης μεταξύ των αγορών εμπορευμάτων και μετοχών μετά την παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση (GFC). Για παράδειγμα, οι Mensi et al. (2018) χρησιμοποίησαν μεθόδους wavelet και VAR-based wavelet για να εξετάσουν τη σχέση μεταξύ του αργού πετρελαίου, του χρυσού και των χρηματιστηριακών αγορών των χωρών BRICS. Διαπίστωσαν σημαντικές συνκινήσεις σε χαμηλές συχνότητες, οι οποίες εντάθηκαν μετά την παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση. Ομοίως, οι Zhang και Hamori (2021) ανέλυσαν τη σχέση πετρελαίου-μετοχών στη Γερμανία, την Ιαπωνία και τις ΗΠΑ και διαπίστωσαν βραχυπρόθεσμες διασπορές αποδόσεων και μακροπρόθεσμες διασπορές μεταβλητότητας μεταξύ των αγορών πετρελαίου και μετοχών, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της παγκόσμιας χρηματοοικονομικής κρίσης. Οι Awartani και Maghyereh (2013) και οι Wen et al. (2019)

παρατήρησαν επίσης μια παρόμοια ενίσχυση της συνκίνησης μεταξύ των τιμών του πετρελαίου και των μετοχών στις χώρες του Συμβουλίου Συνεργασίας του Κόλπου (GCC) την περίοδο μετά την παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση.

Λόγω της ευρείας επίδρασης του COVID-19, έχει προκύψει ένα νέο πεδίο έρευνας που εξερευνά τις αλληλεπιδράσεις και τη δυναμική μεταξύ των χρηματοπιστωτικών αγορών και των τιμών του πετρελαίου. Οι Sharif et al. (2020) διερεύνησαν τις συνκινήσεις μεταξύ των εμπορευμάτων, των μετοχών και της αβεβαιότητας της οικονομικής πολιτικής στις ΗΠΑ κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19. Χρησιμοποίησαν τις μεθόδους wavelet συνοχής και wavelet-based Granger causality και διαπίστωσαν ότι οι κλυδωνισμοί του COVID-19 και οι τιμές του πετρελαίου είχαν σημαντικό αντίκτυπο στη μεταβλητότητα της χρηματιστηριακής αγοράς στις χαμηλές συχνότητες. Η εξάπλωση του COVID-19 είχε αισθητά μεγαλύτερη επίδραση στον γεωπολιτικό κίνδυνο και την οικονομική αβεβαιότητα στις ΗΠΑ παρά στη χρηματιστηριακή αγορά της χώρας. Ομοίως, οι Mensi et al. (2021a) διαπίστωσαν αύξηση των βραχυπρόθεσμων διασπορών μεταξύ των μελλοντικών συμβολαίων πετρελαίου και των χρηματιστηριακών αγορών της MENA (ιδιαίτερα σε σχέση με τις εξαγωγικές χώρες πετρελαίου) κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19. Η μελέτη παρείχε επίσης αποδείξεις ισχυρών συγκινήσεων μεταξύ των μελλοντικών συμβολαίων πετρελαίου και των χρηματιστηριακών αγορών σε μεσαίες και χαμηλές συχνότητες. Επιπλέον, οι Mensi et al. (2021b) ανέφεραν σημαντικές μακροπρόθεσμες συνκινήσεις μεταξύ των πέντε αναδυόμενων χρηματιστηριακών αγορών των οικονομιών BRICS και των αγορών πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η μελέτη διαπίστωσε ότι το φυσικό αέριο παρέχει μεγαλύτερα οφέλη διαφοροποίησης χαρτοφυλακίου για τους επενδυτές μετοχών στις χώρες αυτές, σε σύγκριση με το πετρέλαιο. Τέλος, οι Abuzayed και Al-Fayoumi (2021) χρησιμοποίησαν ένα δυναμικό μοντέλο εξαρτημένης συσχέτισης γενικευμένης αυτοπαλίνδρομης ετεροστικότητας (DCC-GARCH) και διαπίστωσαν ότι το σοκ του πετρελαίου είχε πιο σημαντική επίδραση στις αποδόσεις των χρηματιστηριακών αγορών του GCC κατά τον COVID-19 σε σύγκριση με τις κανονικές περιόδους.

Καθώς τα κλιματικά προβλήματα γίνονται ολοένα και πιο σοβαρά, υπάρχει αυξανόμενο παγκόσμιο ενδιαφέρον για επενδύσεις και κατασκευή λύσεων πράσινης ενέργειας. Ως εκ τούτου, έχουν αναδειχθεί βιομηχανίες πράσινης ενέργειας και έχει παρατηρηθεί αύξηση στη βιβλιογραφία που εξετάζει τη σύνδεση μεταξύ της αγοράς αργού πετρελαίου και των χρηματιστηριακών αγορών πράσινης ενέργειας.

Για παράδειγμα, ο Niu (2021) ανέλυσε τη δυναμική σχέση μεταξύ του αργού πετρελαίου, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των τιμών των μετοχών εταιρειών τεχνολογίας, αποκαλύπτοντας ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν γίνει λιγότερο εξαρτημένες από το αργό πετρέλαιο μετά την κρίση χρέους της Ευρωζώνης. Ο Ahmad (2017) μελέτησε το διευθυντικό αποτέλεσμα μετάδοσης μεταξύ των τιμών του αργού πετρελαίου και των τιμών των μετοχών εταιρειών τεχνολογίας και καθαρής ενέργειας, αποκαλύπτοντας ένα σημαντικό αποτέλεσμα μετάδοσης καθαρών αποδόσεων και μεταβλητότητας από τους χρηματιστηριακούς δείκτες τεχνολογίας και καθαρής ενέργειας στην αγορά αργού πετρελαίου WTI.

Ο Caccioli et al. (2015) αναφέρουν ότι υπάρχει εκτεταμένη εμπειρική απόδειξη που δείχνει τη διασυνδεδεμενότητα των χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων, η οποία μπορεί να εξηγηθεί από τις αυξανόμενες κοινές κινήσεις των αποδόσεων. Πρόσφατες έρευνες έχουν αποκαλύψει ενδιαφέροντα ευρήματα σχετικά με την κίνηση διαφόρων περιουσιακών

στοιχείων μαζί. Για παράδειγμα, οι Badeeb et al. (2016) αποκάλυψαν μια σημαντική μη γραμμική αντίδραση των ισλαμικών αποδόσεων τόσο σε αρνητικές όσο και σε θετικές αλλαγές στις τιμές του πετρελαίου, τόσο στο βραχυπρόθεσμο όσο και στο μακροπρόθεσμο διάστημα. Ομοίως, οι Badeeb και Lean (2018) ανακάλυψαν μια ασύμμετρη σύνδεση μεταξύ των μεταβολών στις τιμές του πετρελαίου και των ισλαμικών μετοχών, με μια μη γραμμική σχέση στο μακροπρόθεσμο διάστημα και μια γραμμική σχέση στο βραχυπρόθεσμο διάστημα.

Αλλα χρηματοοικονομικά περιουσιακά στοιχεία είναι επίσης σημαντικά συνδεδεμένα με το αργό πετρέλαιο. Κατά τις κανονικές περιόδους, οι Junttila et al. (2018) αναφέρουν μια διασπορά πληροφοριών μεταξύ των αγορών χρυσού και πετρελαίου, ενώ οι Ferrer et al. (2018) τεκμηριώνουν τη συμπεριφορά μετάδοσης καθαρών πληροφοριών του αργού πετρελαίου προς τη μεταβλητότητα των μετοχών των ΗΠΑ. Οι Canh et al. (2019) διαπιστώνουν ότι ο χρυσός επιδεικνύει σημαντική διασυνδεδεμότητα αποδόσεων με την αγορά πετρελαίου. Οι Mishra et al. (2019) εντοπίζουν επίσης μια πολυκλιματική σχέση μεταξύ των ισλαμικών χρηματιστηριακών δεικτών και των τιμών του πετρελαίου, με ετερογενή επίδραση των τιμών του πετρελαίου στις ισλαμικές χρηματιστηριακές αγορές. Οι Lin and Su (2020) αναφέρουν μια σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη μεταβλητότητας του πετρελαίου και των ισλαμικών χρηματιστηριακών αγορών, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι ισλαμικές μετοχές διαθέτουν ιδιότητες ασφαλούς καταφυγίου. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Chang et al. (2020), οι ακραίες αρνητικές αποδόσεις του πετρελαίου είναι αντιστρόφως ανάλογες με τις ακραίες θετικές αποδόσεις των ισλαμικών δεικτών και το αντίστροφο.

Αρκετές μελέτες αποκαλύπτουν επίσης τη διασυνδεσιμότητα διαφόρων περιουσιακών στοιχείων στις χρηματοοικονομικές αγορές (Bouri et al., 2021; Iqbal et al., 2022). Η πιο πρόσφατη έρευνα των Mensi et al. (2022a, 2022b) εξετάζει τη μη συμμετρική διασυνδεσιμότητα μεταξύ πετρελαίου, χρυσού και 22 ευρωπαϊκών κλάδων μετοχών, και οι συγγραφείς διαπιστώνουν ότι το πετρέλαιο και ο χρυσός λειτουργούν ως καθαροί παραλήπτες αλλαγής, ενώ οι περισσότεροι κλάδοι μετοχών μεταδίδουν διασπορές σε άλλα περιουσιακά στοιχεία.

Στη μελέτη αυτή, ξεκινάμε μια εξερεύνηση των χρονικά μεταβαλλόμενων διασπορών μεταβλητότητας μεταξύ διαφορετικών ενεργειακών αγορών (συμπεριλαμβανομένου του αργού πετρελαίου και του φυσικού αερίου), μεγάλων παγκόσμιων χρηματιστηριακών αγορών (S&P 500, FTSE 100, MOEX index, Nikkei 225, SSE Composite index), μελλοντικών συμβολαίων χρυσού, της ισοτιμίας ευρώ-ρωσικού ρουβλίου και του δείκτη MCSI world. Πρωταρχικός μας στόχος είναι να ρίξουμε φως στον αντίκτυπο της πανδημίας COVID-19 και της συνεχιζόμενης Ρώσο-Ουκρανικής σύγκρουσης σε αυτές τις δυναμικές διασπορές. Για να αξιολογήσουμε αυτές τις αλληλεπιδράσεις μεταβλητότητας, υιοθετούμε τη μεθοδολογία που εισήγαγαν οι Diebold και Yilmaz (2009, 2010 και 2011). Βασισμένη σε ένα γενικευμένο πλαίσιο διανυσματικής αυτοπαλίνδρομης μοντελοποίησης, αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει τη συνέπεια των αναλύσεων αποσύνθεσης της διακύμανσης των σφαλμάτων πρόβλεψης, ανεξάρτητα από την επιλεγμένη τάξη των μεταβλητών.

Αυτή η έρευνα συμβάλλει σημαντικά στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, εμβαθύνοντας στις περίπλοκες δυναμικές των μεταβαλλόμενων στο χρόνο μεταδόσεων μεταβλητότητας σε ένα ευρύ φάσμα αγορών ενέργειας και χρηματοπιστωτικών αγορών. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας υπογραμμίζει την εκτεταμένη έρευνα σχετικά με τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών του πετρελαίου και των χρηματιστηρίων, εμπλουτισμένη με τις συνεισφορές διαφόρων

μελετητών. Η έρευνα ευθυγραμμίζεται επίσης με προηγούμενες μελέτες που έχουν εξετάσει περιπτώσεις χρηματοοικονομικής αναταραχής, υποστηρίζοντας την υπόθεση της μετάδοσης. Το μοναδικό πλαίσιο της πανδημίας Covid-19 και του συνεχιζόμενου Ρώσο-Ουκρανικού πολέμου εισάγει μια νέα διάσταση, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες μεταδόσεις μεταξύ των αγορών πετρελαίου και μετοχών. Επιπλέον, η διερεύνηση της διασυνδεσιμότητας διαφόρων χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων προσθέτει βάθος στο εξελισσόμενο σώμα της βιβλιογραφίας, προσφέροντας διαφώτιση στις σύνθετες αλληλεπιδράσεις αυτών των οικονομικών δεικτών και στις ευρύτερες επιπτώσεις τους για τα παγκόσμια χρηματοπιστωτικά συστήματα.

Το υπόλοιπο αυτής της μελέτης είναι δομημένο ως εξής. Η ενότητα 3 παρέχει μια σύντομη επισκόπηση των θεμελιωδών εννοιών της ανάλυσης χρονοσειρών και της θεωρίας των στοχαστικών διεργασιών, οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατανόηση πιο σύνθετων εννοιών που συζητούνται περαιτέρω στην πτυχιακή εργασία. Η ενότητα 4 εμβαθύνει σε βασικές μαθηματικές έννοιες που βρίσκονται πίσω από τις αναλύσεις των μοντέλων διανυσματικής αυτοπαλινδρόμησης (VAR), καθώς και στη βασική μεθοδολογία που αναπτύχθηκε από τους Diebold και Yilmaz, και τους Pesaran και Shin για την εκτίμηση συσχετισμένων αποκρίσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της αποσύνθεσης της διακύμανσης του σφάλματος πρόβλεψης (FEVD). Επίσης, στην ενότητα αυτή παρέχεται μια αναλυτική μαθηματική προσέγγιση για την εξέταση δύο δεικτών διασυνδεσιμότητας που αναπτύχθηκαν από τους Diebold και Yilmaz (2009, 2011). Η ενότητα 5 διερευνά τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για το μοντέλο. Η ενότητα 6 συζητά τα εμπειρικά αποτελέσματα των αναλύσεων. Η ενότητα 7 συζητά τα συμπεράσματα.

### 3. Μια ανάλυση πάνω στις Χρονοσειρές

#### 3.1 Εισαγωγικές έννοιες για την ανάλυση Χρονοσειρών

Για να εισαγάγουμε πιο επίσημες έννοιες σταθερότητας στην ανάλυση χρονοσειρών, είναι απαραίτητο να παρέχουμε μερικούς προκαταρκτικούς ορισμούς. Η ενότητα αυτή στοχεύει να παρέχει μια σύντομη επισκόπηση των θεμελιωδών εννοιών της ανάλυσης χρονοσειρών και της θεωρίας των στοχαστικών διεργασιών, οι οποίες είναι απαραίτητες για περαιτέρω ανάγνωση.

Μια χρονοσειρά ορίζεται συνήθως ως μια ακολουθία πραγματικών τιμών που λαμβάνονται σε ισαπέχοντα χρονικά σημεία, συνήθως από τον χρόνο  $t=1$  έως τον χρόνο  $t=T$  (Chatfield, 2019). Σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο,  $t$ , η παρατήρηση  $x_{t-i}$  ( $i$  περίοδοι πίσω) αναφέρεται ως η  $i$ -στή υστέρηση του  $x_t$ . Όταν μια άλλη χρονοσειρά  $X$  μετατοπίζεται πίσω κατά  $i$  χρονικά βήματα, η προκύπτουσα χρονοσειρά  $Y$  αναφέρεται μερικές φορές ως η  $i$ -στή υστέρηση του  $X$  ή μια  $i$ -στή υστέρηση του  $X$ . Αυτός ο μετασχηματισμός είναι γνωστός ως ο τελεστής μετατόπισης προς τα πίσω, ο οποίος συχνά συμβολίζεται ως  $B(\cdot)$ , ή ο τελεστής υστέρησης, που συμβολίζεται ως  $L(\cdot)$ . Οι δυνάμεις των τελεστών ορίζονται ως  $L^i(X_t) = X_{t-i}$  (Brockwell & Davis, 2016).

#### 3.2 Στοχαστική διαδικασία

Σε αντίθεση με τα ντετερμινιστικά μοντέλα, τα στοχαστικά μοντέλα βασίζονται στην ιδέα ότι κάθε χρονοσειρά είναι μια κατασκευή δεδομένων που αποτελεί μια στοχαστική διαδικασία. Με ευρεία έννοια, μια στοχαστική διαδικασία ορίζεται ως ένα σύνολο τυχαίων μεταβλητών, καθεμία από τις οποίες έχει τη δική της κατανομή πιθανότητας, και οι οποίες μαζί σχηματίζουν μια οικογένεια από κοινοτικά κατανομημένες μεταβλητές. Για να

διευκρινίσουμε περαιτέρω την έννοια της στοχαστικής διαδικασίας, χρειάζονται δύο ακόμη σύντομοι ορισμοί: αυτός του χώρου πιθανοτήτων και της τυχαίας μεταβλητής.

### 3.2.1 Χώρος Πιθανότητας

Ένας χώρος πιθανοτήτων, γνωστός και ως τριάδα πιθανοτήτων, είναι μια τυπική μαθηματική κατασκευή που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση μιας τυχαίας διαδικασίας ή ενός πειράματος. Η κατασκευή του χώρου πιθανοτήτων απαιτεί τα τρία ουσιώδη συστατικά: το δειγματικό χώρο, ο οποίος είναι το σύνολο όλων των πιθανών εκβάσεων που συμβολίζονται με το  $\Omega$ , το χώρο συμβάντων, ο οποίος είναι μια συλλογή συμβάντων που αναπαρίστανται από την  $\sigma$ -άλγεβρα  $\mathcal{F}$ , όπου ένα συμβάν είναι ένα υποσύνολο του δειγματικού χώρου  $\Omega$ , και μια συνάρτηση πιθανότητας που συμβολίζεται με το  $P$ , η οποία εκχωρεί σε κάθε συμβάν στον χώρο συμβάντων μια πιθανότητα, η οποία είναι μια τιμή μεταξύ 0 και 1 (Ross, 2014).

### 3.2.2 Τυχαία Μεταβλητή

Μια πραγματική τυχαία μεταβλητή ή πραγματική στοχαστική μεταβλητή στο  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  είναι μια συνάρτηση  $x: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ , τέτοια ώστε η αντίστροφη εικόνα οποιουδήποτε διαστήματος  $(-\infty, a]$  να ανήκει στο  $\mathcal{F}$ , δηλαδή μια μετρήσιμη συνάρτηση (Chatfield, 2019).

Έχοντας υπόψη τους παραπάνω ορισμούς, μπορούμε να ορίσουμε μαθηματικά μια στοχαστική διαδικασία ως μια οικογένεια τυχαίων μεταβλητών  $X = \{x_i(\omega); i \in T\}$  που όλες ορίζονται στον ίδιο χώρο πιθανοτήτων  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  (Brockwell and Davis, 2016).

Έχοντας εκφράσει την έννοια της στοχαστικής διαδικασίας, η έννοια της στασιμότητας στην ανάλυση χρονοσειρών μπορεί να εξηγηθεί ως η στασιμότητα των κατανομών πιθανοτήτων που διέπουν μια στοχαστική διαδικασία. Αυτό σημαίνει ότι, αν και οι μεμονωμένες τυχαίες μεταβλητές μέσα στη διαδικασία μπορεί να αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, οι υποκείμενοι πιθανολογικοί κανόνες παραμένουν οι ίδιοι. Η σταθερότητα μπορεί να οριστεί με τη χρήση του ισχυρού/αυστηρού ορισμού ή της ασθενέστερης έννοιας (Ross, 2014).

## 3.3 Στασιμότητα στις Χρονοσειρές

**Ισχυρή/Αυστηρή Στασιμότητα** Η ισχυρή στασιμότητα απαιτεί οι πεπερασμένων διαστάσεων κατανομές μιας στοχαστικής διαδικασίας να παραμένουν οι ίδιες όταν μετατοπίζονται στον χρόνο. Μαθηματικά, μια διακριτή στοχαστική διαδικασία  $X = \{x_i, i \in Z\}$  είναι στάσιμη εάν η κοινή κατανομή οποιουδήποτε υποσυνόλου των συνιστωσών της, ευρετηριασμένη από ένα σύνολο  $T \subset Z$  με  $n \in N$ , είναι η ίδια για οποιαδήποτε μετατόπιση  $\tau \in Z$ . Ομοίως, για συνεχείς στοχαστικές διαδικασίες, η συνθήκη είναι παρόμοια, με  $T \subset R, n \in N$  και οποιαδήποτε  $\tau \in R$  αντίστοιχα (Brockwell & Davis, 2016).

**Ασθενής Στασιμότητα:** Από την άλλη πλευρά, η ασθενής στασιμότητα απαιτεί μόνο η πρώτη ροπή (μέσος όρος) και η δεύτερη ροπή (διακύμανση και συνδιακύμανση) μιας στοχαστικής διαδικασίας να παραμένουν αμετάβλητες όταν μετατοπίζονται στον χρόνο. Τυπικά, μια διαδικασία  $\{x_i, i \in Z\}$  είναι ασθενώς στάσιμη εάν ο μέσος όρος της είναι σταθερός  $\forall t$ , η δεύτερη ροπή της είναι πεπερασμένη  $\forall t$  και η αυτοσυνδιακύμανσή της εξαρτάται μόνο από τη διαφορά μεταξύ δύο χρονικών σημείων,  $t$  και  $t - k$ , και όχι από τη θέση τους στον χρονικό άξονα. Αυτό σημαίνει ότι κάθε υστέρηση  $\tau \in N$  έχει μια σταθερή τιμή συνδιακύμανσης που της αντιστοιχεί, η οποία περαιτέρω συνεπάγεται ότι η διακύμανση της διαδικασίας είναι επίσης σταθερή (Brockwell & Davis, 2016).

**Σχέση μεταξύ Ισχυρής και Αδύναμης Στασιμότητας:** Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ασθενής στασιμότητα δεν συνεπάγεται ισχυρή στασιμότητα, ούτε το αντίστροφο. Στην πράξη, η ασθενής στασιμότητα είναι μια πιο χαλαρή συνθήκη και είναι ευκολότερο να ελεγχθεί από την ισχυρή στασιμότητα, καθιστώντας την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη σε πραγματικές εφαρμογές της ανάλυσης χρονοσειρών.

### 3.4 Έλεγχοι Στασιμότητας

Οι πιο βασικές μέθοδοι για τον εντοπισμό της σταθερότητας βασίζονται στη γραφική απεικόνιση των δεδομένων και στον οπτικό έλεγχο για τάσεις και εποχικές συνιστώσες. Ωστόσο, η αποκλειστική στήριξη στην οπτική ανάλυση για τον προσδιορισμό του εάν μια χρονοσειρά είναι σταθερή μπορεί να είναι αναξιόπιστη. Για να ληφθούν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, χρησιμοποιούνται συνήθως στατιστικές δοκιμές. Οι δοκιμές αυτές κάνουν ορισμένες παραδοχές σχετικά με τα δεδομένα και μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το βαθμό στον οποίο μια μηδενική υπόθεση μπορεί να απορριφθεί ή όχι. Η δοκιμή Augmented Dickey-Fuller (ADF) είναι μια τέτοια στατιστική δοκιμή που χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση της σταθερότητας. Η δοκιμή Phillips-Perron είναι μια άλλη στατιστική δοκιμή που εξυπηρετεί τον ίδιο σκοπό, αλλά με ορισμένες βασικές διαφορές. Η δοκιμή Phillips-Perron διορθώνει ειδικά για σειριακή συσχέτιση και ετεροσκεδάστικότητα στη διαδικασία διατάραξης της εξίσωσης δοκιμής (Hamilton, 1994).

#### 3.4.1 Σύγκριση της δοκιμής Dickey-Fuller και της δοκιμής ADF

Πριν συζητήσουμε τη δοκιμή ADF, είναι χρήσιμο να κατανοήσουμε τη δοκιμή Dickey-Fuller, η οποία χρησιμοποιεί ένα μοντέλο αυτοπαλίνδρομης παλινδρόμησης και βελτιστοποιεί ένα κριτήριο πληροφόρησης σε διάφορες τιμές υστέρησης. Η δοκιμή Dickey-Fuller είναι μια δοκιμή μοναδιαίας ρίζας που μοιράζεται μια παρόμοια μηδενική υπόθεση με τη δοκιμή ADF, δηλαδή ότι ο συντελεστής της πρώτης υστέρησης στη χρονοσειρά είναι 1, υπονοώντας την παρουσία μοναδιαίας ρίζας. Εάν η μηδενική υπόθεση δεν απορριφθεί, η σειρά θεωρείται μη σταθερή (Dickey and Fuller (1979), Said and Dickey (1984)).

Η δοκιμή ADF βασίζεται στη δοκιμή Dickey-Fuller ενσωματώνοντας επιπλέον όρους διαφοροποίησης στην εξίσωση. Αυτό ενισχύει την πληρότητα της δοκιμής διατηρώντας την ίδια μηδενική υπόθεση. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εσφαλμένες ερμηνείες των αποτελεσμάτων της δοκιμής ADF είναι συνηθισμένες. Οι αναλυτές συχνά συμπεραίνουν λανθασμένα ότι μια σειρά είναι μη σταθερή όταν η τιμή  $p$  είναι μικρότερη από το επίπεδο σημαντικότητας. Ωστόσο, μια τιμή  $p$  μικρότερη από το επίπεδο σημαντικότητας υποδηλώνει την απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης και υποδηλώνει την σταθερότητα της σειράς (Hamilton, 1994).

#### 3.4.2 Augmented Dickey-Fuller έλεγχος

Η δοκιμή ADF είναι ένας τύπος στατιστικής δοκιμής γνωστός ως δοκιμή μοναδιαίας ρίζας. Μια μοναδιαία ρίζας είναι ένα χαρακτηριστικό ορισμένων στοχαστικών διεργασιών, όπως οι τυχαίες περιπλανήσεις, που μπορεί να δημιουργήσει προκλήσεις στη στατιστική συμπεράσματος που περιλαμβάνει μοντέλα χρονοσειρών. Η δοκιμή ADF διεξάγεται με ορισμένες παραδοχές. Η μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ) υποθέτει ότι η σειρά είναι μη σταθερή ή έχει μοναδιαία ρίζας, ενώ η εναλλακτική υπόθεση ( $H_A$ ) υποθέτει ότι η σειρά είναι σταθερή ή δεν έχει μοναδιαία ρίζας (Dickey and Fuller, 1979; Said and Dickey, 1984).



Για να απορρίψουμε τη μηδενική υπόθεση, πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Εάν η στατιστική δοκιμής είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή και η τιμή  $p$  είναι μικρότερη από 0,05 (ή κάποιο άλλο επίπεδο σημαντικότητας που έχει επιλέξει ο ερμηνητής), η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται, γεγονός που υποδηλώνει ότι η χρονοσειρά δεν έχει μοναδιαία ρίζα και ως εκ τούτου είναι σταθερή. Αυτό συνεπάγεται την απουσία χρονο-εξαρτημένης δομής στη σειρά (Dickey and Fuller, 1979; Said and Dickey, 1984).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι στατιστικές δοκιμές παρέχουν έναν γρήγορο έλεγχο και επιβεβαιωτικά στοιχεία σχετικά με τη σταθερότητα ή τη μη σταθερότητα μιας χρονοσειράς. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών πρέπει να ερμηνεύονται στο πλαίσιο του συγκεκριμένου προβλήματος που εξετάζεται για να εξαχθούν ουσιαστικά συμπεράσματα (Dickey and Fuller, 1979; Said and Dickey, 1984).

### 3.4.3 Δοκιμή Phillips-Perron

Η δοκιμή Phillips-Perron, που πήρε το όνομά της από τους Peter C. B. Phillips και Pierre Perron, είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται στην ανάλυση χρονοσειρών για να αξιολογηθεί εάν μια χρονοσειρά παρουσιάζει πρώτης τάξης ολοκλήρωση (Phillips & Perron, 1988). Είναι μια δοκιμή μοναδιαίας ρίζας που επεκτείνει τη δοκιμή Dickey-Fuller, η οποία εξετάζει τη μηδενική υπόθεση ότι μια χρονοσειρά ακολουθεί μια συγκεκριμένη μαθηματική σχέση.

Παρόμοια με τη δοκιμή Augmented Dickey-Fuller, η δοκιμή Phillips-Perron αντιμετωπίζει ένα πιθανό ζήτημα όπου η διαδικασία παραγωγής δεδομένων για το  $y_t$  μπορεί να διαθέτει ένα υψηλότερο επίπεδο αυτοσυσχέτισης από αυτό που λαμβάνεται υπόψη στην εξίσωση δοκιμής. Αυτό καθιστά το  $y_{t-1}$  ενδογενές, ακυρώνοντας έτσι το  $t$ -test του Dickey-Fuller. Ενώ η δοκιμή augmented Dickey-Fuller αντιμετωπίζει αυτό το πρόβλημα εισάγοντας καθυστερημένους όρους  $\Delta y_t$  ως εξηγούμενες μεταβλητές στην εξίσωση δοκιμής, η δοκιμή Phillips-Perron χρησιμοποιεί μια μη παραμετρική διόρθωση στην στατιστική δοκιμής  $t$ . Σημαντικό είναι ότι η δοκιμή Phillips-Perron παρουσιάζει ανθεκτικότητα στην παρουσία μη προσδιορισμένης αυτοσυσχέτισης και ετεροσκεδαστικότητας στη διαδικασία διατάραξης της εξίσωσης δοκιμής (Phillips and Perron, 1988).

## 4. Επισκόπηση μοντέλου

Αυτή η διατριβή ερευνά τη διασυνδεσιμότητα των αγορών ενέργειας και χρηματιστηριακών δεικτών, με έμφαση στη δυναμική των μεταδόσεων μεταβλητότητας κατά τις κρίσιμες περιόδους, συγκεκριμένα την πανδημία Covid-19 και την τρέχουσα σύγκρουση Ρωσίας-Ουκρανίας. Πρωταρχικός μας στόχος είναι να εντοπίσουμε την περίπλοκη σχέση μεταξύ αυτών των αγορών. Επιπλέον, η μελέτη διερευνά τον ρόλο του φυσικού αερίου ως σημαντική πηγή μη φυσιολογικής μετάδοσης μεταβλητότητας. Οι συνέπειες του Ρώσο-Ουκρανικού πολέμου αποτελούν ένα ενδεικτικό υπόβαθρο, υπογραμμίζοντας τις βαθιές προεκτάσεις των κραδασμών στις αγορές πετρελαίου και φυσικού αερίου στα μακροοικονομικά και μικροοικονομικά τοπία. Αυτή η ολοκληρωμένη ανάλυση αντλεί έμπνευση από τη μεθοδολογία των Diebold και Yilmaz, χρησιμοποιώντας ένα γενικευμένο πλαίσιο διανυσματικής αυτοπαλίνδρομης. Η εμπειρική έρευνα καλύπτει την περίοδο από 2 Ιανουαρίου 2018 έως 31 Μαΐου 2023, χρησιμοποιώντας ημερήσιες τιμές που εκφράζονται σε δολάρια ΗΠΑ από το Yahoo Finance. Στην ουσία, η διατριβή αυτή συνεισφέρει πολύτιμες γνώσεις στην υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με τη μετάδοση κινδύνου κατά τη διάρκεια κρίσεων, ρίχνοντας φως στις λεπτές αποχρώσεις των μεταδόσεων μεταβλητότητας μεταξύ

των αγορών ενέργειας και χρηματιστηριακών δεικτών σε περιόδους οικονομικών αναταράξεων.

Η μεθοδολογία αυτής της εργασίας συνδυάζει και αναπαράγει πρωτίστως τη δουλειά που έγινε στις εργασίες των Diebold και Yilmaz (2009, 2010, 2011). Ο δείκτης μεταδόσεων των Diebold και Yilmaz (2009, 2010, 2011) (εφεξής δείκτης DY) που παρουσιάζεται σε αυτές τις εργασίες είναι η κύρια προσπάθεια των παραπάνω συγγραφέων να παρουσιάσουν έναν ποσοτικοποιημένο δείκτη για το μέγεθος των σφαλμάτων πρόβλεψης που αποδίδονται σε κραδασμούς των όρων σφάλματος κάθε εξαρτημένης μεταβλητής σε ένα μοντέλο διανυσματικής αυτοπαλίνδρομης. Το κύριο ερώτημα που εξετάζουν οι Diebold και Yilmaz μπορεί να περιγραφεί ως εξής: εάν εξετάσουμε ένα σύνολο μετοχών που θέλουμε να εκτιμήσουμε και να προβλέψουμε τις αποδόσεις ή τη μεταβλητότητά τους, θα μπορούσε να είναι δυνατό το ιδιοσυγκρασιακό σφάλμα κάποιας μετοχής, που παραμένει μετά την εξήγηση του συστηματικού, ή κοινού, παράγοντα που καθοδηγεί κάθε μία, να επηρεάσει την πρόβλεψη άλλης. Με άλλα λόγια, μπορούν τα ιδιοσυγκρασιακά σφάλματα να μεταδοθούν και να επηρεάσουν την ικανότητα πρόβλεψης των κοινών παραγόντων; Επιπλέον, οι Diebold και Yilmaz (2011) επιδεικνύουν μια αναπαράσταση αυτών των κραδασμών σε δίκτυο χαλαρώνοντας τις παραδοχές ότι οι διανυσματικές αυτοπαλινδρομικές παλινδρομήσεις έχουν κανονικά κατανομημένους, ανεξάρτητους και πανομοιότυπα κατανομημένους όρους σφάλματος και ότι οι κραδασμοί σε κάθε μεταβλητή πρέπει να είναι ορθογώνιοι προς τους άλλους κραδασμούς.

Η ανάλυση χρονοσειρών μας επιτρέπει να εξάγουμε συναρπαστικές πληροφορίες, ειδικά εάν ερευνήσουμε τη διακύμανση των δεδομένων παραμέτρων μας. Στην ανάλυση ενός πολυμεταβλητού μοντέλου, η κατανομή των όρων σφάλματος (διακύμανση) εμπεριέχει την παραδοχή σχετικά με τις δομές συσχέτισης μεταξύ των εξαρτημένων μεταβλητών του μοντέλου. Πιθανολογικά, οι αναλύσεις σχετικά με τις αποδόσεις ή τη μεταβλητότητα των τιμών των μετοχών αποτελούνται από δύο συνιστώσες: τη συστηματική και την ιδιοσυγκρασιακή.

$$\sigma_{it} = \beta * \sigma_{M,t-1} + \epsilon_{it}$$

Όπου:

- $\sigma_{i,t}$  συμβολίζει τη μεταβλητότητα της μετοχής  $i$  στο χρόνο  $t$  και
- $\sigma_M$  είναι η μεταβλητότητα της αγοράς.
- $\beta$  είναι ο συντελεστής που μετρά το συστηματικό μέρος της μεταβλητότητας μιας μετοχής, δηλαδή ένα μέτρο της ισχύος της σχέσης με την ευρύτερη αγορά.
- $\epsilon$  συμβολίζει το ιδιοσυγκρασιακό μέρος που είναι ενσωματωμένο σε κάθε μετοχή.

Κατά την ανάλυση χρονοσειρών, μια ενδιαφέρουσα εξέταση είναι το πώς ανταποκρίνεται η μελλοντική μεταβλητότητα ( $\sigma_{i,t+1}$ ) σε μια διαταραχή ( $\epsilon_{i,t+1}$ ) στο χρόνο  $t + 1$ . Σε ένα πολυμεταβλητό σύστημα πολλών διαφορετικών εξισώσεων μεταβλητότητας, το ερώτημα θα μπορούσε να επεκταθεί στην εύρεση του κατά πόσο και πώς οι ιδιοσυγκρασιακοί κίνδυνοι της μεταβλητότητας μιας μετοχής επηρεάζουν τη μελλοντική μεταβλητότητα άλλων μετοχών. Αυτές οι επιδράσεις είναι ευρέως γνωστές ως μεταδόσεις ή διασυνδεσιμότητες.

Το μοντέλο για την εξαγωγή αυτής της μετάδοσης περιέχει τέσσερα βήματα:

1. Εκτίμηση ενός μοντέλου διανυσματικής αυτοπαλίνδρομης (VAR).
2. Μετατροπή του VAR σε μια αναπαράσταση κινούμενου μέσου τάξης Q(MA(Q)).
3. Συμπεράσματα σχετικά με τις συναρτήσεις δυναμικών ανταποκρίσεων (IRF) για κάθε μεταβλητή.
4. Υπολογισμός του πίνακα διάσπασης διακύμανσης σφάλματος πρόβλεψης (FEVD) για ολόκληρο το σύνολο των μεταβλητών χρησιμοποιώντας την IRF.

#### 4.1 Μοντέλο VAR

Τα μοντέλα VAR χρησιμοποιούνται, συνήθως για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις και για την ανάλυση της δυναμικής επίδρασης στις μεταβλητές (Sims, 1980). Συνήθως, αντιμετωπίζουν όλες τις μεταβλητές ως ενδογενείς, ex-ante, ως συνάρτηση των p-υστερήσεων όλων των ενδογενών μεταβλητών στο σύστημα (Lütkepohl, 2005). Με άλλα λόγια, τα μοντέλα διανυσματικής αυτοπαλίνδρομης είναι μια επέκταση του μονομεταβλητού μοντέλου AR και χρησιμοποιούνται για να συλλάβουν κάθε πιθανή σχέση μεταξύ μιας πλειονότητας μεταβλητών, σε ένα περιβάλλον που αλλάζει συνεχώς καθώς περνάει ο χρόνος. Ένα VAR(p) με  $i$  μεταβλητές μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$Y_t = C_0 + \sum_{j=1}^i C_j * y_{t-j} + B_t * x_t + u_t$$

Όπου:

- $C_0$  και  $C_j$  είναι δύο  $i \times 1$  πίνακες, που αντιπροσωπεύουν τους συντελεστές της σταθεράς και των ενδογενών μεταβλητών αντίστοιχα.
- Το  $B_t$  αντιπροσωπεύει έναν πίνακα ( $k \times 1$ ) των συντελεστών των εξωγενών μεταβλητών.
- Το  $u_t$  είναι ο όρος σφάλματος.

Όλοι αυτοί οι συντελεστές εκτιμώνται συχνά με τη συνηθισμένη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων ή τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (Hamilton, 1994).

Στην εργασία αυτή, το μοντέλο VAR με L-υστερήσεις για ένα σύνολο N μεταβλητών  $\sigma_i$  μεταβλητότητας για  $i = 1, \dots, N$  θα λάβει τη μορφή:

$$\sigma_t = \sum_{i=1}^L \beta_{t-i} * \sigma_{t-i} + \epsilon_t$$

Όπου:

Τα  $\sigma_t$  και  $\sigma_{t-1}$  είναι διανύσματα μήκους N.

Το  $\beta_{t-i}$  είναι ένας πίνακας συντελεστών  $N \times N$ .

Το  $\varepsilon_t$  είναι το διάνυσμα των όρων σφάλματος που ακολουθούν μια κατανομή  $N(0, \sigma^2)$  (Enders, 2014).

## 4.2 Επιλογή βέλτιστης υστέρησης

Κατά την προδιαγραφή μοντέλου διανυσματικής αυτοπαλίνδρομης (VAR), η επιλογή των κατάλληλων υστερημάτων είναι ένα κρίσιμο ζήτημα. Τυπικά, επιλέγεται ένας μέγιστος αριθμός υστερημάτων, που συμβολίζεται ως "p", για πρακτικές εφαρμογές. Η απόδοση του μοντέλου αξιολογείται στη συνέχεια με την συμπερίληψη διαφορετικών μηκών υστερήσεων. Το βέλτιστο μοντέλο VAR καθορίζεται με την επιλογή του μήκους υστερήματος, που συμβολίζεται ως VAR(p), το οποίο ελαχιστοποιεί συγκεκριμένα κριτήρια επιλογής υστερήματος. Τα τρία συνήθως χρησιμοποιούμενα κριτήρια για την επιλογή υστερήματος είναι:

- Κριτήριο πληροφόρησης Akaike (AIC): Το AIC μετρά την ισορροπία μεταξύ της καταλληλότητας του μοντέλου και του αριθμού των παραμέτρων. Σκοπός του είναι να βρει μια ισορροπία που ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο υπερπροσαρμογής. Μια χαμηλότερη τιμή AIC υποδηλώνει ένα πιο κατάλληλο μοντέλο (Akaike, 1974).
- Κριτήριο πληροφόρησης Schwarz-Bayesian (BIC): Το BIC είναι παρόμοιο με το AIC, αλλά τιμωρεί τα μοντέλα με υψηλότερο αριθμό παραμέτρων πιο αυστηρά. Παρέχει ένα πιο αυστηρό κριτήριο για την επιλογή μοντέλου. Όπως και το AIC, μια χαμηλότερη τιμή BIC υποδηλώνει ένα πιο κατάλληλο μοντέλο (Schwarz, 1978).
- Κριτήριο πληροφόρησης Hannan-Quinn (HQ): Το κριτήριο HQ λαμβάνει επίσης υπόψη την ισορροπία μεταξύ της καταλληλότητας του μοντέλου και του αριθμού των παραμέτρων, αλλά εφαρμόζει διαφορετικό όρο τιμωρίας από το AIC και το BIC. Εξισορροπεί την καταλληλότητα του μοντέλου με τον κίνδυνο υπερπροσαρμογής. Παρόμοια με το AIC και το BIC, μια χαμηλότερη τιμή HQ υποδηλώνει ένα πιο κατάλληλο μοντέλο (Hannan and Quinn, 1979).

Αυτά τα κριτήρια επιλογής υστερήματος παρέχουν ποσοτικά μέτρα για τον προσδιορισμό του βέλτιστου μήκους υστερήματος για το μοντέλο VAR. Αξιολογώντας τις τιμές AIC, BIC και HQ για διαφορετικά μήκη υστερήσεων, οι ερευνητές μπορούν να επιλέξουν το μοντέλο που εξισορροπεί καλύτερα την καταλληλότητα του μοντέλου και την οικονομία παραμέτρων, διασφαλίζοντας μια κατάλληλη αναπαράσταση των δεδομένων αποφεύγοντας την υπερπροσαρμογή.

## 4.3 Μετατροπή ενός μοντέλου VAR σε μοντέλο VMA

Όπως οποιοδήποτε σταθερό μοντέλο αυτόματης παλινδρόμησης (AR) μπορεί να λάβει τη μορφή ενός άπειρου μοντέλου κινούμενων μέσων MA ( $\infty$ ), έτσι και ένα μοντέλο VAR που ικανοποιεί τις συνθήκες σταθερότητας μπορεί να γραφτεί ως μοντέλο κινούμενων μέσων διανυσμάτων (VMA), στο οποίο κάθε μεταβλητή είναι συνάρτηση των τρεχόντων και προηγούμενων σφαλμάτων όλων των εξισώσεων του συστήματος (Lütkepohl, 2005). Αυτή η μορφή είναι πολύ χρήσιμη επειδή μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τις πιθανές επιδράσεις μιας τυχαίας διαταραχής σε μια εξίσωση του συστήματος στην ενδογενή μεταβλητή αυτής της εξίσωσης, αλλά και στις άλλες ενδογενείς μεταβλητές του συστήματος. Η μαθηματική έκφραση της παραπάνω περιγραφής για το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή την εργασία θα μπορούσε να αναπαρασταθεί ως εξής:

$$\sigma_t = \sum_{i=0}^Q \phi_{t-i} * \epsilon_{t-i}$$

Όπου:

- $\phi$  είναι ο πίνακας των συντελεστών που μετρούν το μέγεθος κάθε παλμού. Όπου ένας παλμός ορίζεται συνήθως ως κραδασμός στο χρόνο  $t - i$  στο  $\epsilon_{t-i}$ .
- $Q$  είναι η μέγιστη τάξη του τάξης  $q$  μοντέλου MA που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

#### 4.4 Συναρτήσεις Δυναμικών Αποκρίσεων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η μετατροπή ενός μοντέλου VAR σε μοντέλο VMA μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε την επίδραση και την εξέλιξη στην πορεία των ενδογενών μεταβλητών από μια ξαφνική διαταραχή σε μια εξίσωση του συστήματος. Αυτές οι επιδράσεις στην ορολογία των μοντέλων VAR ονομάζονται συναρτήσεις δυναμικών αποκρίσεων (Impulse Response Functions) (Lütkepohl, 2005).

Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον εντοπισμό των αποκρίσεων ενός μοντέλου διανυσματικής αυτοπαλίνδρομης (VAR) είναι η χρήση ορθογώνιων συναρτήσεων ανταπόκρισης (OIR) (Sims, 1980). Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει την αποσύνθεση του πίνακα συνδιακύμανσης-διασποράς, που συμβολίζεται ως  $\Sigma$ , στο γινόμενο ενός κάτω τριγωνικού πίνακα,  $A$ , και του μεταθετού του,  $A'$ . Τυπικά, αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μια αποσύνθεση Cholesky. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο κάτω τριγωνικός πίνακας,  $A$ , περιέχει θετικά διαγώνια στοιχεία. Αυτό σημαίνει ότι η μεταβλητή στην πρώτη σειρά του τριγωνικού πίνακα  $A$  δεν θα επηρεαστεί από ταυτόχρονο σοκ οποιασδήποτε άλλης μεταβλητής, ενώ η τελευταία μεταβλητή στο σύστημα θα επηρεαστεί από τις διαταραχές όλων των άλλων μεταβλητών (Uhlig, 2005). Επομένως, το αποτέλεσμα μιας ανάλυσης ορθογώνιων συναρτήσεων ανταπόκρισης θα μπορούσε να επηρεαστεί από τη σειρά των μεταβλητών. Συνεπώς, είναι σημαντικό να εξετάζεται προσεκτικά η σειρά με την οποία διατάσσονται οι μεταβλητές στο μοντέλο VAR κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων μιας ανάλυσης ορθογώνιων συναρτήσεων ανταπόκρισης.

##### 4.4.1 Δομικές Συναρτήσεις Δυναμικών Αποκρίσεων

Η τεχνική των δομικών συναρτήσεων απόκρισης (SIR) ενσωματώνει το πρόβλημα της ταύτισης στην εκτίμηση του μοντέλου Vector Autoregressive (VAR). Το μοντέλο Structural Vector Autoregressive (SVAR) μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$A_0 y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p A_i y_{t-i} + \epsilon_t$$

όπου  $\epsilon_t \sim N(0, \Omega)$  με  $\Omega$  να είναι ένας διαγώνιος πίνακας διασπορών και  $A_0$  κατώτερο τριγωνικό πίνακα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η SIR παρέχει έναν πιο αξιόπιστο τρόπο για τον εντοπισμό της αιτιακής σχέσης μεταξύ των μεταβλητών στο σύστημα, επιβάλλοντας περιορισμούς στους συντελεστές συγχρονισμού και υστέρησης στο μοντέλο VAR. Ενσωματώνοντας πρόσθετες πληροφορίες ή παραδοχές σχετικά με τη διαδικασία δημιουργίας δεδομένων, η τεχνική SIR μπορεί να αποφέρει πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα από την τεχνική OIR, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η σειρά των μεταβλητών

είναι αβέβαιη ή υπάρχουν παραλειπόμενες μεταβλητές στο μοντέλο VAR (Lütkepohl, 2005; Uhlig, 2005).

#### 4.4.2 Γενικευμένες Συναρτήσεις Δυναμικών Αποκρίσεων

Οι Koop et al. (1996) και Koop et al. (1998) πρότειναν έναν εναλλακτικό τύπο συνάρτησης δυναμικών αποκρίσεων, τις Γενικευμένες Συναρτήσεις Δυναμικών Αποκρίσεων (GIR), με στόχο να εισαγάγουν ένα εξαιρετικά προσαρμόσιμο εργαλείο για όσους εργάζονται με μεγάλα συστήματα όπου ο εντοπισμός των διαρθρωτικών σχέσεων μπορεί να είναι προβληματικός. Σε αντίθεση με τις SIR, αυτές οι αποκρίσεις δεν βασίζονται στη σειρά των μεταβλητών, αλλά αντίθετα ενσωματώνουν άλλους κραδασμούς στο αποτέλεσμα τους, παρέχοντας έτσι μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της ιστορικής εξέλιξης για κάθε μεταβλητή που εξετάζεται (Koop et al. (1996) και Koop et al. (1998)). Αν και η ερμηνεία των δεδομένων GIR μπορεί αρχικά να παρουσιάζει κάποιες προκλήσεις σε σύγκριση με τις πληροφορίες SIR, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι παραμένουν ένας ακριβής τρόπος ανάλυσης των αποκρίσεων μέσα σε συστήματα που εκτίθενται σε διάφορους κραδασμούς. Ενώ η μεθοδολογία GIR δεν είναι πλήρως εναλλάξιμη με τις διαρθρωτικές παλμικές αποκρίσεις, προσφέρει άφθονες λύσεις για την αντιμετώπιση προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά την προσπάθεια ταυτοποίησης υποκείμενων δομών μέσα σε σύνθετα οικονομικά συστήματα, στα οποία οι παραδοσιακές τεχνικές OIR ή SIR προσφέρουν λίγες πληροφορίες (Koop et al. (1996) και Koop et al. (1998)). Με την απελευθέρωση τέτοιων περιορισμών στη σειρά των μεταβλητών μέσω της μεθοδολογίας GIR, οι Koop et al. έχουν παράσχει ένα ουσιαστικό εργαλείο για την απόκτηση ολοκληρωμένης κατανόησης των δυναμικών αλληλεξαρτήσεων μέσα σε οποιοδήποτε σύστημα. Επιπλέον, όταν πρόκειται για την αντιμετώπιση σύνθετων μοντέλων που περιλαμβάνουν πολλαπλές μεταβλητές και ο εντοπισμός των διαρθρωτικών σχέσεων αποδεικνύεται δύσκολος, η χρήση των GIR είναι συχνά επωφελής. Αν και μπορεί να μην παρέχουν τόσο μεγάλη σαφήνεια σε σύγκριση με τις SIR, οι Γενικές παλμικές αποκρίσεις εξακολουθούν να αποτελούν ένα κρίσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο το σύστημα αντιδρά σε διάφορους εξωτερικούς κραδασμούς.

#### 4.4.3 Μαθηματική έκφραση των ορθογώνιων και γενικών συναρτήσεων απόκρισης

Η μαθηματική ερμηνεία των GIR μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

Εξετάστε το ακόλουθο επαυξημένο μοντέλο αυτόματης παλινδρόμησης:

$$x_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i x_{t-i} + \Psi w_t + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

όπου  $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{mt})$  είναι ένα διάνυσμα  $m \times 1$  από συλλογικά καθορισμένες εξαρτημένες μεταβλητές,  $w_t$  είναι ένα διάνυσμα  $q \times 1$  καθοριστικών και/ή εξωγενών μεταβλητών και  $\Phi_i, \Psi$  για  $i = 1, 2, \dots, p$  είναι πίνακες συντελεστών  $m \times m$  και  $m \times q$  αντίστοιχα.

Οι ακόλουθες παραδοχές πρέπει να γίνουν για το μοντέλο μας:

- $E(\varepsilon_t) = 0, E(\varepsilon_t \varepsilon_t') = \Sigma$  για όλα τα  $t$  και  $\Sigma = \sigma_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, m$  μπορεί να σημειωθεί ως ένας θετικός οριστικός πίνακας  $m \times m$ .
- Οι ρίζες του  $|I_m - \sum_{i=1}^p \Phi_i z^i| = 0$  ικανοποιούν το  $|z| > 1$  ή  $z = 1$ . (όλες οι ρίζες πέφτουν εκτός του ενιαίου κύκλου, επομένως το μοντέλο είναι σταθερό).
- $x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-p}, w_t$ , για  $t = 1, 2, \dots, T$  δεν είναι απόλυτα συγγραμμικά.

Με βάση την προαναφερθείσα παραδοχή, ειδικά την δεύτερη παραδοχή σχετικά με τη σταθερότητα του μοντέλου, το μοντέλο της εξίσωσης (1) μπορεί να αναθεωρηθεί σε μια απεριόριστη αναπαράσταση κινούμενου μέσου ως εξής:

$$x_t = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \varepsilon_{t-i} + \sum_{i=0}^{\infty} G_i w_{t-i}, t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

όπου  $A_i$  είναι ένας πίνακας συντελεστών  $m \times m$  ο οποίος μπορεί να ληφθεί από την ακόλουθη σχέση:

$$A_i = \Phi_1 A_{i-1} + \Phi_2 A_{i-2} + \dots + \Phi_p A_{i-p}, i = 1, 2, \dots \text{ με } A_0 = I_m$$

$$\text{και } A_i = 0 \text{ για } i < 0, \text{ και } G_i = A_i \Psi.$$

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μια συνάρτηση δυναμικών αποκρίσεων μετρά το χρονικό προφίλ της επίδρασης των κραδασμών σε μια δεδομένη χρονική στιγμή στις (αναμενόμενες) μελλοντικές τιμές των μεταβλητών σε ένα δυναμικό σύστημα. Ο καλύτερος τρόπος απεικόνισης μιας δυναμικής απόκρισης είναι να την θεωρήσουμε ως το αποτέλεσμα ενός εννοιολογικού πειράματος. Αυτό το πείραμα συγκρίνει το χρονικό προφίλ της επίδρασης που προκύπτει από ένα υποθετικό διάνυσμα κραδασμών  $m \times 1$ , που συμβολίζεται ως  $\delta = (\delta_1, \dots, \delta_m)'$ , το οποίο πλήττει την οικονομία στο χρόνο  $t$ , με ένα βασικό προφίλ στο χρόνο  $t + n$ , λαμβάνοντας υπόψη τα ιστορικά δεδομένα της οικονομίας.

Ας υποθέσουμε ότι το  $\Omega_{t-1}$  αντιπροσωπεύει τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα στο χρόνο  $t - 1$ , ας υποθέσουμε ότι το  $\mathbf{h} = [1, 2, \dots]$  είναι ο ορίζοντας πρόβλεψης, ας υποθέσουμε ότι το  $\mathbf{i} = [1, 2, 3, \dots, i_n]$  είναι ο αριθμός των μεταβλητών στο μοντέλο VAR οι οποίες συλλέγονται στον πίνακα  $\mathbf{X}$ , όπως το  $\mathbf{X}^i$  αναφέρεται στην  $i$ 'η μεταβλητή. Τέλος, ας υποθέσουμε ότι το  $\delta_i$  είναι η διέγερση της  $j$ 'ης μεταβλητής στο μοντέλο VAR, όπου  $\mathbf{j} = [1, 2, \dots, j_N]$  με  $i_N = j_N$ .

Οι GIR μπορούν να οριστούν ως εξής:

$$GIRF(i, t + h, \delta_t, \Omega_{t-1}) = E(X_{t+h}^i | \varepsilon_t = \delta_t, \Omega_{t-1}) - E(X_{t+h}^i | \Omega_{t-1}) \quad (3)$$

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (2) και (3) μπορούμε να λάβουμε τα εξής:

$$GIRF(i, t + h, \delta_j, \Omega_{t-1}) = A_{t+h} \delta$$

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι η έκφραση είναι ανεξάρτητη από το  $\Omega_{t-1}$  αλλά εξαρτάται από τη σύνθεση των διεγέρσεων που αντιπροσωπεύονται από το  $\delta$ . Ως εκ τούτου, μπορούμε σαφώς να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η κατάλληλη επιλογή του υποτιθέμενου διανύσματος διεγέρσεων  $\delta$ , είναι καθοριστική για τις ιδιότητες της συνάρτησης δυναμικής απόκρισης.

Η παραδοσιακή προσέγγιση, που προτάθηκε από τον Sims (1980), αντιμετωπίζει το ζήτημα της επιλογής του  $\delta$  χρησιμοποιώντας την αποσύνθεση Cholesky του  $\Sigma$ :

$$PP' = \Sigma$$

Όπου το  $P$  είναι ένας κάτω τριγωνικός πίνακας  $m \times m$ , ως εκ τούτου η εξίσωση (2) μπορεί να ξαναγραφτεί ως εξής:

$$x_t = \sum_{i=0}^{\infty} (A_i P)(P^{-1} \varepsilon_{t-i}) + \sum_{i=0}^{\infty} G_i w_{t-i} = \sum_{i=0}^{\infty} (A_i P) \xi_{t-i} + \sum_{i=0}^{\infty} G_i w_{t-i}, t = 1, 2, \dots, T$$

Όπου  $\xi_t = P^{-1} \varepsilon_{t-i}$  είναι ορθογώνισμένα. Επομένως, το διάνυσμα  $m \times 1$  που αντιπροσωπεύει την ορθογωνισμένη συνάρτηση απόκρισης μιας μοναδιαίας διέγερσης στην  $j$ -η εξίσωση επάνω στο  $x_{t+n}$  μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\psi_j^o(n) = A_n P e_j, n = 0, 1, 2, \dots$$

Όπου το  $e_j$  είναι ένα διάνυσμα που έχει μονάδα στην  $j$ -η θέση και μηδενικά αλλού.

Μια εναλλακτική προσέγγιση θα περιελάμβανε την άμεση αξιοποίηση της εξίσωσης (3), αλλά αντί να εφαρμόζουμε διεγέρσεις σε όλα τα στοιχεία του  $\varepsilon_t$ , θα μπορούσαμε να επιλέξουμε μόνο ένα στοιχείο, συγκεκριμένα το  $j$ -ο στοιχείο, και να εξετάσουμε τις ολοκληρωμένες επιπτώσεις άλλων διεγέρσεων χρησιμοποιώντας μια υποτιθέμενη ή ιστορικά παρατηρηθείσα κατανομή σφαλμάτων. Σε μια τέτοια περίπτωση, έχουμε:

$$GIRF(i, t + h, \delta_{j,t}, \Omega_{t-1}) = E(X_{t+h}^i | \varepsilon_{j,t} = \delta_{j,t}, \Omega_{t-1}) - E(X_{t+h}^i | \Omega_{t-1}) \quad (4)$$

Υποθέτοντας ότι το  $\varepsilon_t$  ακολουθεί μια πολυδιάστατη κανονική κατανομή, φαίνεται εύκολα ότι:

$$E(\varepsilon_t | \varepsilon_{j,t} = \delta_j) = (\sigma_{1j}, \sigma_{2j}, \dots, \sigma_{mj})' \sigma_{jj}^{-1} \delta_j = \sum e_j \sigma_{jj}^{-1} \delta_j$$

Όπου το διάνυσμα  $m \times 1$  της γενικευμένης συνάρτησης απόκρισης της επίδρασης μιας διέγερσης στην  $j$ -η εξίσωση στο χρόνο  $t$  επάνω στο  $x_{t+n}$  μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\left( \frac{A_n \sum e_j}{\sqrt{\sigma_{jj}}} \right) \left( \frac{\delta_j}{\sqrt{\sigma_{jj}}} \right), n = 0, 1, 2, \dots$$



Αν θέσουμε  $\delta_j = \sqrt{\sigma_{jj}}$  μπορούμε να λάβουμε τη διαιρεμένη γενικευμένη συνάρτηση παλμικής απόκρισης ως εξής:

$$\psi_j^g(n) = \sigma_{(j,j)}^{-\frac{1}{2}} A_n \sum e_j, n = 0, 1, 2, \dots$$

Που ποσοτικοποιεί την επίδραση μιας διέγερσης ενός τυπικού σφάλματος στην  $j$ -η εξίσωση στο χρόνο  $t$  στις αναμενόμενες τιμές του  $x$  στο χρόνο  $t + n$ .

#### 4.4.4 Ανάλυση της διακύμανσης των λαθών πρόβλεψης (FEVD)

Στην οικονομετρία και σε άλλες εφαρμογές της πολυδιάστατης ανάλυσης χρονοσειρών, χρησιμοποιείται μια ανάλυση αποσύνθεσης, γνωστή και ως ανάλυση της διακύμανσης των λαθών πρόβλεψης (FEVD), για να διευκολυνθεί η ερμηνεία ενός προσαρμοσμένου μοντέλου παλινδρόμησης διανυσμάτων (VAR). Δείχνει το ποσοστό του σφάλματος πρόβλεψης  $n$  βημάτων μπροστά της μεταβλητής  $i$ , το οποίο εξηγείται από τις καινοτομίες στη μεταβλητή  $j$  στο VAR. Η FEVD βοηθά στον προσδιορισμό της ποσότητας πληροφοριών που συνεισφέρει κάθε μεταβλητή στις άλλες μεταβλητές στην αυτόματη παλινδρόμηση και του πόσο μεγάλο μέρος του σφάλματος πρόβλεψης κάθε μεταβλητής μπορεί να αποδοθεί σε εξωγενείς κραδασμούς στις άλλες μεταβλητές. Για μια ανάλυση της FEVD με βάση τις ορθογώνισμένες συναρτήσεις απόκρισης, ανατρέξτε στο Lutkepohl (1991, Section 2.3.3).

Οι ορθογώνισμένες και γενικευμένες αναλύσεις σφάλματος πρόβλεψης  $\theta_{ij}^o(n)$  και  $\theta_{ij}^g(n)$  αντίστοιχα, μπορούν να εκφραστούν μαθηματικά ως:

$$\theta_{ij}^o(n) = \frac{\sum_{l=0}^n (e_i' A_l P e_j)^2}{\sum_{l=0}^n (e_i' A_l \Sigma A_l' e_i)} \text{ και } \theta_{ij}^g(n) = \frac{\sigma_{ii}^{-1} \sum_{l=0}^n (e_i' A_l \Sigma e_j)^2}{\sum_{l=0}^n (e_i' A_l \Sigma A_l' e_i)}, i, j = 1, 2, \dots, m$$

όπου:

- Το  $A_l$  είναι ο πίνακας συντελεστών MA στην υστέρηση  $l$  από  $n$  υστερήσεις.
- Το  $\Sigma$  είναι ο πίνακας συνδιακύμανσης των καταλοίπων.
- Το  $P$  είναι ο κάτω τριγωνικός πίνακας ο οποίος στην γενικευμένη FEVD  $\theta_{ij}^g$  αντικαθίσταται από τον πίνακα συνδιακύμανσης των υπολειμμάτων.
- Τα  $e_i$  και  $e_j$  είναι διανύσματα βάσης με μονάδα στους δείκτες  $i$  και  $j$ , αντίστοιχα.

Ο αριθμητής αποτελεί το άθροισμα όλων των σφαλμάτων πρόβλεψης για τον χρονικό ορίζοντα  $n$  για τη μεταβλητή  $i$  που μπορούν να αποδοθούν στη μεταβλητή  $j$ , ενώ ο παρονομαστής αποτελεί το συνολικό σφάλμα πρόβλεψης για τη μεταβλητή  $i$ .

Σημειώστε ότι λόγω της κατασκευής, το  $\sum_{j=1}^m \theta_{ij}^g(n) = 1$ , κάτι που δεν ισχύει για το  $\theta_{ij}^g$  λόγω της παρουσίας μη μηδενικής συνδιακύμανσης μεταξύ των αρχικών (δηλαδή, μη ορθογώνισμένων) κραδασμών, ως εκ τούτου το  $\sum_{j=1}^m \theta_{ij}^g(n) \neq 1$ .

#### 4.6 Συνολοκλήρωση στις χρονοσειρές

Η ιδέα της συνολοκλήρωσης σε χρονοσειρές προέκυψε από τη μελέτη σχέσεων μεταξύ μη σταθερών χρονοσειρών, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μια κοινή στοχαστική τάση έτσι ώστε, μακροπρόθεσμα, οι αποκλίσεις τους να παραμένουν σταθερές. Το φαινόμενο της συνολοκλήρωσης σχετίζεται επομένως στενά με την έννοια της μονάδας ρίζας και της τάξης ενσωμάτωσης μιας χρονοσειράς. Επίσης, η συνολοκλήρωση σχετίζεται στενά με τα μοντέλα VAR, τα οποία αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη μοντέλων διόρθωσης σφάλματος διανυσμάτων μεταξύ συνολοκληρωμένων χρονοσειρών (Johansen, 1988).

Συχνά, οι χρονοσειρές παρουσιάζουν σημαντική συσχέτιση ακόμη και όταν δεν υπάρχει άμεση αιτιώδης σχέση μεταξύ τους. Ο Yule (1926) ήταν ένας από τους πρώτους ερευνητές που διερεύνησε αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως ψευδείς συσχετίσεις σε χρονοσειρές. Σε ένα δείγμα βρετανικών δεδομένων που κάλυπτε την περίοδο 1866-1911, ο Yule ανακάλυψε μια σχεδόν τέλεια συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού θνησιμότητας και του ποσοστού γάμου. Ωστόσο, αυτή η συσχέτιση ήταν σαφώς εσφαλμένη και προέκυψε λόγω του ότι οι χρονοσειρές συσχετίζονταν με τη μεταβλητή του χρόνου, οδηγώντας σε παραπλανητικά συμπεράσματα. Αυτό το φαινόμενο αναφέρεται συνήθως στη βιβλιογραφία ως ψευδής παλινδρόμηση.

Οι Granger και Newbold (1974) τόνισαν ότι οι παλινδρομήσεις που παρουσιάζουν υψηλές τιμές  $R^2$  και χαμηλά επίπεδα Durbin-Watson test (DW) (που υποδεικνύει υψηλή αυτοσυσχέτιση στα υπολείμματα) μπορούν να οδηγήσουν σε απατηλά αποτελέσματα όταν εφαρμόζονται γνωστά στατιστικά κριτήρια όπως οι t-student και F-test. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μεταβλητές που αναλύονται δεν έχουν σταθερή μέση τιμή και οι διασπορές τους αποκλίνουν καθώς αυξάνεται το μέγεθος του δείγματος, με αποτέλεσμα οι κατανομές τους να αποκλίνουν από τις κανονικές κατανομές. Επιπλέον, οι εκτιμήσεις των ελάχιστων τετραγώνων δεν συγκλίνουν ασυμπτωτικά στις πραγματικές τιμές του πληθυσμού, η δοκιμή DW τείνει προς το μηδέν και οι τυπικές t και F κατανομές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για στατιστική συμπεράσματα (Phillips, 1986).

Σύμφωνα με τον ορισμό των Engle και Granger (1987), ένα διάνυσμα χρονοσειρών που συμβολίζεται ως  $Y_t = [Y_{1t}, Y_{2t}, \dots, Y_{kt}]$  με διαστάσεις  $k \times 1$  λέγεται ότι είναι συνολοκληρωμένο τάξης  $(d, b)$ , που συμβολίζεται ως  $CI(d, b)$ , εάν ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- Κάθε ξεχωριστή χρονοσειρά μέσα στο διάνυσμα  $Y_t$  είναι συνολοκληρωμένη τάξης  $d$ , που συμβολίζεται ως  $I(d)$ .
- Υπάρχει ένα μη μηδενικό διάνυσμα  $\beta$  με διαστάσεις  $k \times 1$ , που αναφέρεται ως διάνυσμα συνενσωμάτωσης, έτσι ώστε ο γραμμικός συνδυασμός:  $\beta' Y_t = \beta_1 Y_{1t} + \beta_2 Y_{2t} + \dots + \beta_k Y_{kt} \sim I(d - b)$ ,  $b > 0$ . Με άλλα λόγια, το  $\beta' Y_t$  παρουσιάζει συνολοκλήρωση χαμηλότερης τάξης  $(d-b)$  σε σύγκριση με τις μεμονωμένες χρονοσειρές.

#### 4.7 Διανυσματικά Υποδείγματα Διόρθωσης Λαθών (VECM)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι συνολοκληρωμένες μεταβλητές παρουσιάζουν ένα παρόμοιο μοτίβο τυχαιότητας και παρά το γεγονός ότι δεν είναι σταθερές, διατηρούν μια σταθερή σχέση μεταξύ τους με την πάροδο του χρόνου. Αν και μπορεί να αποκλίνουν από τη μέση τιμή, υπάρχει ένας μηχανισμός που διορθώνει τις βραχυπρόθεσμες ανισορροπίες, ιδιαίτερα σε ορισμένες από τις μεταβλητές, και τις επαναφέρει στη μακροπρόθεσμη τροχιά τους.

Σύμφωνα με το αντιπροσωπευτικό θεώρημα του Granger, το οποίο προτάθηκε από τους Granger (1983) και Engel και Granger (1987), εάν οι μεταβλητές  $Y_t$  και  $X_t$  είναι τάξης  $I(1)$  και συνολοκληρωμένες, ένα μοντέλο διόρθωσης σφάλματος μπορεί να διατυπωθεί με τον ακόλουθο τρόπο:

$$\Delta Y_t = -\gamma_1 \varepsilon_{t-1} + \text{lags}(\Delta Y_t, \Delta X_t) + u_{1t}, |\gamma_1| \neq 0$$

$$\Delta X_t = -\gamma_2 \varepsilon_{t-1} + \text{lags}(\Delta Y_t, \Delta X_t) + u_{2t}, |\gamma_2| \neq 0$$

όπου  $u_{it}$  ( $i = 1,2$ ) είναι λευκός θόρυβος,  $\varepsilon_{t-1}$  είναι το σφάλμα της συνολοκληρωμένης παλινδρόμησης με υστέρηση=1 και κατ' ορισμόν  $\varepsilon_t \sim I(0)$ . Αξιοσημείωτο είναι ότι υπάρχει πλήρης συμμετρία μεταξύ των  $Y_t$  και  $X_t$ , όπου η έννοια της 'εξαρτημένης' ή 'ανεξάρτητης' μεταβλητής αγνοείται στις εξισώσεις συνολοκλήρωσης. Με απλά λόγια, εξετάζουμε την αλληλεπίδραση δύο ή περισσότερων μεταβλητών χωρίς καμία προκαταρκτική υπόθεση για την αιτιώδη σχέση μεταξύ τους.

Το VEC μοντέλο προσφέρει το πλεονέκτημα της ενσωμάτωσης τόσο βραχυπρόθεσμων συνδέσεων (μέσω των πρώτων διαφορών) όσο και μακροπρόθεσμων συνδέσεων (μέσω του όρου  $-\gamma_1 \varepsilon_{t-1}$  και  $-\gamma_2 \varepsilon_{t-1}$ ).

#### 4.8 Μεθοδολογία Συνολοκλήρωσης των Engle και Granger

Η μεθοδολογία των Engle και Granger για τη δοκιμή συνολοκλήρωσης μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών είναι μια εφαρμογή του θεωρήματος αντιποσότητας που προτάθηκε αρχικά από τον Granger (1981) και αναπτύχθηκε περαιτέρω από τους Engle και Granger (1987). Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιείται ευρέως στην οικονομετρία και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάλυση των μακροπρόθεσμων σχέσεων μεταξύ μη σταθερών δεδομένων χρονοσειρών.

##### 4.8.1 Βασικά βήματα της δοκιμής Engle-Granger

*Βήμα 1: Προσδιορισμός της τάξης συνολοκλήρωσης*

Σε αυτό το βήμα, δοκιμάζεται η μοναδιαία ρίζα κάθε χρονοσειράς χωρίς τη χρήση των κατάλληλων τεστ μοναδιαίας ρίζας, όπως τα τεστ Augmented Dickey-Fuller (ADF) ή Phillips-Perron. Εάν όλες οι υπό εξέταση χρονοσειρές είναι συνολοκληρωμένες τάξης  $I(1)$  (δηλαδή γίνονται σταθερές μετά από μια διαφορά), η δοκιμή προχωρά στο επόμενο βήμα. Εάν οι χρονοσειρές παρουσιάζουν διαφορετικές τάξεις συνολοκλήρωσης (π.χ., μία ως  $I(1)$  και άλλες ως  $I(2)$ ), αυτό υποδηλώνει ότι δεν είναι συνολοκληρωμένες και η διαδικασία τερματίζεται. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η δοκιμή Engle-Granger υποθέτει μόνο μεταβλητές  $I(1)$  (Granger (1981), Engle και Granger (1987)).

### *Βήμα 2: Εκτίμηση της εξίσωσης συνολοκλήρωσης*

Μόλις διαπιστωθεί ότι όλες οι μεταβλητές έχουν την ίδια τάξη συνολοκλήρωσης, το επόμενο βήμα περιλαμβάνει την εκτίμηση της μακροπρόθεσμης σχέσης μεταξύ τους χρησιμοποιώντας παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων (OLS). Εκτιμώντας την εξίσωση παλινδρόμησης  $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon_t$ , όπου  $Y$  και  $X$  αντιπροσωπεύουν τις μεταβλητές,  $\beta_0$  και  $\beta_1$  είναι συντελεστές και  $\varepsilon_t$ , είναι ο όρος λάθους, λαμβάνουμε τις εκτιμήσεις των καταλοίπων  $\varepsilon' = Y - \beta'_0 - \beta'_1 X$ . Τα κατάλοιπα πρέπει να είναι σταθερά ( $I(0)$ ) προκειμένου να ισχύει η παραδοχή της συνολοκλήρωσης (Granger (1981), Engel and Granger (1987)).

### *Βήμα 3: Έλεγχος συνολοκλήρωσης βάσει καταλοίπων*

Στο τελικό βήμα, τα κατάλοιπα που προκύπτουν από την εξίσωση συνολοκλήρωσης ελέγχονται για σταθερότητα χρησιμοποιώντας τεστ μοναδιαίας ρίζας, όπως τα τεστ ADF ή Phillips-Perron. Εάν τα αποτελέσματα των τεστ δείχνουν ότι τα κατάλοιπα είναι σταθερά ( $I(0)$ ), υποδηλώνεται η ύπαρξη συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών. Ωστόσο, εάν τα κατάλοιπα είναι μη σταθερά, αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει μακροπρόθεσμη σχέση ή συνολοκλήρωσης. Χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Engle-Granger, το τεστ Augmented Dickey-Fuller (ADF) χρησιμοποιείται με μια εξίσωση παλινδρόμησης:

$$\Delta \hat{\varepsilon}_t = \beta \hat{\varepsilon}_{t-1} + lags(\Delta \hat{\varepsilon}_t) + error\ term$$

όπου ο όρος λάθους θεωρείται λευκός θόρυβος. Το τεστ μοναδιαίας ρίζας που διενεργείται στα κατάλοιπα χρησιμεύει ως στατιστικό τεστ σημαντικότητας για την παράμετρο  $\beta$  και ισοδυναμεί με το τεστ για μη συνολοκλήρωσης (Granger (1981), Engel και Granger (1987)).

Η μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ) αναφέρει ότι  $\beta = 0$ , υποδεικνύοντας μη συνολοκλήρωση. Η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης λόγω της ύπαρξης μιας μοναδιαίας ρίζας στον όρο λάθους συνεπάγεται την απόρριψη της υπόθεσης μη συνολοκλήρωσης, οδηγώντας μας στο συμπέρασμα ότι τα κατάλοιπα ( $\varepsilon$ ) ακολουθούν μια διαδικασία  $I(0)$ . Συνεπώς, υποδηλώνει ότι οι μεταβλητές  $Y$  και  $X$  είναι συνενσωματωμένες ως  $CI(1,1)$ .

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τυπικές κρίσιμες τιμές Dickey-Fuller που χρησιμοποιούνται συνήθως για τα τεστ μοναδιαίας ρίζας δεν είναι κατάλληλες στην περίπτωση ελέγχων συνολοκλήρωσης. Αυτό συμβαίνει επειδή η μεταβλητή που αναλύεται αντιπροσωπεύει το εκτιμώμενο υπόλειμμα μιας παλινδρόμησης και η πραγματική της τιμή είναι άγνωστη στον ερευνητή. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, οι Engle και Granger (1987) παρέχουν κρίσιμες τιμές που προέρχονται από πειράματα προσομοίωσης ειδικά σχεδιασμένα για δοκιμές συνολοκλήρωσης. Επιπλέον, για περιπτώσεις που περιλαμβάνουν δοκιμές συνολοκλήρωσης μεταξύ περισσότερων από δύο μεταβλητών, οι Engle και Yoo (1987) έχουν αναπτύξει κατάλληλους πίνακες ελέγχου.

Επιπρόσθετα, εκτός από τις κρίσιμες τιμές των Engle και Yoo (1987), ο Machinnon (1991) έχει προτείνει αναθεωρημένες κρίσιμες τιμές που περιλαμβάνουν καταστάσεις όπου η συνολοκλήρωμένη εξίσωση παλινδρόμησης περιλαμβάνει μια ντετερμινιστική τάση. Αυτές οι αναθεωρημένες τιμές προσφέρουν βελτιωμένη ακρίβεια σε δοκιμές συνολοκλήρωσης υπό διάφορα σενάρια.

Είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι η μεθοδολογία Engle και Granger έχει αντιμετωπίσει ορισμένους περιορισμούς, οι πιο αξιοσημείωτοι από τους οποίους περιγράφονται παρακάτω:

- Πολυμεταβλητά μοντέλα και μη αναγνωρίσιμες διανύσματα συνολοκλήρωσης:

Στην περίπτωση ενός πολυμεταβλητού μοντέλου, είναι δυνατό να έχουμε περισσότερα από ένα διάνυσμα συνολοκλήρωσης και αυτά τα διανύσματα μπορεί να μην είναι μοναδικά αναγνωρίσιμα. Ωστόσο, η μεθοδολογία Engle και Granger δεν έχει τη δυνατότητα να προσδιορίζει τον αριθμό των ανεξάρτητων διανυσμάτων συνολοκλήρωσης. Αντιθέτως, η μέθοδος Johansen, μια εναλλακτική προσέγγιση στην ανάλυση συνολοκλήρωσης που παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα, μπορεί να αντιμετωπίσει αυτό το ζήτημα παρέχοντας πληροφορίες για τον αριθμό των σχέσεων συνολοκλήρωσης που υπάρχουν στα δεδομένα.

- Αμφισημία στην επιλογή της μεταβλητής της αριστερής πλευράς:

Για να εκτιμήσουμε τη σχέση συνολοκλήρωσης, η οποία είναι επίσης η μακροπρόθεσμη σχέση ισορροπίας, πρέπει να επιλέξουμε μία από τις μεταβλητές για την αριστερή πλευρά της εξίσωσης. Την ίδια στιγμή, οι υπόλοιπες εισάγονται στη δεξιά πλευρά. Η δοκιμή Engle και Granger μπορεί να εφαρμοστεί σε ουσιαστικά οποιαδήποτε εξίσωση, ανεξάρτητα από το ποια μεταβλητή βρίσκεται στην αριστερή πλευρά. Ενώ αυτό μπορεί να μην θέτει σημαντικά ζητήματα σε μεγάλα δείγματα, έχει παρατηρηθεί ότι δημιουργεί αντιφατικά αποτελέσματα στις δοκιμές συνολοκλήρωσης για μικρά δείγματα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, διαφορετικές παλινδρομήσεις μπορεί να οδηγήσουν σε αντίθετα αποτελέσματα σχετικά με την ύπαρξη συνολοκλήρωσης. Αυτή η ασυνέπεια θεωρείται σημαντικό μειονέκτημα της προσέγγισης Engle και Granger.

- Σφάλματα μεροληψίας και μικρό μέγεθος δείγματος:

Τέλος, η μεθοδολογία των Engle και Granger βασίζεται σε εκτίμηση δύο σταδίων, όπως αναφέρθηκε. Στο πρώτο στάδιο εκτιμώνται τα κατάλοιπα από την εξίσωση συνολοκλήρωσης και στο δεύτερο εκτιμάται η παλινδρόμηση για να ελεγχθεί για μοναδιαία ρίζα στα εκτιμώμενα κατάλοιπα. Ως εκ τούτου, τα σφάλματα μεροληψίας σε περιπτώσεις μικρού μεγέθους δείγματος που παρουσιάζονται από την εκτίμηση του πρώτου σταδίου μεταφέρονται στο δεύτερο (Banerjee 1993).

Παρά αυτούς τους περιορισμούς, το τεστ Engle-Granger παραμένει ένα πολύτιμο εργαλείο στην ανάλυση χρονοσειρών για τον εντοπισμό συνολοκλήρωσης και την κατανόηση των μακροπρόθεσμων σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Οι ερευνητές το χρησιμοποιούν συχνά ως προκαταρκτικό τεστ πριν εφαρμόσουν πιο εξελιγμένα μοντέλα, όπως τα μοντέλα διόρθωσης σφαλμάτων διανυσμάτων (VECMs), για να καταγράψουν δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ συνολοκληρωμένων μεταβλητών.

## 4.9 Μεθοδολογία Johansen για Συνολοκλήρωση

Η προσέγγιση Johansen βασίζεται στην αυτοπαλινδρόμηση διανυσμάτων (VAR) με τάξη  $p$ . Το μοντέλο VAR εκπροσωπείται από μια εξίσωση όπως:

$$y_t = \mu + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t$$

όπου  $y_t$  είναι ένα διάνυσμα  $n \times 1$  μεταβλητών που είναι ενσωματωμένες τάξης ένα ( $I(1)$ ) και  $\varepsilon_t$  είναι ένα διάνυσμα  $n \times 1$  νεωτερισμών. Με την επανάληψη του μοντέλου VAR όπως παρακάτω:

$$\Delta y_t = \mu + \Pi y(t-1) + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t$$

όπου  $\Pi = \sum_{i=1}^p A_i$  και  $\Gamma_i = -\sum_{j=i+1}^p A_j$ .

Ο Johansen (1995) αναφέρει ότι εάν ο πίνακας συντελεστών  $\Pi$  έχει μειωμένη τάξη  $r$ , υπάρχουν πίνακες  $n \times r$   $\alpha$  και  $\beta$ , έκαστος με τάξη  $r$ . Ο πίνακας  $\Pi$  μπορεί να εκφραστεί ως το γινόμενο των  $\alpha$  και  $\beta'$ , και το  $\beta' y$  αντιπροσωπεύει ένα σταθερό διάνυσμα. Η τιμή του  $r$  αντιπροσωπεύει τον αριθμό των σχέσεων συνολοκλήρωσης, και το  $\alpha$  περιέχει τις παραμέτρους προσαρμογής στο διανυσματικό μοντέλο λαθών διόρθωσης λαθών διανυσμάτων, ενώ κάθε στήλη του  $\beta$  είναι ένα διάνυσμα συνολοκλήρωσης.

Ο εκτιμητής μέγιστης πιθανοφάνειας του  $\beta$ , για ένα δεδομένο  $r$ , προσδιορίζει τον συνδυασμό του  $y_{t-1}$  που παράγει τις  $r$  μεγαλύτερες κανονικές συσχετίσεις του  $\Delta y$  με το  $y_{t-1}$ , λαμβάνοντας υπόψη τις υστερούσες διαφορές και τις ντετερμινιστικές μεταβλητές, εάν υπάρχουν. Ο Johansen (1995) προτείνει δύο δοκιμές λόγου πιθανοφάνειας για την αξιολόγηση της σημαντικότητας αυτών των κανονικών συσχετίσεων και της μειωμένης τάξης του πίνακα  $\Pi$ . Αυτές οι δοκιμές είναι η δοκιμή ίχνους και η δοκιμή μέγιστης ιδιοτιμής, οι οποίες περιγράφονται από τις εξισώσεις (1) και (2) αντίστοιχα:

$$J_{trace} = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (1)$$

$$J_{max} = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_{r+1}) \quad (2)$$

Σε αυτές τις εξισώσεις, το  $T$  αντιπροσωπεύει το μέγεθος του δείγματος και το  $\hat{\lambda}_i$  είναι η  $i$ -ή μεγαλύτερη κανονική συσχέτιση. Η δοκιμή ίχνους εξετάζει τη μηδενική υπόθεση των  $r$  διανυσμάτων συνολοκλήρωσης έναντι της εναλλακτικής υπόθεσης των  $n$  διανυσμάτων συνολοκλήρωσης, ενώ η δοκιμή της μέγιστης ιδιοτιμής συγκρίνει τη μηδενική υπόθεση των  $r$  διανυσμάτων συνολοκλήρωσης με την εναλλακτική υπόθεση των  $r+1$  διανυσμάτων συνολοκλήρωσης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτά τα στατιστικά δοκιμής δεν ακολουθούν γενικά μια κατανομή  $\chi^2$ . Οι ασυμπτωτικές κρίσιμες τιμές μπορούν να ληφθούν από τους Johansen και Juselius (1990) ή από πακέτα οικονομετρικού λογισμικού.

Αν και η μεθοδολογία Johansen χρησιμοποιείται συνήθως όταν όλες οι μεταβλητές στο σύστημα είναι  $I(1)$ , η παρουσία σταθερών μεταβλητών στο σύστημα είναι θεωρητικά αποδεκτή. Ο Johansen αναφέρει ότι δεν υπάρχει σημαντική ανάγκη για προ-δοκιμή των μεταβλητών για να καθοριστεί η τάξη συνολοκλήρωσής τους. Εάν μια μεμονωμένη

μεταβλητή είναι  $I(0)$  αντί για  $I(1)$ , μπορεί να αναγνωρισθεί μέσω ενός διανύσματος συνολοκλήρωσης όπου ο χώρος καλύπτεται από τη μοναδική σταθερή μεταβλητή στο μοντέλο.

Όταν το  $\Pi$  έχει πλήρη τάξη, υποδεικνύοντας ότι όλες οι  $n$  μεταβλητές στο σύστημα είναι σταθερές, δεν υπάρχει ανάγκη διάκρισης μεταξύ μεταβλητών  $I(1)$  και  $I(0)$ . Αυτή η παραδοχή βασίζεται στην ιδέα ότι οποιαδήποτε μεταβλητή δεν ταξινομείται ως  $I(1)$  ή ως καθαρή διαδικασία μοναδιαίας ρίζας είναι μια σταθερή διαδικασία  $I(0)$ . Ωστόσο, αυτή η ευελιξία δεν καθιστά τη μέθοδο ισχυρή σε μεταβλητές που είναι σχεδόν συνολοκληρωμένες, καθώς δεν εμπίπτουν σε καμία από τις δύο ταξινομήσεις.

Παρ' όλα αυτά, οι δοκιμές προδιαγραφών που αναφέρθηκαν παραπάνω για το διάνυσμα συνολοκλήρωσης προσφέρουν έναν τρόπο ενίσχυσης της αντοχής των συμπερασμάτων όταν υπάρχουν πιθανότητα ύπαρξης μοναδιαίας-ρίζας στις μεταβλητές. Για παράδειγμα, στη διμεταβλητή περίπτωση που περιγράφηκε προηγουμένως, η ρητή δοκιμή του εάν  $\beta = (0 \ 1)'$  μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση και την απόρριψη εσφαλμένων σχέσεων που μπορεί να μην εντοπιστούν από τις αρχικές δοκιμές μέγιστης ιδιοτιμής ή ίχνους.

#### 4.10 Η Γενικευμένη Ανάλυση Συναρτήσεων Απόκρισης σε Ένα Συνολοκληρωμένο Μοντέλο VAR

Σε αυτή την ενότητα, επεκτείνουμε το πεδίο εφαρμογής των γενικευμένων δυναμικών συναρτήσεων απόκρισης εφαρμόζοντάς τες σε ένα συνολοκληρωμένο μοντέλο VAR, γνωστό και ως μοντέλο διόρθωσης λαθών (VEC). Η συζήτηση αντιμετωπίζει τις οικονομετρικές ανησυχίες που σχετίζονται με την ανάλυση μοντέλων VEC, όπως εξετάζονται σε εργασίες όπως οι Johansen (1995) και Pesaran, Shin, και Smith (1997). Ωστόσο, η κύρια έμφαση μας εδώ είναι να παρέχουμε μια συνοπτική επισκόπηση των προκλήσεων εκτίμησης, με ιδιαίτερη προσοχή στις γενικευμένες συναρτήσεις δυναμικών αποκρίσεων.

Εξετάστε το ακόλουθο επαυξημένο μοντέλο αυτοπαλίνδρομων διανυσμάτων:

$$x_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i x_{t-i} + \Psi w_t + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

όπου  $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{mt})$  είναι ένα διάνυσμα  $m \times 1$  συλλογικά καθορισμένων εξαρτημένων μεταβλητών,  $w_t$  είναι ένα διάνυσμα  $q \times 1$  ντετερμινιστικών και/ή εξωγενών μεταβλητών και  $\Phi_i, \Psi$  για  $i = 1, 2, \dots, p$  είναι πίνακες συντελεστών  $m \times m$  και  $m \times q$  αντίστοιχα.

Για να αντιμετωπιστεί η παρουσία μοναδιαίων ριζών και η έννοια της συνολοκλήρωσης, πρέπει να γίνει η ακόλουθη παραδοχή: οι ρίζες του  $|I_m - \sum_{i=1}^p \Phi_i z^i| = 0$  ικανοποιούν την εξίσωση  $|z| > 1$  ή  $z = 1$ .

Ακολουθώντας αυτή την παραδοχή, μπορούμε να μετασχηματίσουμε το μοντέλο VAR σε ένα μοντέλο VEC της ακόλουθης μορφής:

$$\Delta x_t = -\Pi x(t-1) + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta x_{t-i} + \Pi \Lambda w_t + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, T. \quad (2)$$

όπου  $\Pi = I_m - \sum_{i=1}^p \Phi_i$ ,  $\Gamma_i = -\sum_{j=i+1}^p \Phi_j$  για  $i = 1, 2, \dots, p-1$  και  $\Lambda$  είναι ένας πίνακας  $m \times q$  άγνωστων συντελεστών. Οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων των μοντέλων VAR και VEC μπορούν επίσης να εκφραστούν ως:

$$\Phi_1 = I_m - \Pi - \Gamma_1, \Phi_i = \Gamma_i - \Gamma_{i-1} \text{ για } i = 2, \dots, p-1, \Phi_p = -\Gamma_{p-1}.$$

Υποθέτοντας ότι το σύστημα (2) παρουσιάζει συνολοκλήρωση, δηλαδή ότι υπάρχει ένας πίνακας  $m \times r$   $\beta$  όπου το διάνυσμα  $r \times 1$   $z_t = \beta' x_t$  είναι σταθερό, όπου  $1 \leq r < m$ . Οι περιορισμοί συνενσωμάτωσης μπορούν να αναπαρασταθούν τυπικά ως:

$$\Pi = \alpha \beta'$$

όπου  $\alpha$  και  $\beta$  είναι πίνακες  $m \times r$  πλήρους τάξης  $r$ , οπότε  $\text{rank}(\Pi) = r$ . Με την διασφάλιση ότι οι υποκείμενες μεταβλητές στο  $x_t$  είναι το πολύ  $I(1)$ , καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το  $x_t$  θα είναι σταθερό στις πρώτες διαφορές και, ως εκ τούτου, το  $\Delta x_t$  μπορεί να γραφτεί με την ακόλουθη μορφή:

$$\Delta x_t = \sum_{i=0}^{\infty} C_i \varepsilon_{t-i} + \sum_{i=0}^{\infty} C_i \Pi \Lambda w_{t-i}, t = 1, 2, \dots, T. \quad (3)$$

Από την οποία μπορούμε να λάβουμε την κλιμακωμένη γενικευμένη συνάρτηση αποκρίσεων με την εξίσωση:

$$\psi_{\Delta x, j}^g(n) = \sigma_{(j, j)}^{-\frac{1}{2}} C_n \sum e_j, n = 0, 1, 2, \dots$$

Αυτή η εξίσωση ποσοτικοποιεί τον αντίκτυπο μιας διαταραχής στην  $j$ -η εξίσωση του συστήματος (3) στις μελλοντικές τιμές του  $\Delta x_t$ . Επιπλέον, προκύπτουν οι γενικευμένες συναρτήσεις απόκρισης του  $x_{t+n}$  σε σχέση με μια διαταραχή στην  $j$ -η εξίσωση με την εξίσωση:

$$\psi_{x, j}^g(n) = \sigma_{(j, j)}^{-\frac{1}{2}} B_n \sum e_j, n = 0, 1, 2, \dots$$

Όπου  $B(n) = \sum_{j=0}^n C_j$  είναι η σωρευτική επίδραση του πίνακα  $B_0 = C_0 = I_m$  (Pesaran and Shin (1997)).

#### 4.11 Δείκτης "Spillover" Diebold και Yilmaz

Αυτή η ενότητα θα παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τον γενικευμένο δείκτη "spillover" όπως ορίζεται στην εργασία των Diebold και Yilmaz (δείκτης DY).



Ας εξετάσουμε ένα μοντέλο αυτοπαλίνδρομων διανυσμάτων (VAR) τάξης  $p$  με  $N$  μεταβλητές το οποίο είναι στάσιμο ως προς τη συνδιασπορά. Το μοντέλο μπορεί να αντιπροσωπευτεί από την εξίσωση  $x_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i x_{t-i} + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, T$  (1), όπου το  $\varepsilon$  ακολουθεί μια πολυδιάστατη κανονική κατανομή με μέσο όρο μηδέν και πίνακα συνδιασποράς  $\Sigma$  ( $\varepsilon \sim N(0, \Sigma)$ ). Οι διαταραχές  $\varepsilon_t$  είναι ανεξάρτητες και ταυτόσημα κατανεμημένες. Το μοντέλο VAR μπορεί επίσης να εκφραστεί σε όρους μιας αναπαράστασης κινητών μέσων:  $x_t = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \varepsilon_{t-i}, t = 1, 2, \dots, T$  (2). Οι συντελεστές, όπως οι συναρτήσεις απόκρισης παροχών και η διακύμανση των λαθών πρόβλεψης, που παράγονται μέσα από αυτό το υπόδειγμα των κινητών μέσων είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της δυναμικής του συστήματος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι αποσυνθέσεις διακύμανσης μας επιτρέπουν να αναλύσουμε το ποσοστό της διακύμανσης των λαθών πρόβλεψης για κάθε μεταβλητή που μπορεί να αποδοθεί σε διαφορετικές διαταραχές στο σύστημα. Αποσυνθέτοντας τη διακύμανση, μπορούμε να αξιολογήσουμε τον αντίκτυπο των διαταραχών στη μεταβλητή  $x_j$  στη διακύμανση σφάλματος πρόβλεψης της μεταβλητής  $x_i$ , για όλα τα  $j \neq i$ . Για τον υπολογισμό των διακυμάνσεων των λαθών πρόβλεψης απαιτούνται ορθογώνια λάθη (orthogonal innovations). Ωστόσο, τα λάθη/κατάλοιπα στο μοντέλο VAR μας είναι γενικά συγχρόνος συσχετισμένα. Η ορθογώνιοτητα μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας σχήματα ταυτοποίησης όπως η παραγοντοποίηση Cholesky, αλλά οι προκύπτουσες διασπάσεις διακύμανσης εξαρτώνται από την ταξινόμηση των μεταβλητών. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, χρησιμοποιούμε το γενικευμένο πλαίσιο VAR που προτάθηκε από τους Koop, Pesaran και Potter (1996) και Pesaran και Shin (1997), γνωστό ως KPPS. Αυτό το πλαίσιο παράγει αναλύσεις διακυμάνσεων των λαθών που είναι αναλλοίωτες στην ταξινόμηση των μεταβλητών. Αντί να ορθογωνίζει τις διαταραχές, η γενικευμένη προσέγγιση επιτρέπει συσχετισμένες διαταραχές και τις λαμβάνει σωστά υπόψη χρησιμοποιώντας την παρατηρούμενη ιστορική κατανομή των σφαλμάτων. Ως συνέπεια του ότι οι διαταραχές δεν είναι ορθογώνιες, το άθροισμα των συνεισφορών στη διακύμανση σφάλματος πρόβλεψης (δηλαδή το άθροισμα των γραμμών των στοιχείων στον πίνακα αποσύνθεσης διακύμανσης) μπορεί να μην είναι απαραίτητα ίσο με ένα.

#### 4.11.1 Ποσοστό Διακύμανσης

Μπορούμε να ορίσουμε τα "ποσοστά διακύμανσης" ως τα ποσοστά των διακυμάνσεων σφάλματος πρόβλεψης για τη μεταβλητή  $x_i$  που μπορούν να αποδοθούν σε διαταραχές ειδικά στο  $x_i$ , για όλα τα  $i$  από 1 έως  $N$ . Επιπλέον, μπορούμε να ορίσουμε τα "διασταυρούμενα ποσοστά διακύμανσης" ή τα "spillover effects" ως τα ποσοστά των διακυμάνσεων σφάλματος πρόβλεψης για τη μεταβλητή  $x_i$  που μπορούν να αποδοθούν σε διαταραχές στη μεταβλητή  $x_j$ , όπου  $i, j = 1, \dots, N$  και  $i \neq j$ .

Εάν αναπαραστήσουμε την ανάλυση της διακύμανσης των λαθών πρόβλεψης  $H$  βημάτων

μπροστά ως εξής:  $\theta_{ij}^g(H) = \frac{\sigma_{jj}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_i A_h \Sigma e_j)^2}{\sum_{h=0}^{H-1} (e_i A_h \Sigma A_h' e_i)}$ . Όπου  $\Sigma$  αντιπροσωπεύει τον πίνακα

συνδιασποράς για τον διάνυσμα σφαλμάτων  $\varepsilon$ ,  $\sigma_{jj}$  υποδηλώνει την τυπική απόκλιση του όρου σφάλματος για την  $j$ -η εξίσωση και  $e_i$  είναι ένας διάνυσμα επιλογής με τιμή ένα στην  $i$ -η θέση και μηδενικά αλλού. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το άθροισμα των στοιχείων σε κάθε γραμμή του πίνακα διακύμανσης των λαθών πρόβλεψης δεν είναι ίσο με 1 ( $\sum_{j=1}^N [\theta_{ij}^g(H) \neq 1]$ ).

Για να αξιοποιήσουμε τις πληροφορίες που παρέχονται από τον πίνακα διακύμανσης των λαθών πρόβλεψης για τον υπολογισμό του δείκτη “spillover”, χρησιμοποιούμε μια διαδικασία ομαλοποίησης. Κάθε καταχώρηση στον πίνακα διασπάσεων διακύμανσης ομαλοποιείται διαιρώντας την με το άθροισμα όλων των καταχωρήσεων στη αντίστοιχη

γραμμή της:  $\tilde{\theta}_{ij}^g(H) = \frac{\theta_{ij}^g(H)}{\sum_{j=1}^N \theta_{ij}^g(H)}$ . Κατά συνέπεια, λόγω της κατασκευής,

$$\sum_{j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) = 1, \quad \sum_{i,j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) = N.$$

#### 4.11.2 Συνολικός Δείκτη Διασποράς Μεταβλητότητας (Total spillovers effects)

Χρησιμοποιώντας τις συνεισφορές μεταβλητότητας που προκύπτουν από την ανάλυση της διακύμανσης KPPS, έχουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε τον συνολικό δείκτη διασποράς μεταβλητότητας:

$$S^g(H) = \frac{\sum_{i,j=1, i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{\sum_{i,j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)} \cdot 100 = \frac{\sum_{i,j=1, i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{N} \cdot 100$$

Ο συνολικός δείκτης διασποράς μεταβλητότητας, ανάλογος με το μέτρο που χρησιμοποιούν οι Diebold και Yilmaz (2009) με βάση τη παραγοντοποίηση Cholesky, υπολογίζεται μέσα στο πλαίσιο KPPS. Αυτός ο δείκτης ποσοτικοποιεί τον αντίκτυπο των κραδασμών μεταβλητότητας που μεταδίδονται μεταξύ υπό εξέταση στοιχείων στη συνολική διακύμανση σφάλματος πρόβλεψης. Παρέχει ένα μέτρο της συνδυασμένης συνεισφοράς των διασπορών από διαφορετικές κατηγορίες στοιχείων στη συνολική μεταβλητότητα του συστήματος.

#### 4.11.3 Κατευθυνόμενα spillovers effects (Directional Spillover effects)

Ενώ η μελέτη του συνολικού δείκτη διασποράς μεταβλητότητας παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για το μέγεθος των κραδασμών μεταβλητότητας που μεταδίδονται μεταξύ των κύριων στοιχείων στο σύστημά μας, η προσέγγιση του γενικευμένου VAR μας επιτρέπει να πάμε ένα βήμα παραπέρα και να κατανοήσουμε την κατεύθυνση των διασπορών μεταβλητότητας μεταξύ αυτών των μεταβλητών μας. Χάρη στην αναλλοίωτη φύση των γενικευμένων συναρτήσεων απόκρισης και της ανάλυσης της διακύμανσης στην ταξινόμηση των μεταβλητών, μπορούμε να υπολογίσουμε τα κατευθυνόμενα spillovers εξετάζοντας τα ομαλοποιημένα στοιχεία του πίνακα διασπάσεων διακύμανσης.

Για να μετρήσουμε τα κατευθυνόμενα spillovers effects που λαμβάνει η αγορά  $i$  από όλες τις άλλες αγορές  $j$ , αξιολογούμε τις συνεισφορές από κάθε αγορά  $j$  στη διακύμανση σφάλματος πρόβλεψης της αγοράς  $i$ , λαμβάνοντας υπόψη τα ομαλοποιημένα στοιχεία του πίνακα ανάλυσης διακύμανσης.

$$S_i^g(H) = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{\sum_{i,j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)} \cdot 100 = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{N} \cdot 100$$

Ομοίως, ποσοτικοποιούμε τα κατευθυνόμενα spillovers effects που μεταδίδει η αγορά  $i$  σε όλες τις άλλες αγορές  $j$ . Αυτό γίνεται με την εξέταση των συνεισφορών από την αγορά  $i$  στη διακύμανση σφάλματος πρόβλεψης της κάθε αγοράς  $j$ , χρησιμοποιώντας τα ομαλοποιημένα στοιχεία του πίνακα ανάλυσης διακύμανσης.

$$S_i^g(H) = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{\sum_{i,j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)} \cdot 100 = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{N} \cdot 100$$

Το σύνολο των κατευθυνόμενων spillovers μπορεί να θεωρηθεί ως μια αποσύνθεση των συνολικών spillovers, χωρίζοντάς τα σε συνεισφορές που προέρχονται από ή κατευθύνονται προς συγκεκριμένες πηγές. Αυτή η αποσύνθεση μας επιτρέπει να αναλύσουμε και να κατανοήσουμε την ατομική επίδραση κάθε πηγής στα συνολικά spillovers μέσα στο σύστημα. Εξετάζοντας τα κατευθυνόμενα spillovers, αποκτούμε γνώση σχετικά με τα συγκεκριμένα κανάλια μέσω των οποίων μεταδίδεται η μεταβλητότητα μεταξύ των διαφορετικών αγορών ή κατηγοριών περιουσιακών στοιχείων.

#### 4.11.4 Καθαρά spillover (Net spillovers)

Η καθαρή διασπορά μεταβλητότητας από την αγορά  $i$  σε όλες τις άλλες αγορές  $j$  προκύπτει από τον υπολογισμό της διαφοράς μεταξύ των συνολικών κραδασμών μεταβλητότητας που μεταδίδονται στην αγορά  $i$  και των συνολικών κραδασμών μεταβλητότητας που λαμβάνονται από όλες τις άλλες αγορές. Αυτή η καθαρή διασπορά συμβολίζεται ως  $S_i^g(H)$  και ορίζεται ως εξής:

$$S_i^g(H) = S_i^g(H) - S_i^g(H)$$

Ουσιαστικά, η καθαρή διασπορά μεταβλητότητας αντιπροσωπεύει την καθαρή επίδραση των κραδασμών μεταβλητότητας που προέρχονται από την αγορά  $i$  σε όλες τις άλλες αγορές, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη μεταφορά κραδασμών σε άλλες αγορές όσο και τη λήψη κραδασμών από άλλες αγορές.

#### 4.11.5 Καθαρές αμοιβαία spillover (Net pairwise spillovers effects)

Η καθαρή διαρροή μεταβλητότητας προσφέρει μια συνοπτική περίληψη της συμβολής κάθε αγοράς στη μεταβλητότητα που παρατηρείται σε άλλες αγορές, σε καθαρούς όρους. Επιπλέον, είναι χρήσιμο να εξεταστούν οι καθαρές αμοιβαίες διαρροές μεταβλητότητας μεταξύ συγκεκριμένων αγορών. Αυτές οι καθαρές αμοιβαίες διαρροές, που συμβολίζονται ως  $S_{ij}^g(H)$ , ορίζονται ως εξής:

$$S_{ij}^g(H) = \left( \frac{\tilde{\theta}_{ji}^g(H)}{\sum_{i,k=1}^N \tilde{\theta}_{ik}^g(H)} - \frac{\tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{\sum_{j,k=1}^N \tilde{\theta}_{jk}^g(H)} \right) \cdot 100 = \left( \frac{\tilde{\theta}_{ji}^g(H) - \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{N} \right) \cdot 100$$

Με άλλα λόγια, η καθαρή αμοιβαία διαρροή μεταβλητότητας μεταξύ των αγορών  $i$  και  $j$  αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ των ακαθάριστων μεταβολών μεταβλητότητας που μεταδίδονται από την αγορά  $i$  στην αγορά  $j$  και εκείνων που μεταδίδονται από την αγορά  $j$  στην αγορά  $i$ . Αυτή η μέτρηση μας επιτρέπει να αξιολογήσουμε τον καθαρό κατευθυντήριο αντίκτυπο των διαρροών μεταβλητότητας μεταξύ δύο οποιωνδήποτε αγορών στο σύστημα.

## 5. Ανάλυση των δεδομένων

Τα δεδομένα που θα αναλυθούν σε αυτή την εργασία συλλέχθηκαν από το Yahoo Finance χρησιμοποιώντας κατάλληλο κώδικα στην R. Η μελέτη βασίστηκε σε ημερήσιες τιμές

εκφρασμένες σε δολάρια ΗΠΑ που καλύπτουν μια χρονική περίοδο από 2/1/2018 έως 31/5/2023.

Κύριος σκοπός του μοντέλου είναι να εξετάσει τις ημερήσιες διακυμάνσεις των αποδόσεων. Για να γίνει αυτό και σύμφωνα με την βιβλιογραφία του Dielbold και Yilmaz (2011) καθώς και με μια μεγάλη βιβλιογραφία που χρονολογείται τουλάχιστον από τον Parkinson (1980) η ημερήσια διακύμανση μπορεί να εξεταστεί με βάση τον παρακάτω τύπο.

Για την αγορά  $i$  την ημέρα  $t$  έχουμε:

$$\tilde{\sigma}_{it}^2 = 0.361[\ln(P_{it}^{max}) - \ln(P_{it}^{min})]^2$$

Όπου  $P_{it}^{max}$  είναι η μέγιστη (υψηλή) τιμή στην αγορά  $i$  την ημέρα  $t$  και  $P_{it}^{min}$  είναι η ελάχιστη (χαμηλή) τιμή της ημέρας. Επειδή το  $\tilde{\sigma}_{it}^2$  είναι ένας εκτιμητής της διακύμανσης της ημέρας, η αντίστοιχη εκτίμηση της ετήσιας ποσοστιαίας τυπικής απόκλισης (μεταβλητότητας) είναι  $\hat{\sigma}_{it} = 100 \sqrt{365 \cdot \tilde{\sigma}_{it}^2}$ .

Επειδή οι διακυμάνσεις τείνουν να είναι λοξές, είναι κοινή πρακτική να χρησιμοποιούνται οι log-μεταβλητότητες, οι οποίες προσεγγίζουν στενά μια κανονική κατανομή. Ωστόσο, για να ελέγχονται οι περιπτώσεις όπου η μεταβλητότητα είναι μηδέν, χρησιμοποιείται το  $\sinh^{-1}$  αντί του φυσικού λογαρίθμου ( $\sinh^{-1}(x) = \log(2x)$ ).

$$\hat{\sigma}_{it} = \sinh^{-1}(\sqrt{252 * \tilde{\sigma}_{it}^2})$$

Εξετάζεται συνολικός αριθμός 1106 παρατηρήσεων για κάθε μεμονωμένη μεταβλητή. Στο πλαίσιο της αγοράς ενέργειας, το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο έχουν χρησιμοποιηθεί ως αντιπρόσωποι. Ειδικότερα, το αργό πετρέλαιο Brent, το αργό πετρέλαιο WTI και τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου NYMEX έχουν υιοθετηθεί ως δείκτες αναφοράς για τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης ενέργειας. Στην ανάλυση της χρηματιστηριακής αγοράς, έχει χρησιμοποιηθεί μια σειρά δεικτών, συμπεριλαμβανομένου του δείκτη MOEX Ρωσίας, του S&P 500, του δείκτη της χρηματιστηριακής αγοράς της Σαγκάης (δείκτης SSE), του δείκτη χρηματιστηρίου του Financial Times 100 (FTSE 100), του Nikkei 225 και του δείκτη MSCI. Επιπλέον, η έρευνα περιλαμβάνει δείκτες που αφορούν τον χρυσό, την ισοτιμία ευρώ/ρουβλίου. Συνολικά στο μοντέλο VAR χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες χρηματοοικονομικών τιμών:

- MSCI: Ο δείκτης MSCI (Morgan Stanley Capital International) είναι ένας παγκοσμίως αναγνωρισμένος δείκτης αναφοράς για τη μέτρηση της απόδοσης των χρηματιστηριακών αγορών παγκοσμίως. Καλύπτει ένα ευρύ φάσμα χωρών και περιοχών, προσφέροντας στους επενδυτές πληροφορίες σχετικά με τις συνολικές τάσεις και δυναμικές της παγκόσμιας χρηματιστηριακής αγοράς.
- ^GSPC (S&P 500): Ο δείκτης S&P 500 είναι ένας βασικός δείκτης αναφοράς για την αμερικανική χρηματιστηριακή αγορά. Περιλαμβάνει 500 από τις μεγαλύτερες εταιρείες που διαπραγματεύονται δημόσια στις Ηνωμένες Πολιτείες και ως εκ τούτου, παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της απόδοσης της αμερικανικής χρηματιστηριακής αγοράς.
- CL=F (Αργό Πετρέλαιο WTI): Αντιπροσωπεύει το συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης για το αργό πετρέλαιο West Texas Intermediate (WTI). Θεωρείται ένας καθοριστικός δείκτης για τις παγκόσμιες αγορές ενέργειας, επηρεάζοντας τις τιμές

του πετρελαίου και χρησιμεύοντας ως σημείο αναφοράς για την ευρύτερη βιομηχανία πετρελαίου.

- NG=F (Φυσικό Αέριο): Αντιπροσωπεύει το συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης για το φυσικό αέριο. Είναι ένα ζωτικής σημασίας εμπόρευμα στον τομέα της ενέργειας, και οι διακυμάνσεις στις τιμές του φυσικού αερίου έχουν ευρεία απήχηση, επηρεάζοντας διάφορες βιομηχανίες και οικονομίες.
- IMOEX.ME (Δείκτης MOEX Ρωσίας): Ένας βασικός δείκτης αναφοράς για το Χρηματιστήριο της Μόσχας, που αντικατοπτρίζει την απόδοση των ρωσικών μετοχών. Είναι ένας πολύτιμος δείκτης για την κατανόηση των τάσεων στη ρωσική χρηματιστηριακή αγορά.
- ^N225 (Nikkei 225): Ο δείκτης Nikkei 225 είναι ένας σημαντικός δείκτης χρηματιστηρίου που αντιπροσωπεύει την απόδοση 225 κορυφαίων εταιρειών που είναι εισηγμένες στο Χρηματιστήριο του Τόκιο. Είναι ένας βασικός δείκτης για την ιαπωνική χρηματιστηριακή αγορά.
- ^FTSE (FTSE 100): Ο δείκτης FTSE 100 είναι ένας δείκτης αναφοράς για τη βρετανική χρηματιστηριακή αγορά. Περιλαμβάνει τις 100 μεγαλύτερες εταιρείες που είναι εισηγμένες στο Χρηματιστήριο του Λονδίνου, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την απόδοση των μεγάλων εταιρειών του Ηνωμένου Βασιλείου.
- 000001.SS (Δείκτης Σύνθεσης Χρηματιστηρίου Σαγκάης): Ο δείκτης αυτός αντιπροσωπεύει τη συνολική απόδοση των μετοχών που είναι εισηγμένες στο Χρηματιστήριο της Σαγκάης, προσφέροντας μια στιγμιότυπο της χρηματιστηριακής αγοράς της Κίνας.
- BZ=F (Αργό Πετρέλαιο Brent): Αντιπροσωπεύει το συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης για το αργό πετρέλαιο Brent, άλλο ένα βασικό σημείο αναφοράς στην παγκόσμια αγορά πετρελαίου, καθώς χρησιμοποιείται ευρέως ως σημείο αναφοράς τιμολόγησης για το πετρέλαιο παγκοσμίως.
- EURRUB=X (Ισοτιμία Ευρώ/Ρουβλίου): Αυτό το σύμβολο παρακολουθεί την ισοτιμία μεταξύ του ευρώ (EUR) και του ρωσικού ρουβλίου (RUB), παρέχοντας, ως εκ τούτου, βασικές πληροφορίες σχετικά με τη δυναμική των συναλλαγών μεταξύ της Ευρωζώνης και της Ρωσίας σε περιπτώσεις αναταράξεων.
- GC=F (Χρυσός): Το GC=F αντιπροσωπεύει το συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης για τον χρυσό. Τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης χρυσού χρησιμοποιούνται στο μοντέλο κυρίως επειδή οι κινήσεις των τιμών τους παρακολουθούνται στενά ως δείκτης του κλίματος της αγοράς και της οικονομικής σταθερότητας.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει τις κύριες μεταβλητές που θα εξεταστούν και στις οποίες θα εφαρμοστεί το ερευνητικό μοντέλο, καθώς και βασικές στατιστικές στοιχεία για την ετήσια μεταβλητότητα κάθε μεταβλητής.

Summary Table: Annualized Volatility

Name	Count	Mean	Median	SD	Min	Max
EUR/RUB Currency	1106	0.1248172	0.0896864	0.1491715	0.0000000	1.8764804
Crude Oil	1106	0.3438756	0.2716567	0.2713898	0.0141356	2.3091641
MOEX Russia Index	1106	0.1510393	0.1083215	0.1773615	0.0000000	2.4710784
SnP 500	1106	0.1215178	0.0782489	0.1281109	0.0000318	1.0467954
SSE Composite Index	1106	0.1276583	0.1021595	0.1017825	0.0002983	0.9424202
Brent Crude Oil	1106	0.3046060	0.2360990	0.2466984	0.0013811	2.3263856
FTSE 100	1106	0.1213450	0.0910303	0.1160335	0.0000000	1.1603904
Nikkei 225	1106	0.1124463	0.0850919	0.1076283	0.0002355	1.0828085
Gold	1106	0.0908577	0.0657422	0.0895898	0.0000000	0.7819525
Natural Gas Futures	1106	0.4575291	0.3799798	0.3209169	0.0000000	2.3393505
MSCI	1106	0.2352482	0.1832758	0.1969732	0.0000000	1.4913569

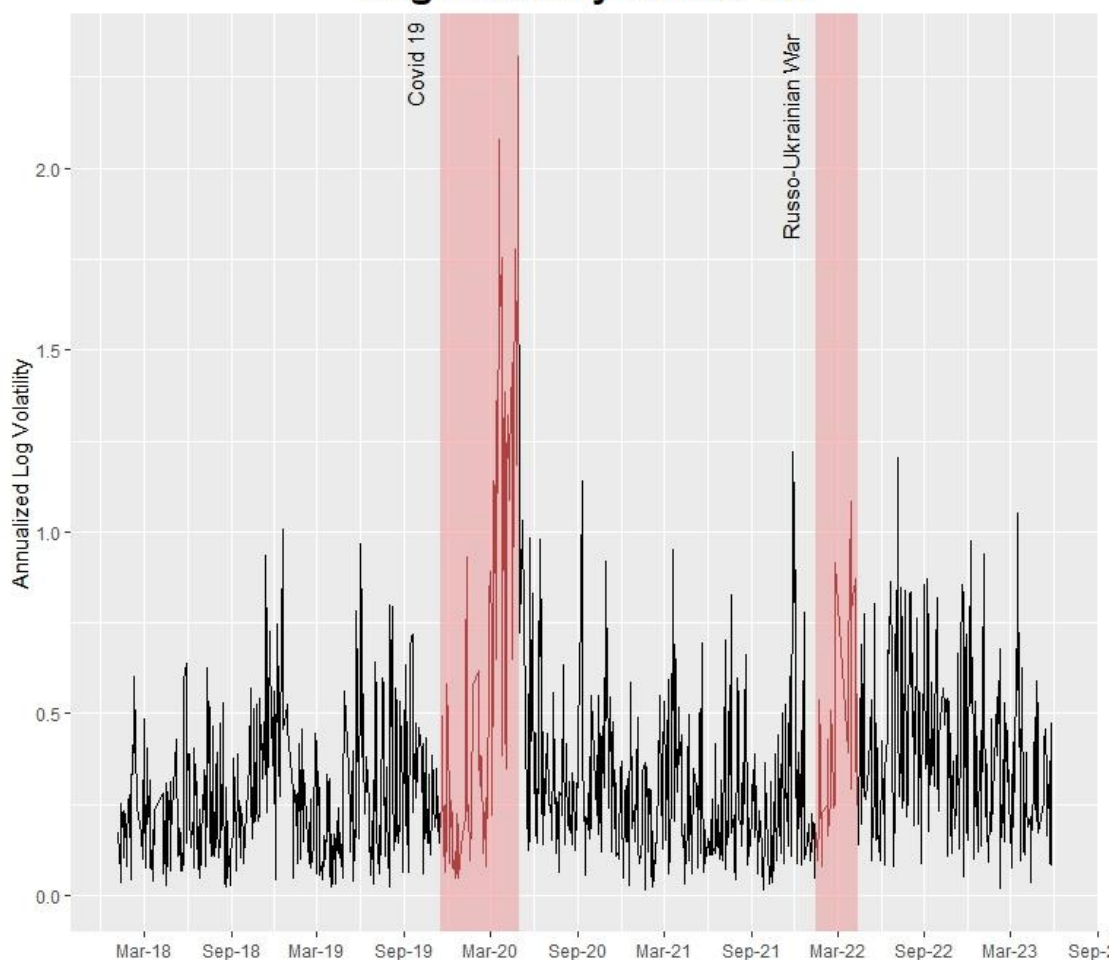
Εικόνα 1: Βασικές στατιστικές μετρήσεις για τις μεταβλητές

## 6. Εμπειρική Ανάλυση

Πρώτον, πριν εμβαθύνουμε στις αναλύσεις του μοντέλου, παρουσιάζουμε το γράφημα της μεταβλητότητας σε λογαριθμική κλίμακα για κάθε μεταβλητή. Η εξέλιξη αυτών των δεδομένων, όπως απεικονίζεται στα επόμενα γραφήματα, καταδεικνύει με σαφήνεια τη σημαντική επίδραση τόσο της κρίσης του Covid-19 όσο και της συνεχιζόμενης σύγκρουσης μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας στις αγορές ενέργειας και χρηματιστηριακών δεικτών.

### 6.1 Ανάλυση μεταβλητότητας σε λογαριθμική κλίμακα

## Log Volatility-Crude Oil

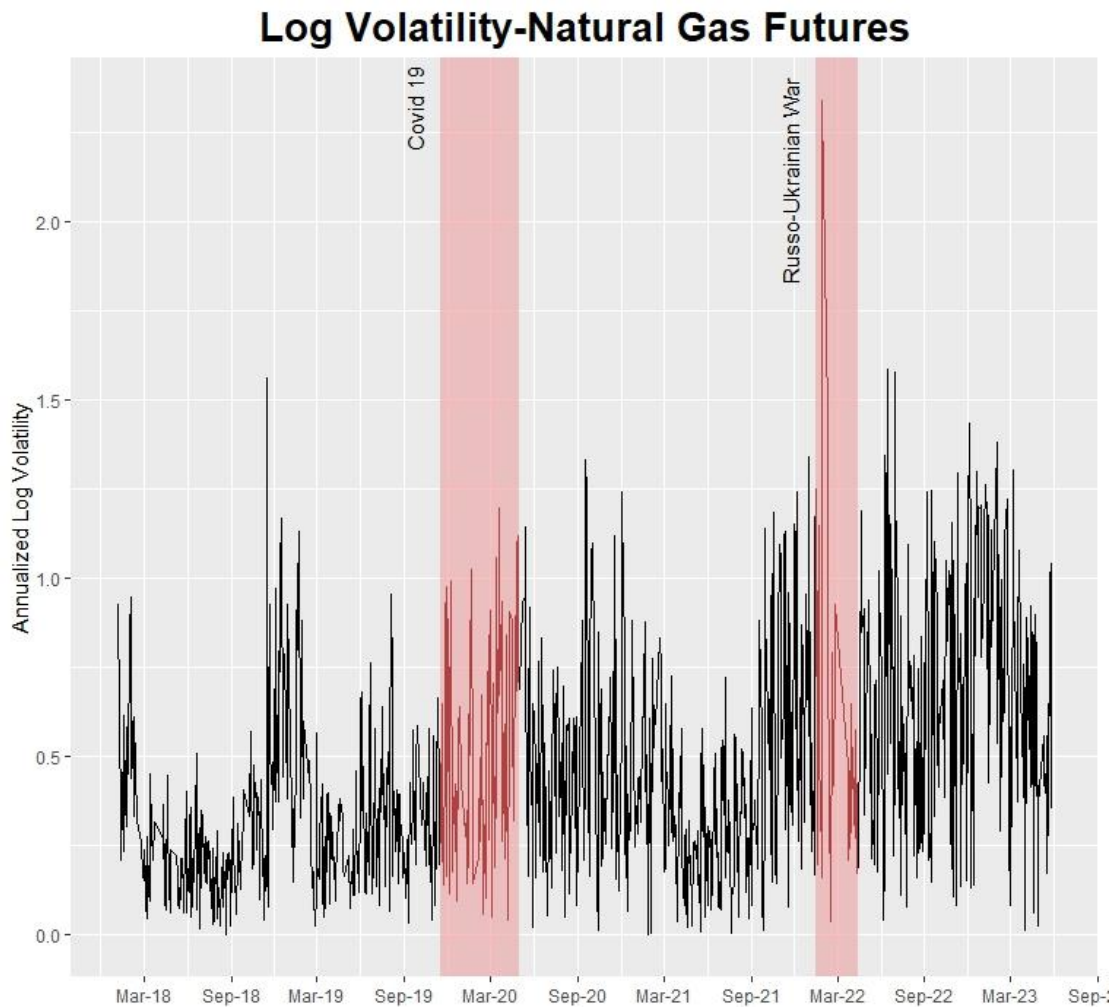


Εικόνα 2: Μεταβλητότητα σε λογαριθμική κλίμακα αργού πετρελαίου

Αρκετά γεωπολιτικά και οικονομικά γεγονότα συνέβαλαν στις αντικυματικές διακυμάνσεις της λογαριθμικής διακύμανσης της αγοράς πετρελαίου. Κατά τις αρχές του 2018, οι διακρίσεις στη Μέση Ανατολή, ειδικότερα μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και του Ιράν, σε συνδυασμό με τις προσπάθειες του ΟΠΕΚ για τον έλεγχο της παραγωγής πετρελαίου, δημιούργησαν σημαντική αβεβαιότητα στις παγκόσμιες αγορές πετρελαίου. Αυτό αντανακλάται στην ενισχυμένη λογαριθμική διακύμανση που παρατηρήθηκε στις τιμές του αργού πετρελαίου κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο του 2018. Η επιβολή οικονομικών κυρώσεων στο Ιράν από τις ΗΠΑ και οι ανησυχίες για πιθανές διακοπές στον εφοδιασμό στην περιοχή προστίθενται στην ανησυχία της αγοράς. Η επιβολή δασμών και οι εμπορικές τάσεις μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και των κυριότερων εμπορικών εταίρων τους, συμπεριλαμβανομένης της Κίνας, ήταν καθοριστικοί παράγοντες που οδήγησαν στη διακύμανση κατά την περίοδο αυτή.

Η πανδημία COVID-19, η οποία εμφανίστηκε στα τέλη του 2019 και εντάθηκε στις αρχές του 2020, είχε βαθιά επίδραση στις αγορές πετρελαίου. Τα μέτρα καραντίνας, οι περιορισμοί στα ταξίδια και η μειωμένη οικονομική δραστηριότητα οδήγησαν σε απότομη πτώση της ζήτησης πετρελαίου, με αποτέλεσμα μια ιστορική κατάρρευση στις τιμές του αργού πετρελαίου. Η ακραία μεταβλητότητα των τιμών που παρατηρήθηκε στις αρχές του 2020

μπορεί να αποδοθεί στην αβεβαιότητα σχετικά με τη διάρκεια της πανδημίας και τον αντίκτυπό της στην παγκόσμια κατανάλωση πετρελαίου (IEA, 2018,2019,2020,2021,2022)..

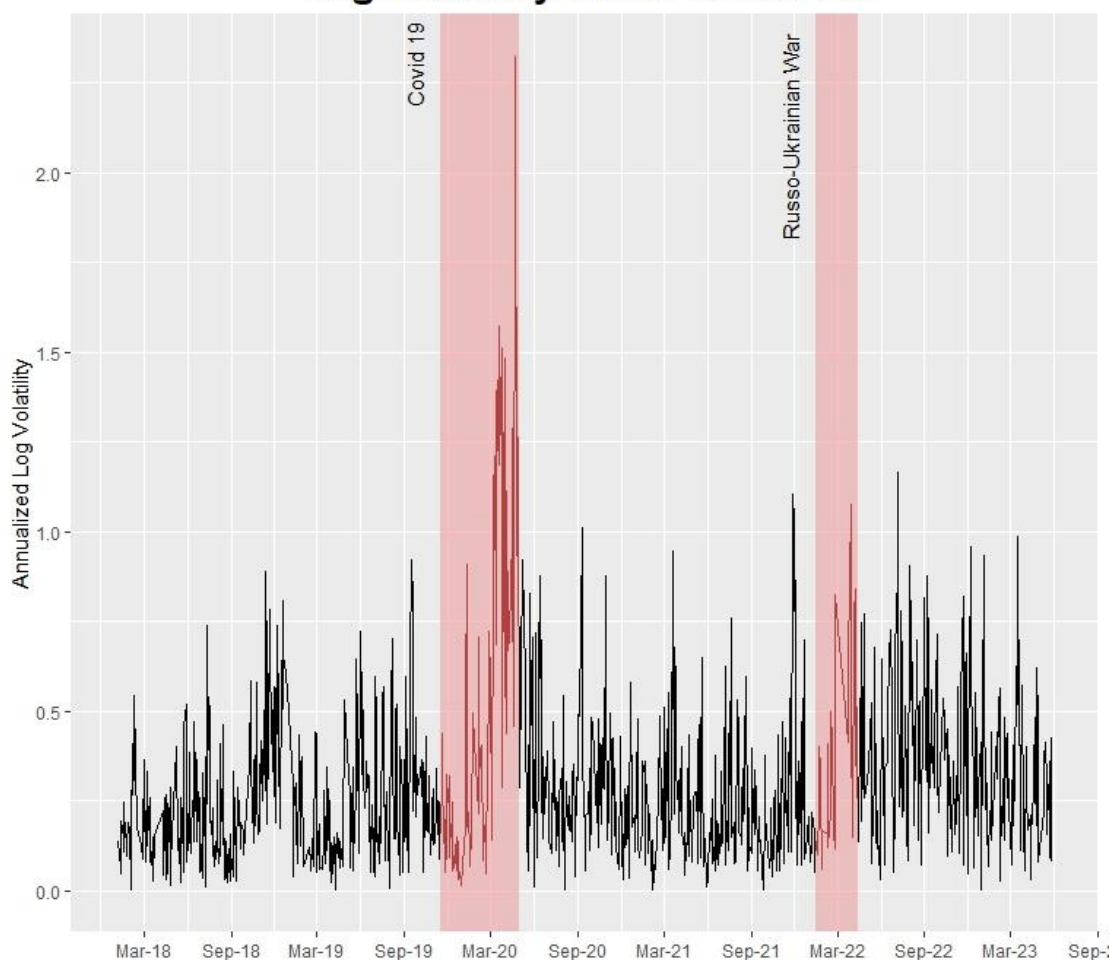


Εικόνα 3: Λογαριθμική Διακύμανση των Μελλοντικών Συμβολαίων Φυσικού Αερίου

Κατά την περίοδο από τον Ιανουάριο του 2018 έως τον Αύγουστο του 2020, υπήρξαν αρκετές περιπτώσεις υψηλής μεταβλητότητας στην αγορά μελλοντικών συμβολαίων φυσικού αερίου. Για παράδειγμα, στις αρχές του 2018, η μεταβλητότητα ήταν αυξημένη, με γεγονότα όπως το καιρικό φαινόμενο "Bomb Cyclone" να επηρεάζουν τη ζήτηση και την προσφορά ενέργειας. Οι κλιμακούμενες εμπορικές εντάσεις μεταξύ των ΗΠΑ και των εμπορικών εταίρων τους έπαιξαν επίσης ρόλο. Η μεταβλητότητα αυξήθηκε ξανά το 2019, αντανακλώντας τις ανησυχίες για την παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη, τις γεωπολιτικές εντάσεις στη Μέση Ανατολή και τη δυναμική προσφοράς-ζήτησης. Το ξέσπασμα της πανδημίας COVID-19 στις αρχές του 2020 είχε άνευ προηγουμένου αντίκτυπο, προκαλώντας μια τεράστια κατάρρευση της ζήτησης ενέργειας και οδηγώντας σε ακραία μεταβλητότητα στις αγορές πετρελαίου και φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένου του φυσικού αερίου (IEA, 2018,2019,2020,2021,2022).



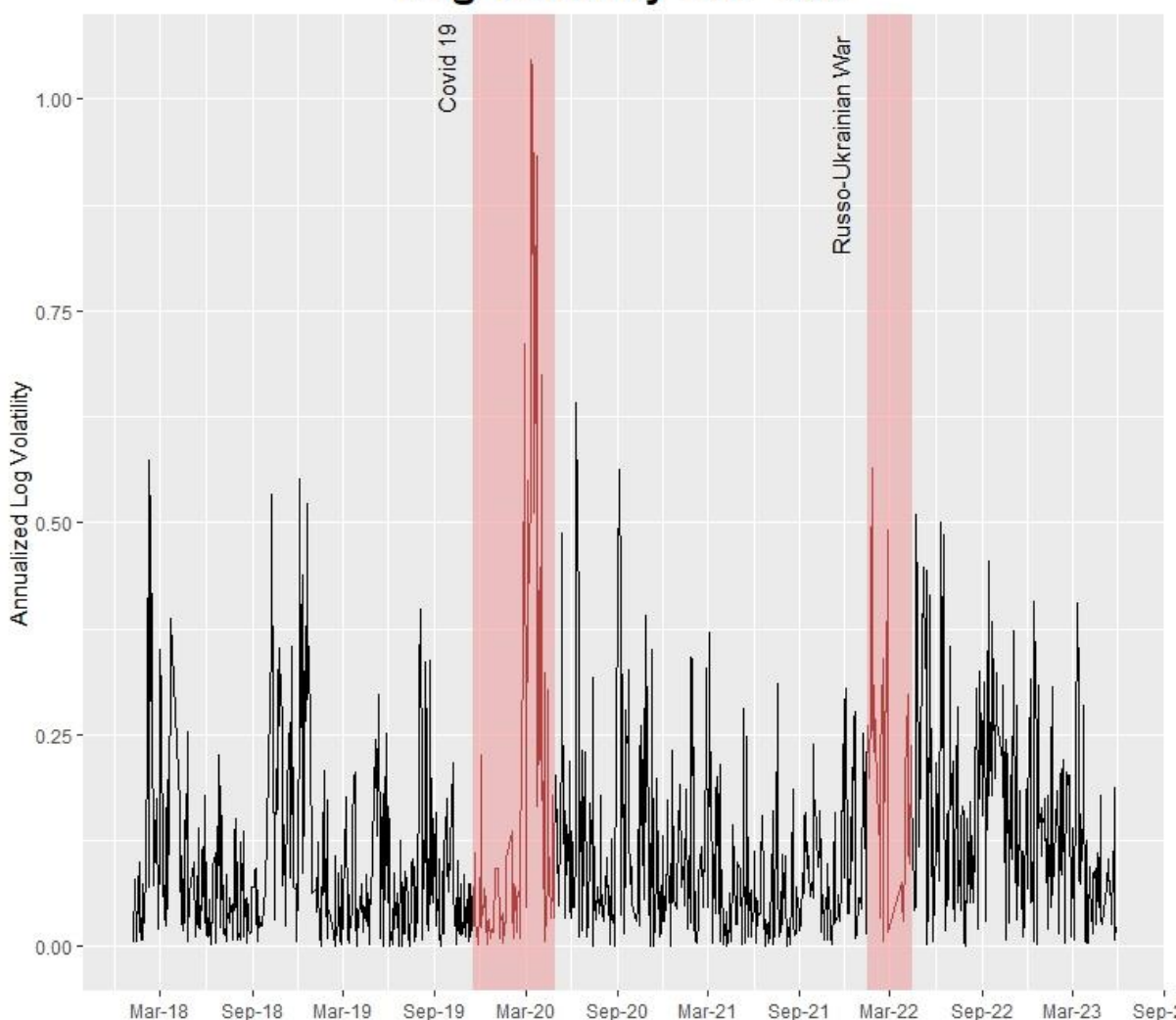
## Log Volatility-Brent Crude Oil



Εικόνα 4: Λογαριθμική μεταβλητότητα μελλοντικών συμβολαίων πετρελαίου Brent

Κατά την περίοδο από το 2018 έως το 2020, η αγορά πετρελαίου Brent έζησε σημαντικές περιόδους υψηλής μεταβλητότητας, συχνά συνδεδεμένες με γεωπολιτικά γεγονότα και παγκόσμιους οικονομικούς παράγοντες. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα υψηλής μεταβλητότητας συνέβη στις αρχές του 2020, συγκεκριμένα τον Μάρτιο, καθώς η πανδημία COVID-19 εξαπλώθηκε παγκοσμίως. Η αγορά βίωσε ακραίες αναταράξεις λόγω της αβεβαιότητας γύρω από τον αντίκτυπο της πανδημίας στη ζήτηση πετρελαίου και τον επακόλουθο πόλεμο τιμών μεταξύ των μεγάλων παραγωγών πετρελαιοπαραγωγών χωρών. Αυτή η αναταραχή οδήγησε σε αύξηση της μεταβλητότητας, με τη λογαριθμική μεταβλητότητα του πετρελαίου Brent να φτάνει σε πρωτοφανή επίπεδα, ιδιαίτερα τον Μάρτιο. Μια άλλη περίοδος αυξημένης μεταβλητότητας συνέβη στα τέλη του 2018, όταν ένας συνδυασμός παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των γεωπολιτικών εντάσεων στη Μέση Ανατολή, των διαταραχών στην προσφορά και των ανησυχιών για την παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη, επηρέασε τις τιμές του πετρελαίου και συνέβαλε στην αυξημένη μεταβλητότητα της αγοράς (IEA, 2018,2019,2020,2021,2022).

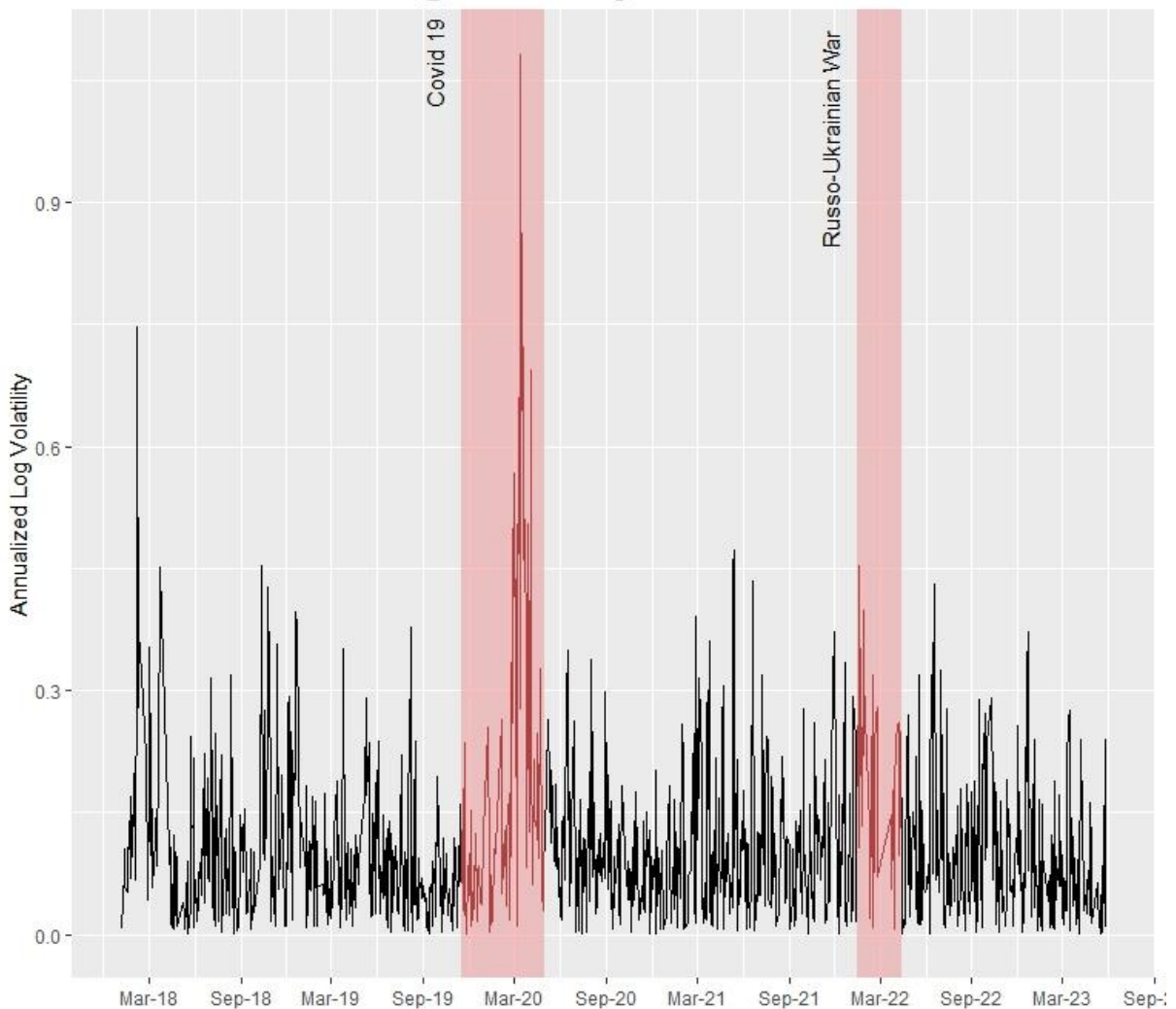
## Log Volatility-SnP 500



Εικόνα 5: Λογαριθμική μεταβλητότητα του S&P 500

Ο δείκτης S&P 500 παρουσίασε αξιόλογα επεισόδια μεταβλητότητας κατά συγκεκριμένες περιόδους μεταξύ 2018 και 2021. Στις αρχές του 2018, οι ανησυχίες για τα επιτόκια, τις εμπορικές εντάσεις και το κλείσιμο της κυβέρνησης των ΗΠΑ οδήγησαν σε αυξημένη μεταβλητότητα. Το δεύτερο εξάμηνο του 2018 σηματοδεύτηκε από αυξημένη αναταραχή της αγοράς λόγω των εμπορικών διαφορών, των ανησυχιών για την παγκόσμια οικονομική επιβράδυνση και των πολιτικών αβεβαιοτήτων. Η πανδημία COVID-19 προκάλεσε ακραία μεταβλητότητα στις αρχές του 2020, λόγω της παγκόσμιας εξάπλωσης της πανδημίας και των διαφορών για τις τιμές του πετρελαίου. Η μετέπειτα μεταβλητότητα στα μέσα του 2020 τροφοδοτήθηκε από τις εντάσεις ΗΠΑ-Κίνας και τις ανησυχίες σχετικά με την πανδημία. Η αυξημένη μεταβλητότητα γύρω από τις προεδρικές εκλογές των ΗΠΑ στα τέλη του 2020 και αργότερα στις αρχές του 2021 προέκυψε από τις πολιτικές μεταβάσεις, τις προκλήσεις της πανδημίας και τις προσπάθειες εμβολιασμού. Καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι συζητήσεις για την οικονομική ανάκαμψη, τη δημοσιονομική τόνωση και τις πολιτικές των κεντρικών τραπεζών επηρέασαν το κλίμα της αγοράς.

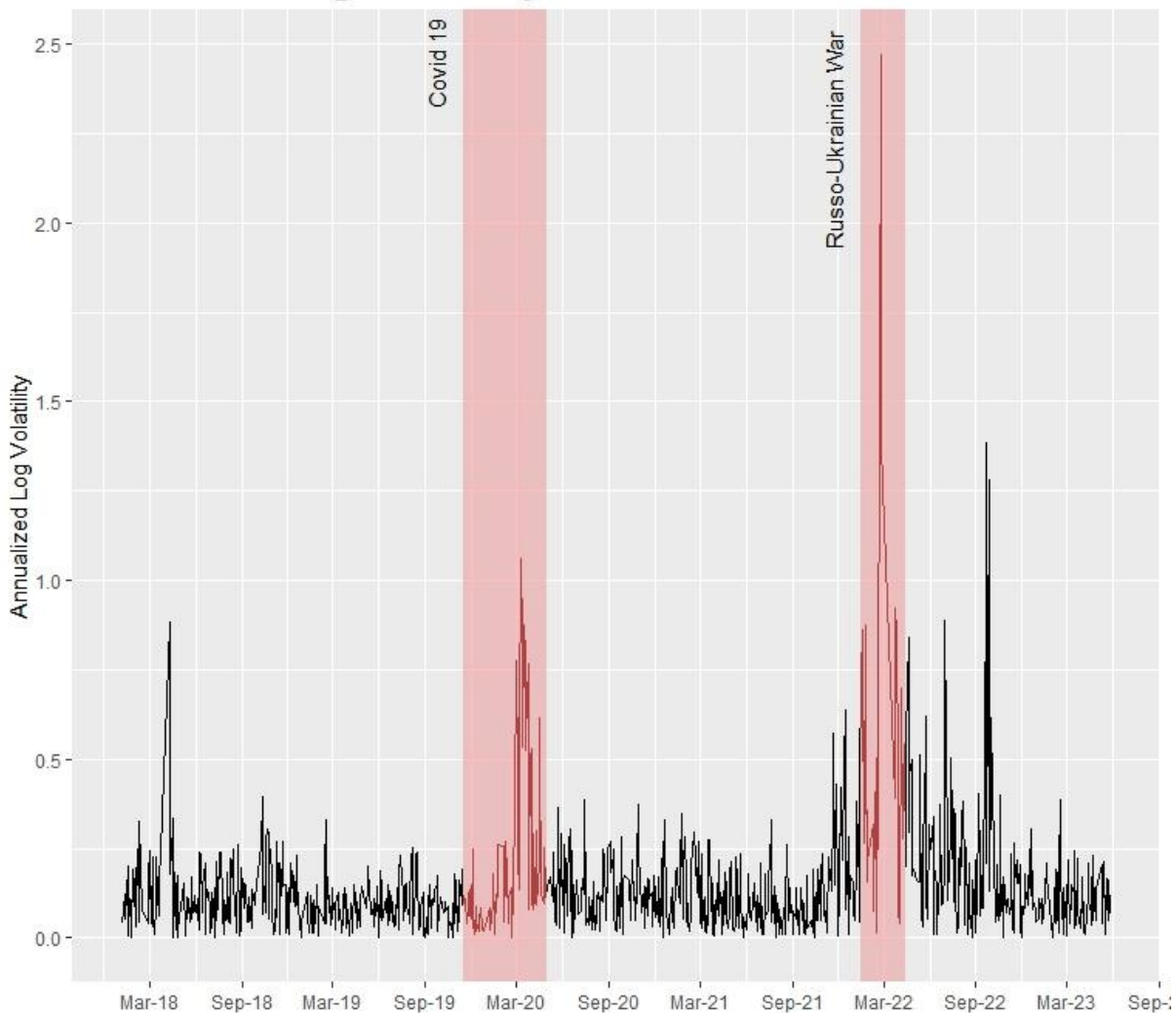
## Log Volatility-Nikkei 225



Εικόνα 6: Λογαριθμική μεταβλητότητα του Nikkei 225

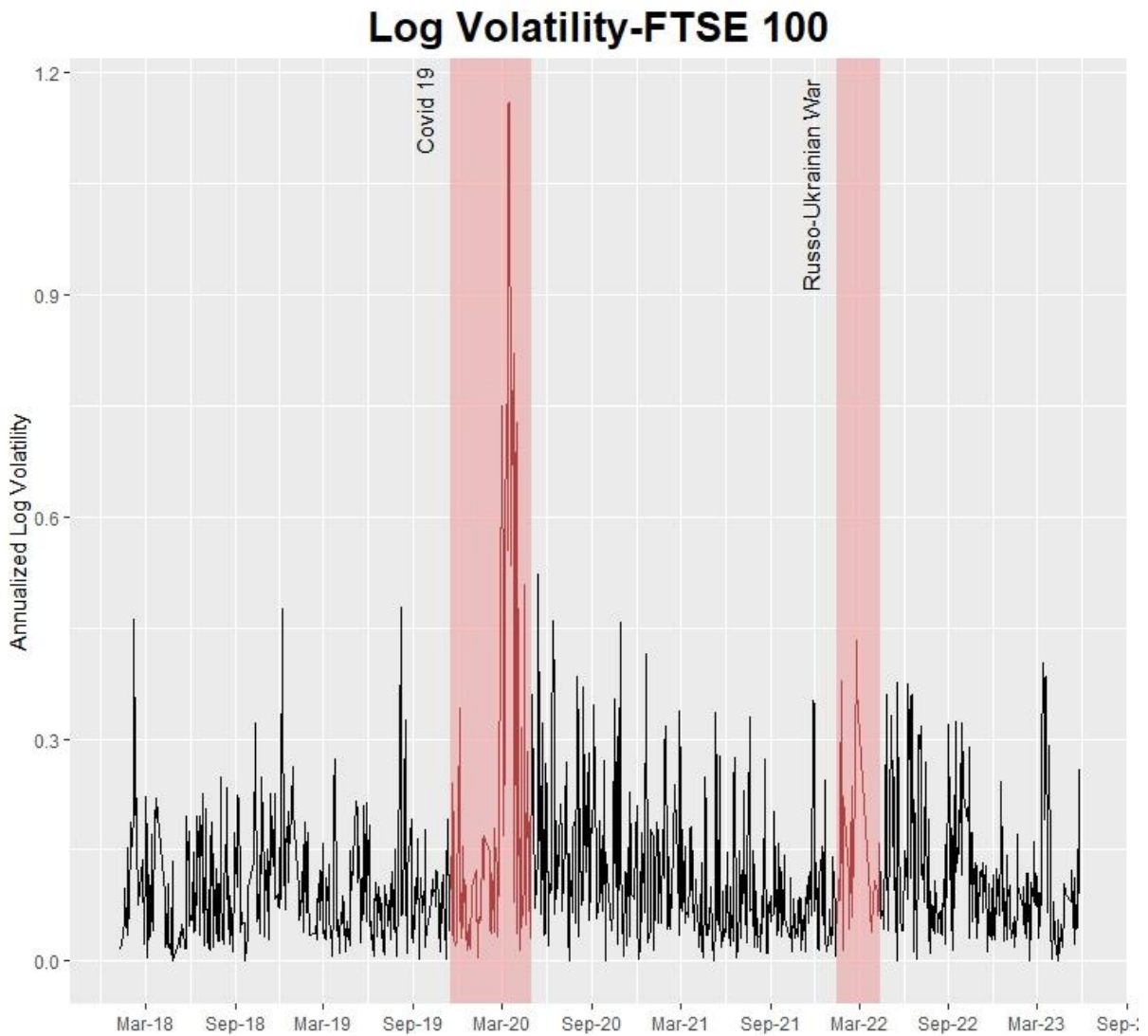
Κατά την περίοδο που καλύπτουν τα δεδομένα, ο Nikkei 225 παρουσίασε διαφορετικά επίπεδα μεταβλητότητας. Υπήρξαν περιπτώσεις αυξημένης μεταβλητότητας, που χαρακτηρίζονταν από σημαντικές αιχμές στη λογαριθμική μεταβλητότητα, υποδεικνύοντας περιόδους αβεβαιότητας και πιθανής αστάθειας της αγοράς. Αυτές οι περιόδους υψηλής μεταβλητότητας συχνά συνέπιπταν με σημαντικά γεωπολιτικά γεγονότα, δημοσιεύσεις οικονομικών δεδομένων και παγκόσμιες αναταράξεις της αγοράς. Αξιοσημείωτα παραδείγματα περιλαμβάνουν την αυξημένη μεταβλητότητα στις αρχές του 2018, η οποία επηρεάστηκε από τις ανησυχίες σχετικά με τις εμπορικές εντάσεις, και την ακραία μεταβλητότητα στις αρχές του 2020, η οποία προκλήθηκε από την παγκόσμια πανδημία COVID-19 και τον αντίκτυπό της στις χρηματοπιστωτικές αγορές. Αυτά τα γεγονότα διατάραζαν το κλίμα της αγοράς και οδήγησαν σε απότομες διακυμάνσεις του δείκτη Nikkei 225, υπογραμμίζοντας την ευαισθησία του δείκτη σε εξωτερικούς παράγοντες κατά περιόδους αβεβαιότητας.

## Log Volatility-MOEX Russia Index



Εικόνα 7: Λογαριθμική μεταβλητότητα του ρωσικού χρηματιστηρίου

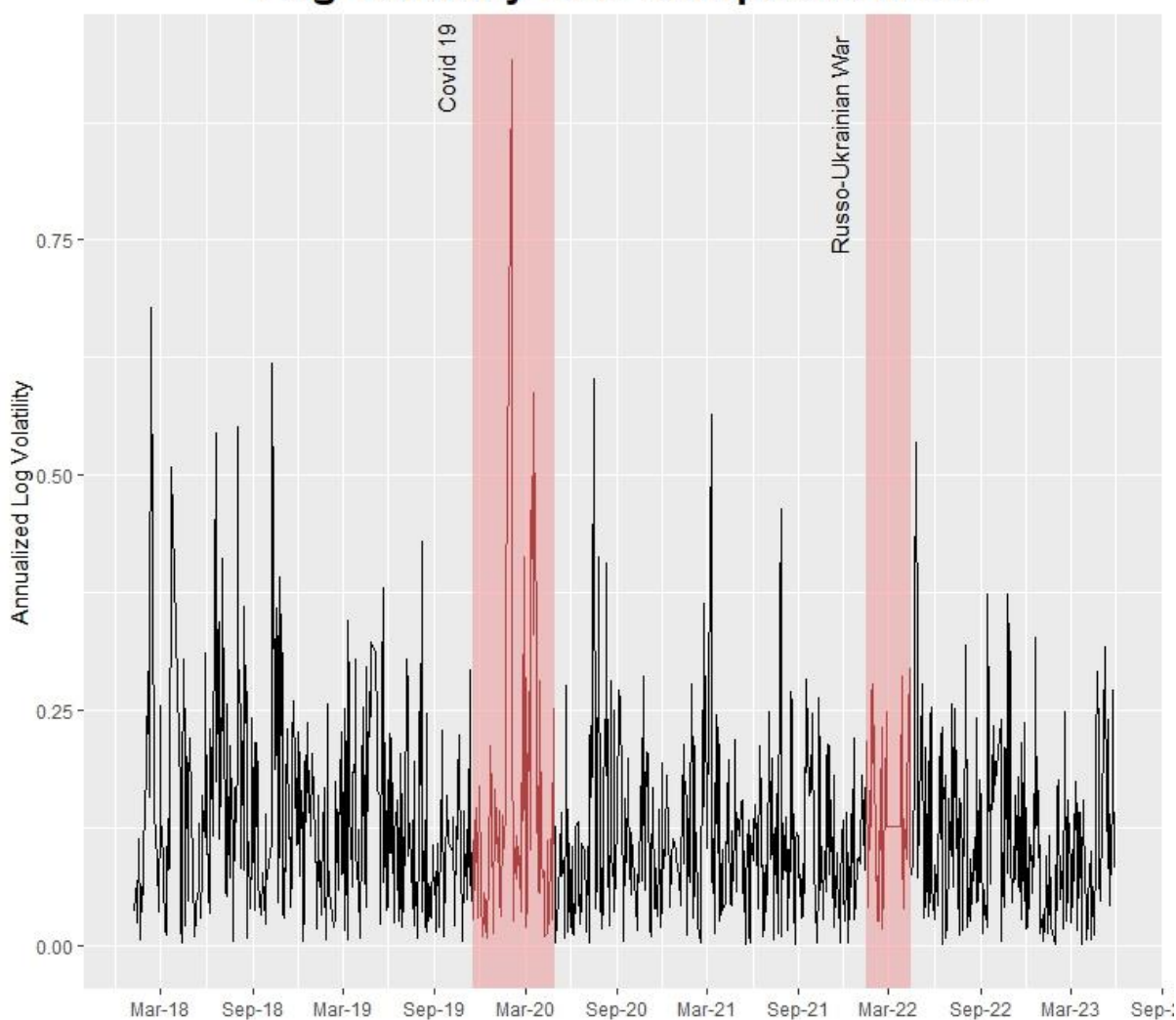
Στα μέσα του 2022, ο ρωσικός δείκτης MOEX παρουσίασε σημαντική αύξηση στη λογαριθμική μεταβλητότητα, υποδεικνύοντας μια περίοδο αυξημένης αβεβαιότητας και κινδύνου στην αγορά. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι παγκόσμιες αγορές παρακολουθούσαν στενά τις εξελίξεις σχετικά με την κλιμάκωση των εντάσεων στην Ουκρανία, τις εμπορικές σχέσεις μεταξύ της Ρωσίας και των υπόλοιπων οικονομιών του κόσμου και τις διακυμάνσεις στις τιμές των εμπορευμάτων που προκαλούνταν από την αβεβαιότητα του πολέμου. Αυτές οι γεωπολιτικές ανησυχίες, πιθανώς, προκάλεσαν μια σημαντική αλλαγή στο κλίμα των επενδυτών και στις προσδοκίες, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη μεταβλητότητα που παρατηρήθηκε στον δείκτη. Στις αρχές του 2023, ο ρωσικός δείκτης MOEX παρουσίασε ξανά μια αιχμή στη λογαριθμική μεταβλητότητα, σηματοδοτώντας μια περίοδο έντονης μεταβλητότητας της αγοράς που προκλήθηκε από τη σύσφιξη της νομισματικής πολιτικής από τις κεντρικές τράπεζες σε όλο τον κόσμο για την καταπολέμηση του υψηλού πληθωρισμού, την κατάρρευση αρκετών τραπεζών στις ΗΠΑ και τη συνέχιση των γεωπολιτικών εντάσεων μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας.



Εικόνα 8: Λογαριθμική μεταβλητότητα του FTSE 100

Κατά την περίοδο υψηλής μεταβλητότητας στα δεδομένα του FTSE 100 που παρέχονται, υπήρξαν αρκετά γεωπολιτικά και οικονομικά γεγονότα που συνέβαλαν στη διακύμανση της λογαριθμικής μεταβλητότητας. Στις αρχές του 2020, οι παγκόσμιες χρηματοπιστωτικές αγορές βίωσαν σημαντικές αναταράξεις λόγω της έξαρσης της πανδημίας COVID-19. Ο FTSE 100 παρουσίασε απότομη αύξηση στη μεταβλητότητα καθώς η πανδημία εξαπλωνόταν, προκαλώντας ευρεία αβεβαιότητα για την παγκόσμια οικονομία και τα εταιρικά κέρδη. Κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο επέβαλαν lockdown και ταξιδιωτικούς περιορισμούς, επηρεάζοντας σοβαρά διάφορους κλάδους. Επιπλέον, γεωπολιτικές εντάσεις, όπως ο εμπορικός πόλεμος ΗΠΑ-Κίνας και η αβεβαιότητα γύρω από τις διαπραγματεύσεις για το Brexit, έπαιξαν επίσης ρόλο στην αύξηση της μεταβλητότητας της αγοράς κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

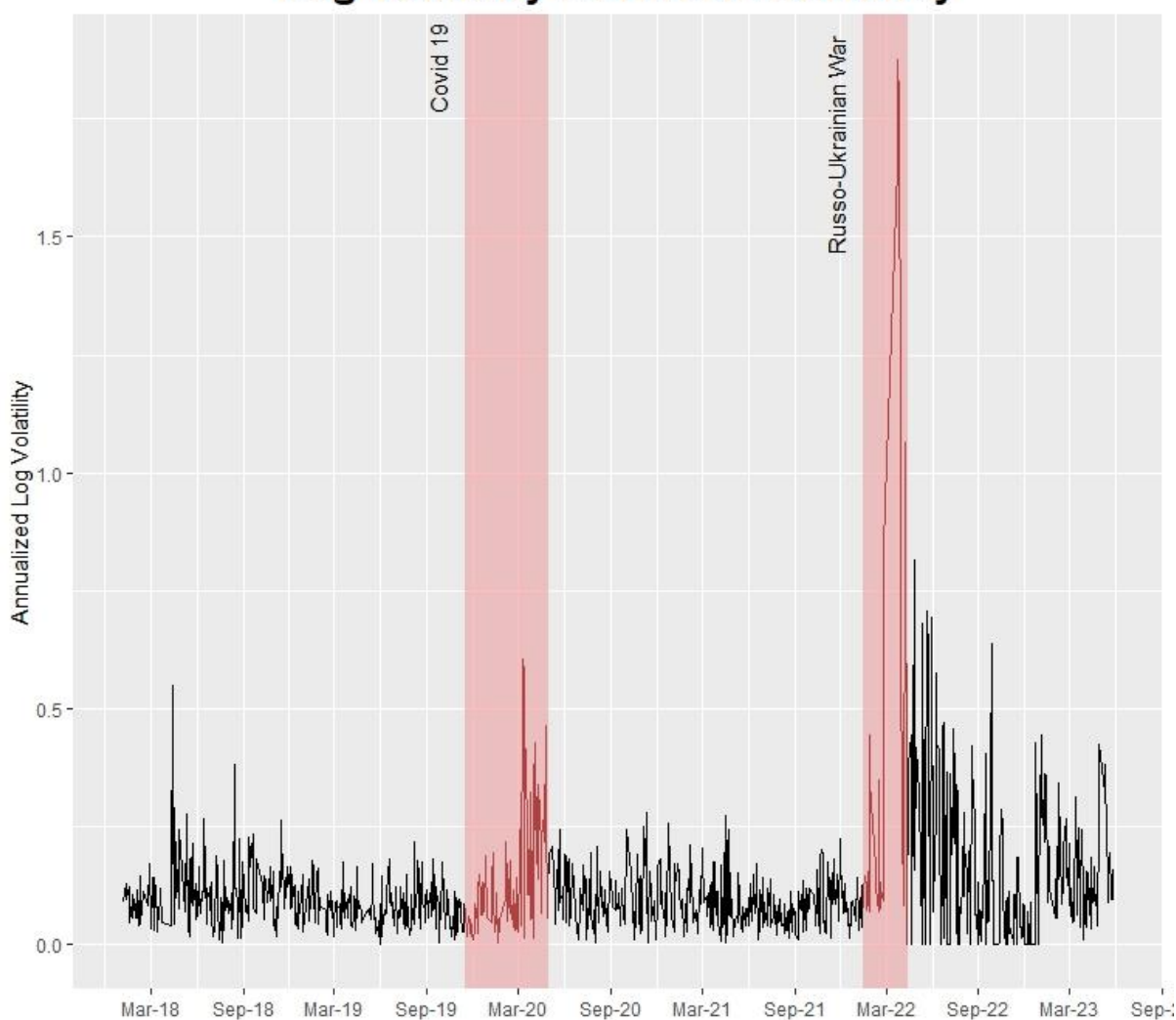
## Log Volatility-SSE Composite Index



Εικόνα 9: Λογαριθμική μεταβλητότητα του σύνθετου δείκτη του χρηματιστηρίου της Σαγκάης

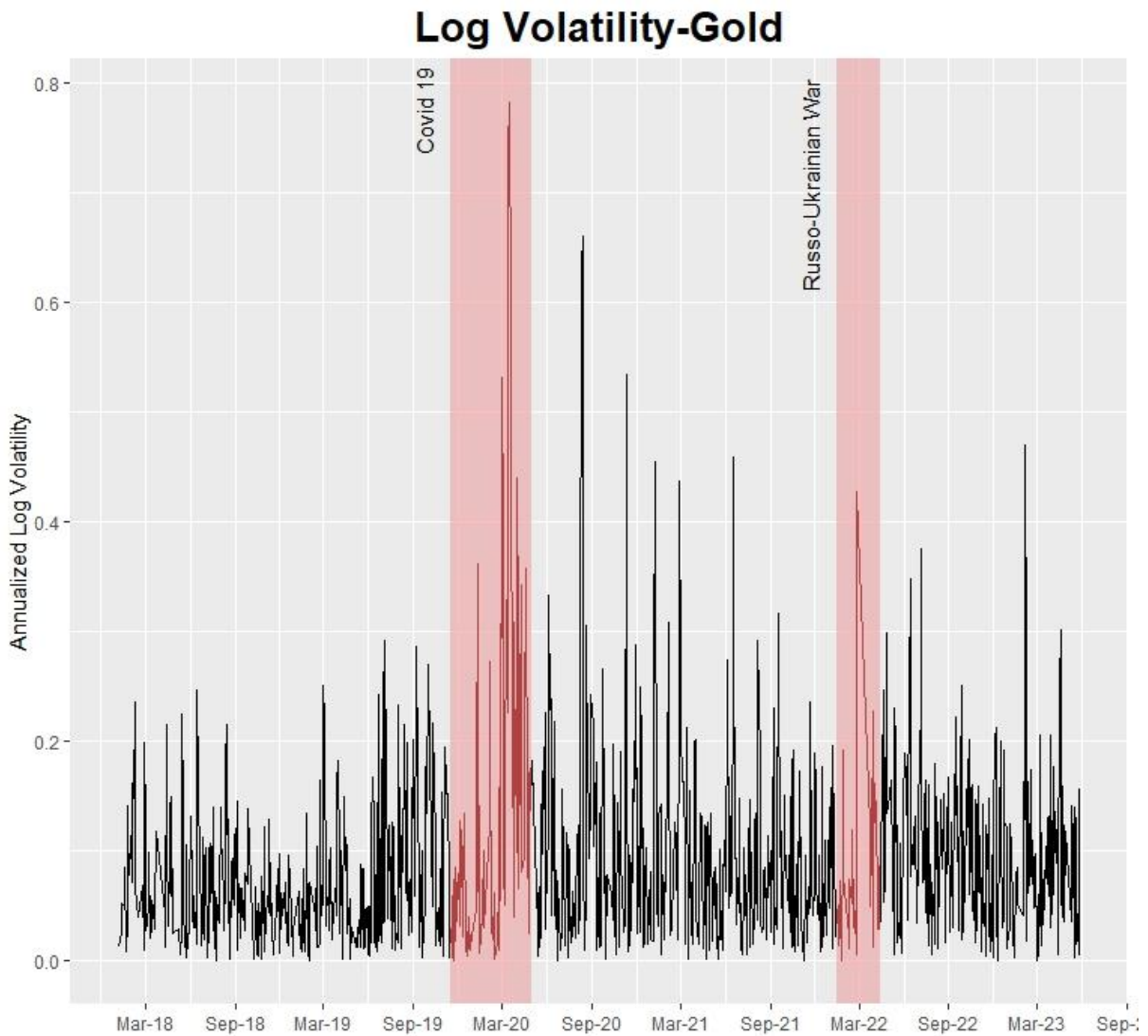
Κατά την περίοδο από το 2018 έως τις αρχές του 2020, η λογαριθμική μεταβλητότητα του σύνθετου δείκτη SSE παρουσίασε αρκετές περιόδους ακραίας μεταβλητότητας, οι οποίες συχνά συνέπιπταν με σημαντικά γεωπολιτικά γεγονότα. Μια τέτοια περίοδος ήταν στις αρχές του 2018, συγκεκριμένα τον Φεβρουάριο. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο δείκτης παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις, με τη λογαριθμική μεταβλητότητα να φτάνει σε επίπεδα άνω του 0,5. Αυτή η αυξημένη μεταβλητότητα προκλήθηκε κυρίως από ανησυχίες σχετικά με τις παγκόσμιες εμπορικές εντάσεις και την οικονομική αβεβαιότητα. Γεωπολιτικά γεγονότα όπως η κλιμακούμενη εμπορική διαμάχη μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και της Κίνας ενδεχομένως συνέβαλαν στην αβεβαιότητα της αγοράς και την ακραία μεταβλητότητα της περιόδου, οδηγώντας σε αυξημένη μεταβλητότητα της αγοράς. Επιπλέον, η λογαριθμική μεταβλητότητα του δείκτη παρέμεινε υψηλή κατά το τελευταίο μέρος του 2019 και στις αρχές του 2020, καθώς ο κόσμος πάλευε με τις συνεχιζόμενες επιπτώσεις της πανδημίας.

## Log Volatility-EUR/RUB Currency



Εικόνα 10: Λογαριθμική μεταβλητότητα της συναλλαγματικής ισοτιμίας EUR προς RUB

Κατά τις περιόδους υψηλής μεταβλητότητας στη συναλλαγματική ισοτιμία μεταξύ του ευρώ και του ρωσικού ρουβλίου, διάφορα γεωπολιτικά γεγονότα συνέβαλαν στις διακυμάνσεις. Τον Ιανουάριο του 2018, η συναλλαγματική ισοτιμία παρουσίασε αξιοσημείωτη μεταβλητότητα, πιθανώς λόγω αβεβαιοτήτων που αφορούσαν τις οικονομικές κυρώσεις που επιβλήθηκαν στη Ρωσία από τις δυτικές χώρες. Τον Απρίλιο του 2022, οι εντάσεις και οι αβεβαιότητες γύρω από την συνεχιζόμενη σύγκρουση μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας, καθώς και οι οικονομικές κυρώσεις που επιβλήθηκαν στη Ρωσία από τις δυτικές χώρες, συνέβαλαν στις υψηλότερες διακυμάνσεις μεταβλητότητας που καταγράφησαν για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο στην αξία του ρωσικού ρουβλίου.



Εικόνα 11: Λογαριθμική μεταβλητότητα των μελλοντικών συμβολαίων χρυσού

Κατά την αναλυόμενη περίοδο, ο χρυσός παρουσίασε σημαντικές περιόδους υψηλής μεταβλητότητας, συχνά συνδεδεμένες με διάφορα γεωπολιτικά γεγονότα και οικονομικές αβεβαιότητες. Ειδικότερα, στις αρχές του 2020, η πανδημία COVID-19 οδήγησε σε αύξηση της μεταβλητότητας του χρυσού, καθώς οι παγκόσμιες αγορές κυριεύτηκαν από την αβεβαιότητα. Η πρωτοφανής φύση της πανδημίας και ο οικονομικός της αντίκτυπος οδήγησαν τους επενδυτές να αναζητήσουν ασφαλή περιουσιακά στοιχεία όπως ο χρυσός, προκαλώντας την ταχεία διακύμανση της τιμής του. Γεωπολιτικές εντάσεις, όπως οι εμπορικές διαμάχες ΗΠΑ-Κίνας και οι διαπραγματεύσεις για το Brexit, συνέβαλαν επίσης σε αιχμές μεταβλητότητας τα προηγούμενα χρόνια. Αυτά τα γεγονότα υπογραμμίζουν τον ρόλο του χρυσού ως αντιστάθμισης κινδύνου έναντι της αβεβαιότητας, με την αξία του να είναι ευαίσθητη στις μεταβολές της παγκόσμιας πολιτικής και των οικονομικών συνθηκών.

## 6.2 Μήτρα Συσχετίσεων

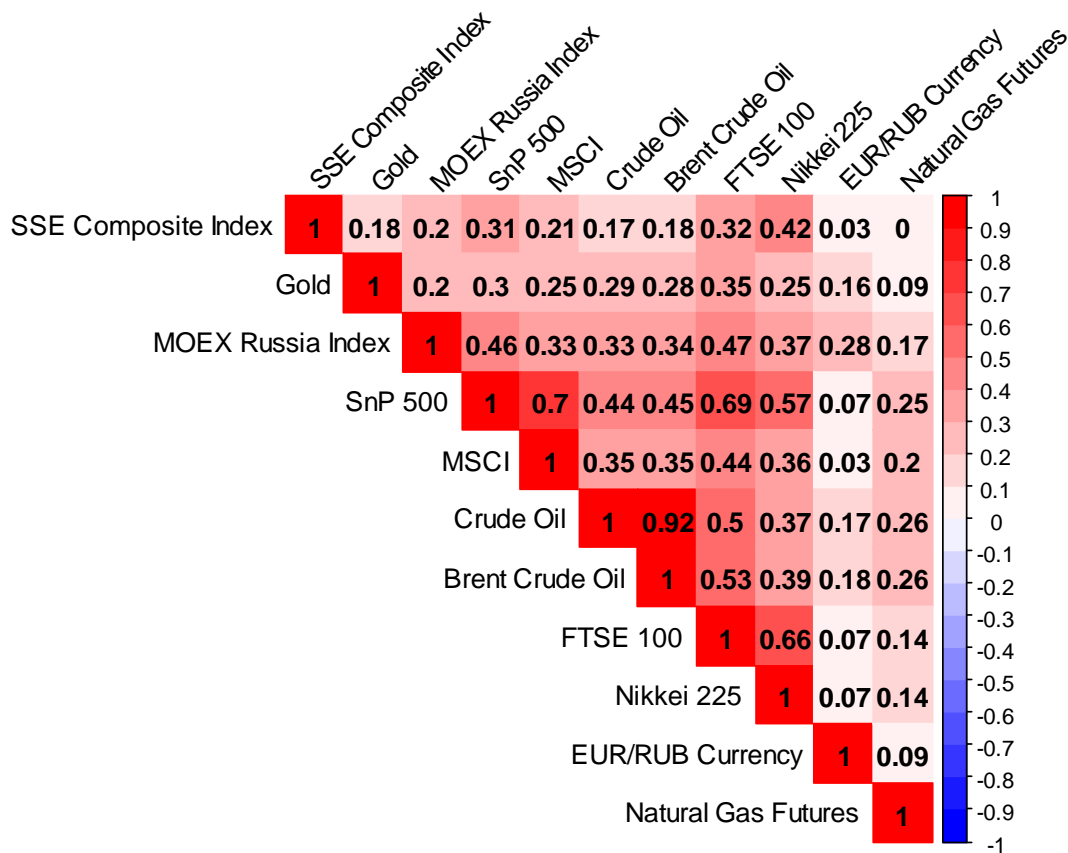
Η μήτρα συσχετίσεων, η οποία παρουσιάζεται παρακάτω, παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πώς σχετίζονται μεταξύ τους οι διάφοροι χρηματοοικονομικοί δείκτες που



χρησιμοποιούνται στο μοντέλο. Ειδικότερα, η συσχέτιση μεταξύ του αργού πετρελαίου και του αργού πετρελαίου Brent είναι ιδιαίτερα υψηλή, περίπου στο 0,92, γεγονός που υποδηλώνει μια πολύ ισχυρή θετική σχέση μεταξύ αυτών των δύο μεταβλητών που σχετίζονται με το πετρέλαιο. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς το αργό πετρέλαιο Brent και το αργό πετρέλαιο WTI αντιπροσωπεύουν το ίδιο εμπόρευμα. Επιπλέον, υπάρχει μέτρια έως ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ διαφόρων χρηματιστηριακών δεικτών, όπως ο S&P 500, ο MOEX Russia Index, ο FTSE 100 και ο Nikkei 225. Αυτό υποδεικνύει ότι αυτοί οι παγκόσμιοι χρηματιστηριακοί δείκτες τείνουν να κινούνται σε παρόμοιες κατευθύνσεις, γεγονός που αντανακλά την αλληλεξάρτηση στις παγκόσμιες χρηματοπιστωτικές αγορές. Αντίθετα, οι συσχετίσεις μεταξύ των περισσότερων χρηματοοικονομικών δεικτών και των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου είναι σχετικά ασθενείς, γεγονός που υποδηλώνει περιορισμένες γραμμικές σχέσεις μεταξύ αυτών των μεταβλητών.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτές οι συσχετίσεις παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις γραμμικές σχέσεις μεταξύ αυτών των μεταβλητών, αλλά δεν συνεπάγονται αιτιότητα. Επιπλέον, άλλοι παράγοντες και οικονομικές δυναμικές μπορεί επίσης να επηρεάσουν αυτές τις σχέσεις. Ως εκ τούτου, περαιτέρω ανάλυση και εξέταση του ευρύτερου οικονομικού περιβάλλοντος είναι απαραίτητα για μια ολοκληρωμένη κατανόηση των περίπλοκων σχέσεων μεταξύ των διαφόρων μεταβλητών του μοντέλου μας.

### Correlation Matrix



Εικόνα 12: Πίνακας Συσχετίσεων

### 6.3 Τεστ μοναδιαίας ρίζας και στασιμότητας

Η οπτική απεικόνιση της συμπεριφοράς των μεταβλητών στον χρόνο δεν υποδεικνύει καθοριστικά εάν τα δεδομένα της χρονολογικής σειράς παρουσιάζουν στασιμότητα ή μη. Για την αντιμετώπιση αυτής της αβεβαιότητας, τα σταθερά χαρακτηριστικά της χρονολογικής σειράς αξιολογούνται χρησιμοποιώντας τόσο το τεστ Augmented Dickey-Fuller (ADF) όσο και το τεστ Phillips-Perron.

Η μηδενική υπόθεση του τεστ ADF υποδεικνύει την παρουσία μοναδιαίας ρίζας, γεγονός που σημαίνει μη στασιμότητα στη χρονολογική σειρά. Η απόρριψη αυτής της μηδενικής υπόθεσης είναι απαραίτητη για την καθιέρωση της στασιμότητας της χρονολογικής σειράς. Αντίστροφα, το τεστ Phillips-Perron αξιολογεί τη μηδενική υπόθεση ότι μια χρονολογική σειρά διαθέτει μοναδιαία ρίζα. Το αντιπαραβάλλει με την εναλλακτική υπόθεση, η οποία θεωρεί τη σειρά σταθερή αφού λάβει υπόψη ορισμένα μοτίβα όπως την αυτοσυσχέτιση και την ετεροσκεδαστικότητα.

Τα αποτελέσματα του τεστ ADF παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, με τα μεμονωμένα αποτελέσματα για κάθε χρονολογική σειρά να παρουσιάζονται χωριστά. Σε όλες τις περιπτώσεις, η υπολογισμένη στατιστική  $t$  είναι πάντα αρνητική και πέφτει κάτω από την κρίσιμη τιμή σε ένα επίπεδο σημαντικότητας 5%. Δεδομένου ότι η τιμή  $p$  είναι αξιοσημείωτα χαμηλότερη από 0,05 και συχνά κοντά στο μηδέν, μπορούμε να απορρίψουμε τη μηδενική υπόθεση. Κατά συνέπεια, μπορούμε να συμπεράνουμε με βεβαιότητα ότι όλες οι εξεταζόμενες μεταβλητές παρουσιάζουν στασιμότητα.

ADF Test Results for Stationarity

Variable	ADF Statistic	P-value	Stationarity	TestNumber
EUR/RUB Currency	-6.445369	0.01	Stationary	1
Crude Oil	-5.381179	0.01	Stationary	2
MOEX Russia Index	-6.441058	0.01	Stationary	3
SnP 500	-5.499395	0.01	Stationary	4
SSE Composite Index	-8.833063	0.01	Stationary	5
Brent Crude Oil	-5.574758	0.01	Stationary	6
FTSE 100	-5.429544	0.01	Stationary	7
Nikkei 225	-5.800954	0.01	Stationary	8
Gold	-6.925810	0.01	Stationary	9
Natural Gas Futures	-5.886330	0.01	Stationary	10
MSCI	-6.350079	0.01	Stationary	11

Εικόνα 13: Augmented Dickey-Fuller test

Εκτός από τη διεξαγωγή του τεστ ADF, επιτύχαμε συγκρίσιμα αποτελέσματα κατά την εκτέλεση του τεστ Phillips-Perron για την αξιολόγηση της στασιμότητας των χρονολογικών σειρών. Τα αποτελέσματα του τεστ Phillips-Perron παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Σε κάθε περίπτωση, η υπολογισμένη στατιστική PP πέφτει κάτω από την κρίσιμη τιμή σε ένα

επίπεδο σημαντικότητας 5%, ενισχύοντας την επιβεβαίωσή μας για τη στασιμότητα των χρονολογικών σειρών.

Phillips-Perron Test Results for Stationarity

Variable	PP Statistic	P-value	Stationarity	TestNumber
EUR/RUB Currency	-417.5651	0.01	Stationary	1
Crude Oil	-472.5212	0.01	Stationary	2
MOEX Russia Index	-501.2488	0.01	Stationary	3
SnP 500	-572.0054	0.01	Stationary	4
SSE Composite Index	-727.9950	0.01	Stationary	5
Brent Crude Oil	-595.0061	0.01	Stationary	6
FTSE 100	-506.5192	0.01	Stationary	7
Nikkei 225	-736.8426	0.01	Stationary	8
Gold	-638.1957	0.01	Stationary	9
Natural Gas Futures	-757.3065	0.01	Stationary	10
MSCI	-801.9271	0.01	Stationary	11

Εικόνα 14: Phillips-Perron test

Όλες οι μεταβλητές στο μοντέλο VAR είναι στάσιμες, πράγμα που σημαίνει ότι δεν μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Επομένως, δεν χρειάζεται να διενεργήσουμε κάποια δοκιμή συνολοκλήρωσης.

#### 6.4 Επιλογή βέλτιστου αριθμού υστερήσεων

Πριν προχωρήσουμε στην εκτίμηση του αυτοπαλίνδρομου μοντέλου VAR (Vector Autoregression), είναι σημαντικό να προσδιορίσουμε τον πιο κατάλληλο αριθμό υστερήσεων. Αυτή η διαδικασία προσδιορισμού περιλαμβάνει τη χρήση κριτηρίων όπως το κριτήριο πληροφορίας Akaike (AIC), το κριτήριο πληροφορίας Bayesian (BIC), το κριτήριο πληροφορίας Hannan-Quinn (HQIC) και το τεστ Log-Rank.

Όπως υποδεικνύουν τα ευρήματα, τόσο το BIC όσο και το τεστ HQIC συγκλίνουν στην πρόταση χρήσης μιας καθυστέρησης. Αντίθετα, τα κριτήρια AIC και Log-Rank προτείνουν ότι μια βέλτιστη καθυστέρηση τεσσάρων θα ήταν προτιμότερη. Λαμβάνοντας υπόψη την ημερήσια φύση των συλλεχθέντων δεδομένων και την εστίαση της έρευνας στην διερεύνηση των δυναμικών περιπλοκών εντός των παρατηρήσεων, η πιο κατάλληλη επιλογή για την τάξη καθυστέρησης καθορίζεται ότι είναι τέσσερα (4). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα της μελέτης δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις εάν η βέλτιστη καθυστέρηση ήταν μία.

Optimal lag order

AIC	BIC	HQIC	Log-Rank
4	1	1	4

Εικόνα 15: Βέλτιστος αριθμός υστερήσεων

### 6.5 Spillover Πίνακας Πλήρους Δείγματος (Full Sample Spillover Table)

Ο πίνακας μετάδοσης μεταβλητότητας απεικονίζει πώς οι αναταραχές της αγοράς μεταφέρονται μεταξύ διαφορετικών αγορών. Η τιμή στην *i*-τη σειρά και την *j*-τη στήλη υποδηλώνει τον υπολογιζόμενο αντίκτυπο στην προβλεπόμενη μεταβλητότητα της αγοράς *i* λόγω αλλαγών στην αγορά *j*. Ως αποτέλεσμα, οι συνολικές τιμές στις στήλες και στις σειρές εκτός της κύριας διαγωνίου αντιπροσωπεύουν τις επιπτώσεις μετάδοσης στις κατευθύνσεις "προς" και "από" αντίστοιχα. Οι διαφορές που προκύπτουν από την αφαίρεση των επιπτώσεων μετάδοσης "προς" από τις επιπτώσεις μετάδοσης "από" αποκαλύπτουν τις καθαρές μεταδόσεις μεταβλητότητας. Μια ανάλυση του πίνακα που παρουσιάζεται θα μπορούσε να είναι η ακόλουθη:

Volatility Spillovers

	EUR/RUB Currency	Crude Oil	MOEX Russia Index	SnP 500	SSE Composite Index	Brent Crude Oil	FTSE 100	Nikkei 225	Gold	Natural Gas Futures	MSCI	From
EUR/RUB Currency	68	1	23	1	0	1	4	1	1	0	1	32
Crude Oil	1	45	4	9	7	1	12	6	7	2	6	55
MOEX Russia Index	1	1	82	5	1	1	4	2	2	0	2	18
SnP 500	1	1	2	82	1	1	7	2	2	1	1	18
SSE Composite Index	0	1	1	5	84	1	3	2	2	1	2	16
Brent Crude Oil	1	8	5	9	6	42	8	6	7	2	6	58
FTSE 100	1	1	1	9	3	2	78	1	3	0	2	22
Nikkei 225	1	1	1	12	1	2	5	74	1	0	2	26
Gold	0	1	1	3	1	1	6	1	84	0	1	16
Natural Gas Futures	3	0	2	12	2	2	5	1	8	51	14	49
MSCI	1	1	2	6	1	3	12	3	9	2	61	39
To	10	17	42	70	23	14	66	23	40	8	36	32

Εικόνα 16: Spillover Πίνακας Πλήρους Δείγματος (Full Sample Spillover Table)

Στις αγορές συναλλάγματος, ο δείκτης EUR/RUB παρουσιάζει σημαντική αυτοεπηρεασμό (69), γεγονός που σημαίνει ότι οι μεταβολές σε αυτό το ζεύγος νομισμάτων επηρεάζουν σημαντικά τον εαυτό του. Επιπλέον, το τμήμα αυτό ασκεί μικρές επιπτώσεις μετάδοσης στον FTSE 100 (4) και στον δείκτη MOEX Russia (23), υποδηλώνοντας πιθανές επιρροές τόσο στις διεθνείς όσο και στις εγχώριες χρηματιστηριακές αγορές.

Στις αγορές ενέργειας, τόσο το αργό πετρέλαιο όσο και το αργό πετρέλαιο Brent παρουσιάζουν ισχυρή αυτοεπηρεασμό (45 και 42 αντίστοιχα), υποδεικνύοντας ότι οι

διακυμάνσεις στις τιμές του πετρελαίου επηρεάζουν σημαντικά αυτά τα εμπορεύματα. Ειδικότερα, τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου, το αργό πετρέλαιο και το αργό πετρέλαιο Brent παρουσιάζουν αξιοσημείωτες επιπτώσεις μετάδοσης στον S&P 500 και στον δείκτη MSCI, υπονοώντας γενικότερες μακροοικονομικές τάσεις που αντανακλώνται στις τιμές της ενέργειας και οι οποίες επηρεάζουν στη συνέχεια τις παγκόσμιες χρηματιστηριακές αγορές. Επιπλέον, αυτοί οι δείκτες ενέργειας παρουσιάζουν έναν σημαντικό δείκτη μετάδοσης προς τον FTSE 100 και τον SSE Composite Index, υπονοώντας ότι οι αλλαγές στις τιμές του φυσικού αερίου και του πετρελαίου μπορεί να έχουν επιπτώσεις στους οικονομικούς τομείς που είναι ευαίσθητοι στην ενέργεια, επηρεάζοντας έτσι την επίδοση των εταιρειών που είναι εισηγμένες στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη Σαγκάη.

Στο πλαίσιο της ρωσικής οικονομίας, ο δείκτης MOEX Russia αποκαλύπτει μια ισχυρή αυτοεπηρεασμό (82) και σημαντικές επιπτώσεις μετάδοσης στον S&P 500 (9) και στον FTSE 100 (4), υποδηλώνοντας μια πιθανή παγκόσμια επιρροή. Στρεφόμενοι στην αμερικανική χρηματιστηριακή αγορά, ο S&P 500 παρουσιάζει υψηλή αυτοεπηρεασμό (82) και περιθωριακές επιπτώσεις μετάδοσης στον χρυσό (2) και στα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου (1), υποδηλώνοντας πιθανές σχέσεις μεταξύ της χρηματιστηριακής αγοράς και των περιουσιακών στοιχείων αυτών. Επιπλέον, ασκεί ένα σχετικά σημαντικό αποτέλεσμα μετάδοσης στον δείκτη FTSE 100 (7), υπονοώντας μια παγκόσμια διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών οικονομιών. Στην κινεζική οικονομία, ο SSE Composite Index παρουσιάζει αξιοσημείωτη αυτοεπηρεασμό (84) και περιθωριακά αποτελέσματα μετάδοσης στον Nikkei 225 (2), υποδηλώνοντας πιθανές διεθνείς επιπτώσεις. Επιπλέον, ασκεί κάποια επιρροή στις μεταβολές της αμερικανικής οικονομίας, με ένα ημι-σημαντικό αποτέλεσμα μετάδοσης (5).

Ο FTSE 100, ο οποίος αντιπροσωπεύει την οικονομία του Ηνωμένου Βασιλείου, παρουσιάζει ισχυρή αυτοεπηρεασμό (78) και μικρές επιπτώσεις μετάδοσης στον χρυσό (3) και τον S&P 500 (9), υποδηλώνοντας πιθανές επιπτώσεις στις διεθνείς αγορές. Στην ιαπωνική οικονομία, ο Nikkei 225 παρουσιάζει υψηλή αυτοεπηρεασμό (74) και σημαντικές επιπτώσεις μετάδοσης στον S&P 500 (12), υποδηλώνοντας πιθανές επιρροές στις παγκόσμιες αγορές.

Μεταβαίνοντας στα πολύτιμα μέταλλα, ο χρυσός παρουσιάζει την υψηλότερη αυτοεπηρεασμό (84), γεγονός που σημαίνει ότι οι αλλαγές στην τιμή του χρυσού επηρεάζουν σημαντικά τον ίδιο. Επιπλέον, παρουσιάζει μέτριες επιπτώσεις μετάδοσης στον S&P 500 (3) και τον FTSE 100 (6), υποδηλώνοντας πιθανές επιπτώσεις στις παγκόσμιες αγορές μετοχών. Τέλος, εντός των παγκόσμιων μετοχών, ο δείκτης MSCI παρουσιάζει ισχυρή αυτοεπηρεασμό (61), επηρεάζοντας σημαντικά τον ίδιο. Επιπλέον, ασκεί σημαντικές επιπτώσεις σε διάφορους δείκτες μετοχών, υποδεικνύοντας μια πιθανή σχέση μεταξύ των παγκόσμιων μετοχών και των μετοχών. Επιπλέον, έχει μέτρια επιρροή στον χρυσό (9), υποδεικνύοντας μια πιθανή σχέση μεταξύ των μετοχών και των πολύτιμων μετάλλων, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο χρυσός μπορεί να αναζητηθεί ως αντιστάθμιση κινδύνου έναντι της αναταραχής στην αγορά μετοχών.

Αυτές οι αναλύσεις υπογραμμίζουν τη διασύνδεση και τις πιθανές επιρροές μεταξύ διαφόρων τομέων της οικονομίας, όπως αντιπροσωπεύονται από τους δείκτες στον πίνακα μετάδοσης. Οι σχέσεις που παρατηρούνται στον πίνακα παρέχουν πληροφορίες για το πώς οι αλλαγές σε

έναν τομέα της οικονομίας μπορούν να επηρεάσουν άλλους τομείς, συμβάλλοντας σε μια ευρύτερη κατανόηση της χρηματοοικονομικής και οικονομικής δυναμικής.

## 6.6 Connectedness Πίνακας Πλήρους Δείγματος (Full Sample Connectedness Table)

Volatility Connectedness

	EUR/RUB Currency	Crude Oil	MOEX Russia Index	SnP 500	SSE Composite Index	Brent Crude Oil	FTSE 100	Nikkei 225	Gold	Natural Gas Futures	MSCI	From	Net
EUR/RUB Currency	31.63	5.41	31.01	2.92	0.42	4.61	1.22	0.66	0.42	13.54	8.16	68.37	-65.82
Crude Oil	0.09	41.88	4.15	2.32	0.29	28.68	2.48	1.17	0.59	11.81	6.55	58.12	50.07
MOEX Russia Index	0.13	7.01	50.27	5.92	0.54	5.46	3.61	1.63	0.48	12.34	12.62	49.73	38.76
SnP 500	0.47	8.18	8.01	20.50	0.87	7.28	6.30	2.70	0.69	15.63	29.35	79.50	-22.69
SSE Composite Index	0.16	6.53	7.77	6.05	26.28	4.36	4.73	4.18	1.46	23.01	15.48	73.72	-64.92
Brent Crude Oil	0.08	35.41	4.18	2.44	0.29	34.76	2.48	1.16	0.56	11.87	6.79	65.24	20.33
FTSE 100	0.38	14.17	10.16	11.51	0.98	12.33	14.90	3.79	1.23	10.21	20.34	85.10	-46.65
Nikkei 225	0.44	9.32	9.18	11.69	2.86	7.69	8.08	14.49	0.75	14.03	21.46	85.51	-66.20
Gold	0.37	11.95	8.39	4.85	1.48	7.83	6.18	2.31	22.13	17.59	16.92	77.87	-70.39
Natural Gas Futures	0.12	3.10	1.10	0.90	0.13	2.16	0.39	0.24	0.33	87.11	4.43	12.89	135.67
MSCI	0.31	7.12	4.54	8.22	0.95	5.18	2.99	1.47	0.96	18.52	49.74	50.26	91.85
To	2.55	108.19	88.49	56.81	8.81	85.57	38.45	19.31	7.48	148.56	142.11	-65.82	50.07

Εικόνα 17: Connectedness Πίνακας Πλήρους Δείγματος (Full Sample Connectedness Table)

- Διασύνδεση μεταξύ των αγορών ενέργειας, χρηματιστηριακών δεικτών και συναλλάγματος

Η ισχυρή διασύνδεση μεταξύ του αργού πετρελαίου και του αργού πετρελαίου Brent είναι εύκολο να διαπιστωθεί στα δεδομένα, γεγονός που αντανακλά τη στενή σχέση τους ως εμπορεύματα ενέργειας. Και τα δύο παρουσιάζουν σχετικά υψηλή διασύνδεση με άλλους τομείς, όπως οι χρηματιστηριακές αγορές (S&P 500, MOEX Russia Index, Nikkei 225, MSCI) και οι ισοτιμίες συναλλάγματος (EUR/RUB Currency), επομένως θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι κινήσεις στις τιμές του πετρελαίου, στις παγκόσμιες χρηματοπιστωτικές αγορές και στις ισοτιμίες συναλλάγματος μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο η μία στην άλλη.

Τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου παρουσιάζουν επίσης μέτρια διασύνδεση με άλλους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των δεικτών αργού πετρελαίου, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι διακυμάνσεις στις τιμές της ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν η μία την άλλη εντός της αγοράς ενέργειας.

Ο S&P 500, ο οποίος αντιπροσωπεύει την αμερικανική χρηματιστηριακή αγορά, διατηρεί ισχυρή διασύνδεση με διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων του αργού πετρελαίου, του αργού πετρελαίου Brent και των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου. Αυτό υποδηλώνει ότι οι αλλαγές στις αγορές ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν την αμερικανική χρηματιστηριακή αγορά και το αντίστροφο, γεγονός που συνάδει με τον σημαντικό ρόλο της ενέργειας στην αμερικανική οικονομία και τη διασύνδεση της ενέργειας με τις χρηματιστηριακές αγορές.

Ο δείκτης MOEX Russia, ως δείκτης της ρωσικής χρηματιστηριακής αγοράς, είναι στενά συνδεδεμένος με το αργό πετρέλαιο και έχει μέτρια σύνδεση με τα συμβόλαια μελλοντικής

εκπλήρωσης φυσικού αερίου. Αυτό υπογραμμίζει την οικονομική συναιθισία της επιρροής των τιμών της ενέργειας στη ρωσική οικονομία και χρηματιστηριακή αγορά.

Ο Nikkei 225, ο δείκτης της ιαπωνικής χρηματιστηριακής αγοράς, παρουσιάζει ισχυρή διασύνδεση τόσο με το αργό πετρέλαιο όσο και με τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι διακυμάνσεις στις τιμές της ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν τις ιαπωνικές μετοχές.

Ο δείκτης SSE Composite, ο οποίος αντιπροσωπεύει την κινεζική χρηματιστηριακή αγορά, παρουσιάζει μέτριο επίπεδο διασύνδεσης με το αργό πετρέλαιο και τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι διακυμάνσεις στην κινεζική χρηματιστηριακή αγορά μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην αγορά ενέργειας.

Ο δείκτης SSE Composite, ο οποίος αντιπροσωπεύει την κινεζική χρηματιστηριακή αγορά, παρουσιάζει μέτριο επίπεδο διασύνδεσης με το αργό πετρέλαιο και τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι διακυμάνσεις στην κινεζική χρηματιστηριακή αγορά μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην αγορά ενέργειας.

Ο δείκτης MSCI αντιπροσωπεύει τις παγκόσμιες αγορές μετοχών και είναι ένα ευρύ μέτρο της παγκόσμιας απόδοσης των μετοχών. Παρουσιάζει ισχυρή διασύνδεση με διάφορους τομείς στον πίνακα, συμπεριλαμβανομένου του αργού πετρελαίου, του αργού πετρελαίου Brent και των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου. Τα δεδομένα υποδηλώνουν ότι ο δείκτης MSCI είναι συνδεδεμένος με τα εμπορεύματα ενέργειας (αργό πετρέλαιο, αργό πετρέλαιο Brent και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου), γεγονός που υποδεικνύει ότι οι αλλαγές στις αγορές ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση της παγκόσμιας αγοράς μετοχών και το αντίστροφο.

Συνοψίζοντας, οι αγορές μετοχών και ομολόγων αντικατοπτρίζουν το ευρύτερο οικονομικό κλίμα και την εμπιστοσύνη των επενδυτών. Η οικονομική ανάπτυξη και οι επιδόσεις των εταιρειών μπορούν να επηρεάσουν τις κινήσεις των χρηματιστηριακών αγορών, και οι δείκτες αυτοί είναι ευαίσθητοι στις παγκόσμιες οικονομικές εξελίξεις. Όπως φαίνεται στο σύνολο δεδομένων, η διασύνδεση μεταξύ των σημείων αναφοράς ενέργειας και των δεικτών μετοχών/ομολόγων υπογραμμίζει τη διασυνδεδεμένη φύση αυτών των αγορών. Οι κινήσεις στις τιμές της ενέργειας μπορούν να σηματοδοτήσουν αλλαγές στο κόστος παραγωγής, στα πρότυπα κατανάλωσης και στη γενική οικονομική υγεία, επηρεάζοντας την απόδοση της αγοράς μετοχών. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των χρηματιστηριακών αγορών και των αγορών ενέργειας υπογραμμίζει την ανάγκη για μια ολοκληρωμένη κατανόηση της δυναμικής των διαφορετικών περιουσιακών στοιχείων. Οι διακυμάνσεις στις αγορές ενέργειας μπορούν να έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις στην ευρύτερη οικονομία, επηρεάζοντας τα εταιρικά κέρδη, το επενδυτικό κλίμα και τελικά τις τιμές των μετοχών. Από την άλλη πλευρά, οι κινήσεις των χρηματιστηριακών αγορών μπορούν να χρησιμεύσουν ως δείκτες της οικονομικής υγείας και της εμπιστοσύνης των καταναλωτών, επηρεάζοντας τη ζήτηση ενέργειας.

- Διασύνδεση μεταξύ του χρυσού και των άλλων δεικτών

Τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης χρυσού παρουσιάζουν ισχυρή διασύνδεση μεταβλητότητας με τους δείκτες μετοχών, ενέργειας και μετοχών, όπως αντικατοπτρίζει ο πίνακας δεδομένων, ειδικά με τους δείκτες αργού πετρελαίου, MOEX Russia, S&P 500,

FTSE 500, φυσικού αερίου και MSCI, υποδηλώνοντας ότι οι αλλαγές στις τιμές του χρυσού μπορούν να επηρεάσουν τις μετοχές ενέργειας και τους δείκτες μετοχών. Αυτή η παρατηρούμενη σχέση μπορεί να δικαιολογήσει τα ακόλουθα οικονομικά αισθήματα:

Ο χρυσός θεωρείται συχνά ως ασφαλές καταφύγιο, ειδικά σε περιόδους οικονομικής αβεβαιότητας ή μεταβλητότητας της αγοράς. Όταν οι επενδυτές αναζητούν ασφάλεια, μπορεί να μεταφέρουν τις επενδύσεις τους από πιο ριψοκίνδυνα περιουσιακά στοιχεία, όπως οι μετοχές, συμπεριλαμβανομένων των μετοχών ενέργειας, σε πιο ασφαλή περιουσιακά στοιχεία, όπως ο χρυσός. Αυτή η φυγή προς την ασφάλεια μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε μείωση των αξιών των χρηματιστηριακών αγορών, συμπεριλαμβανομένων των δεικτών του ενεργειακού τομέα.

Οι αγορές χρυσού και μετοχών, συμπεριλαμβανομένων των μετοχών ενέργειας, μπορούν μερικές φορές να παρουσιάσουν αντίστροφη συσχέτιση. Όταν οι τιμές του χρυσού ανεβαίνουν, οι αγορές μετοχών μπορεί να βρεθούν υπό πίεση, και το αντίστροφο. Αυτή η αντίστροφη σχέση μπορεί να συμβεί σε περιόδους αυξημένης αβεβαιότητας ή χρηματοοικονομικής πίεσης.

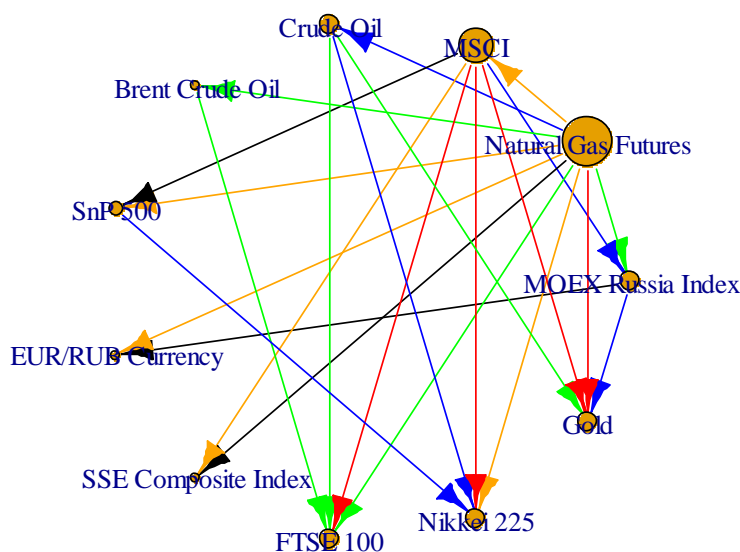
Ο χρυσός θεωρείται ως αντιστάθμιση κατά του πληθωρισμού. Οι ανησυχίες για τον αυξανόμενο πληθωρισμό μπορούν να οδηγήσουν τους επενδυτές να διαθέσουν περισσότερα κεφάλαια στον χρυσό, ειδικά ως αποθήκη αξίας. Ο υψηλότερος πληθωρισμός μπορεί να επηρεάσει τις μετοχές ενέργειας αυξάνοντας το κόστος παραγωγής και μειώνοντας τα περιθώρια κέρδους.

## 6.7 Πλήρης δείγμα FEVD ως δίκτυο

Η έρευνα των Diebold και Yilmaz (2011) αποκάλυψε ότι η καθαρή κατά ζεύγη ανάλυση της διακύμανσης των λαθών πρόβλεψης (FEVD) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός σταθμισμένου και κατευθυνόμενου δικτύου. Το δίκτυο αυτό κατασκευάζεται λαμβάνοντας την ανάστροφη της μήτρας συνδεσιμότητας και αφαιρώντας την από την αρχική μήτρα συνδεσιμότητας. Ως εκ τούτου, ο πίνακας διασύνδεσης μπορεί να μετατραπεί σε μια αναπαράσταση δικτύου, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα. Σε αυτό το δίκτυο, κάθε ακμή αντιπροσωπεύει έναν κόμβο που συνεισφέρει μεταβλητότητα σε έναν άλλο κόμβο. Το γράφημα εμφανίζει συνδέσεις όπου η δύναμη των σχέσεων εμπίπτει στο εικοσιοστό εκατοστημόριο.



## Firm Connectedness (Daily Return Volatility)



black: 1st percentile    red: 5th percentile  
orange: 10th percentile  
green: 15th percentile    blue: 20th percentile  
node size: number of edges connected to the node

*Εικόνα 18: FEVD ως δίκτυο*

Το δίκτυο απεικονίζει συνδέσεις με ουσιαστική ισχύ (βάρος) μεταξύ διαφόρων ζευγών μεταβλητών. Για παράδειγμα:

Τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου έχουν ισχυρές συνδέσεις με αρκετές άλλες μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένων των νομισμάτων EUR/RUB, του αργού πετρελαίου, του δείκτη MOEX Russia, του S&P 500, του δείκτη SSE Composite, του αργού πετρελαίου Brent, του FTSE 100, του Nikkei 225, του χρυσού και του MSCI. Αυτές οι συνδέσεις υποδεικνύουν ότι τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου επηρεάζουν και επηρεάζονται από αυτές τις μεταβλητές. Ως εκ τούτου, τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου μπορούν να θεωρηθούν ως κεντρικός κόμβος λόγω των εκτεταμένων συνδέσεών τους. Αυτή η κεντρικότητα υποδηλώνει ότι οι αλλαγές στις τιμές ή τη μεταβλητότητα των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου μπορούν δυνητικά να έχουν ευρεία επίδραση στις διασυνδεδεμένες μεταβλητές του δικτύου.

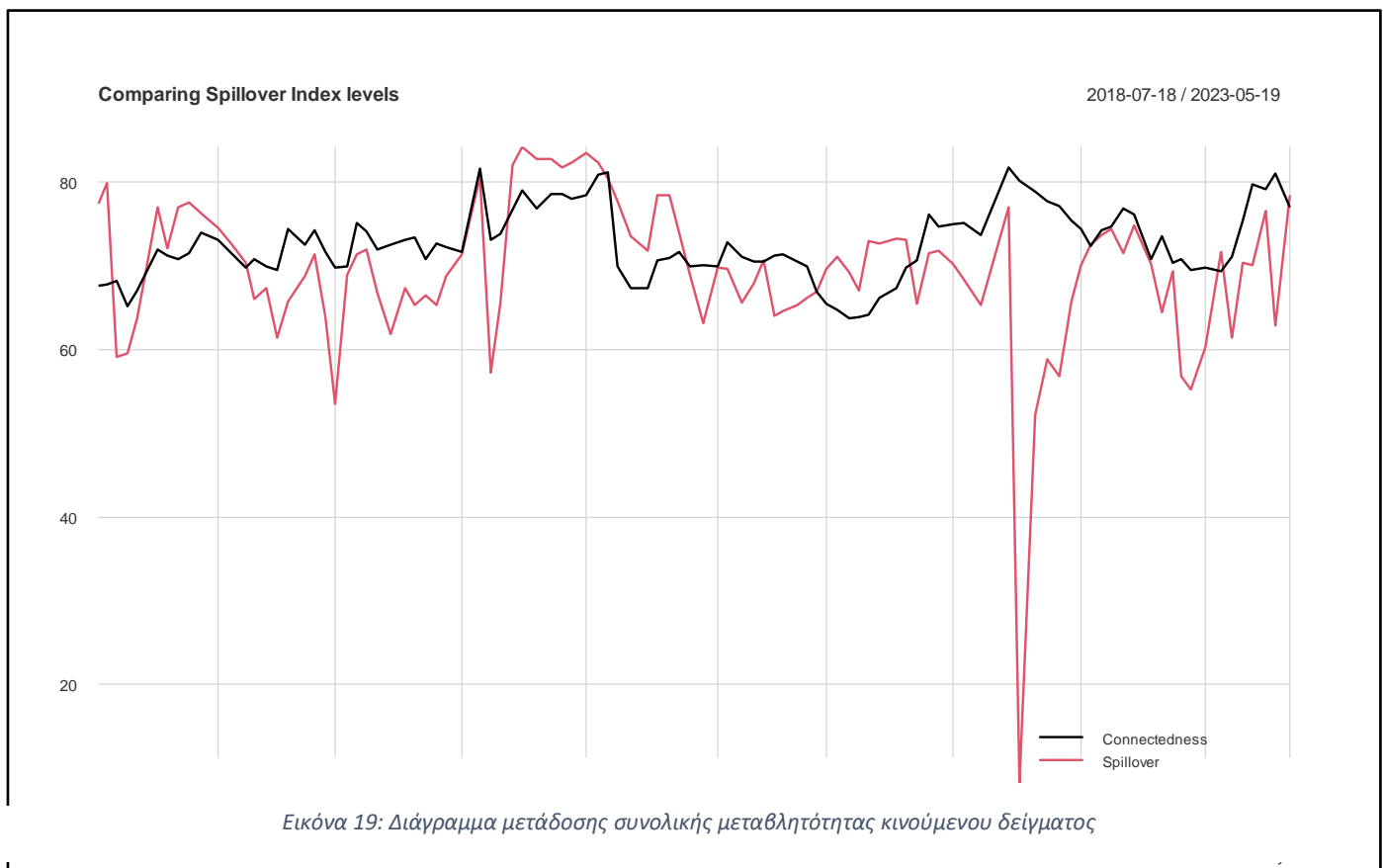
Ο δείκτης MSCI δείχνει επίσης σημαντικές συνδέσεις με αρκετές άλλες μεταβλητές στο δίκτυο. Αυτό υποδηλώνει ότι ο MSCI μπορεί να διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη μετάδοση της μεταβλητότητας ή των πληροφοριών εντός αυτού του δικτύου.

Το αργό πετρέλαιο και το αργό πετρέλαιο Brent είναι στενά συνδεδεμένα με τον FTSE 100.

### 6.8 Διάγραμμα μετάδοσης συνολικής μεταβλητότητας κινούμενου δείγματος

Κατά την περίοδο που αναλύεται στην παρούσα μελέτη, από τον Ιανουάριο του 2018 έως τον Μάιο του 2023, μπορούν να παρατηρηθούν σημαντικές αλλαγές στα δεδομένα δείγματος. Ορισμένες από αυτές τις αλλαγές μπορούν να χαρακτηριστούν ως μια σταδιακή και συνεχιζόμενη εξέλιξη, όπως η αυξημένη διασύνδεση των παγκόσμιων χρηματοπιστωτικών και ενεργειακών αγορών και η αυξημένη κινητικότητα του κεφαλαίου. Από την άλλη πλευρά, υπήρξαν επίσης περιπτώσεις αιφνίδιων εκρήξεων δραστηριότητας που αργότερα υποχώρησαν.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το υπόβαθρο της εξελισσόμενης οικονομίας και των περιστασιακών αναταράξεων, είναι απίθανο ένα μόνο μοντέλο με σταθερές παραμέτρους να είναι εφαρμόσιμο σε ολόκληρο το χρονικό διάστημα. Επομένως, η ολοκληρωμένη ανάλυση μετάδοσης και οι δείκτες που κατασκευάστηκαν προηγουμένως, παρόλο που παρέχουν μια πολύτιμη επισκόπηση των μέσων προτύπων μετάδοσης μεταβλητότητας, ενδέχεται να μην συλλάβουν ενδεχομένως σημαντικές μακροπρόθεσμες τάσεις και κυκλικές διακυμάνσεις στα αποτελέσματα μετάδοσης. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, στις ακόλουθες αναλύσεις μεταδόσεων μεταβλητότητας χρησιμοποιούνται κυλιόμενα δείγματα 100 ημερών με μέγεθος της αύξησης για τη μετακίνηση του παραθύρου ίσο με 10, τάξη  $q$  του  $MA(q)$  ίσο με 10 και με αριθμό υστερήσεων στο VAR/SVAR ίσο με 4. Αυτή η προσέγγιση θα μπορούσε να εξετάσει την έκταση και τα χαρακτηριστικά των διακυμάνσεων μετάδοσης με την πάροδο του χρόνου, αναλύοντας τις αντίστοιχες χρονοσειρές των δεικτών μετάδοσης. Στο ακόλουθο γράφημα, αυτά τα ευρήματα παρουσιάζονται γραφικά.



Εικόνα 19: Διάγραμμα μετάδοσης συνολικής μεταβλητότητας κινούμενου δείγματος

### Προ-COVID περίοδος (2018-2019):

Οι μετρήσεις διασύνδεσης και μετάδοσης εμφανίζουν σχετικά σταθερές τιμές κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Δεν φαίνεται να υπάρχουν σημαντικές οικονομικές διαταραχές ή γεγονότα κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

### Πανδημία COVID-19 (2020):

Οι μετρήσεις διασύνδεσης και μετάδοσης παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις, ιδιαίτερα από τον Μάρτιο του 2020. Η περίοδος αυτή αντιστοιχεί στην έξαρση και τη γρήγορη εξάπλωση του COVID-19 σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα υψηλά επίπεδα διασύνδεσης και μετάδοσης υποδηλώνουν ότι η πανδημία είχε βαθύτατο αντίκτυπο στις χρηματοπιστωτικές αγορές, προκαλώντας αυξημένη διασυνδεσιμότητα και μετάδοση μεταβλητότητας.

### Ανάκαμψη μετά τον COVID (2020-2021):

Μετά το αρχικό σοκ της πανδημίας, οι μετρήσεις διασύνδεσης και μετάδοσης αρχίζουν να μειώνονται, αλλά παραμένουν σχετικά υψηλότερες από τα προ πανδημίας επίπεδα. Οι κεντρικές τράπεζες και οι κυβερνήσεις εφάρμοσαν διάφορα μέτρα τόνωσης για να στηρίξουν τις οικονομίες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

### Πόλεμος Ρωσίας-Ουκρανίας (2022):

Στις αρχές του 2022, περίπου την εποχή του πολέμου Ρωσίας-Ουκρανίας, παρατηρείται αισθητή αύξηση τόσο στη διασύνδεση όσο και στη μετάδοση. Γεωπολιτικά γεγονότα όπως πόλεμοι ή συγκρούσεις μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη αβεβαιότητα στις χρηματοπιστωτικές αγορές, προκαλώντας δυνητικά υψηλότερη μεταβλητότητα και διασυνδεσιμότητα.

### Μεταπολεμική περίοδος και μετά (2022-2023):

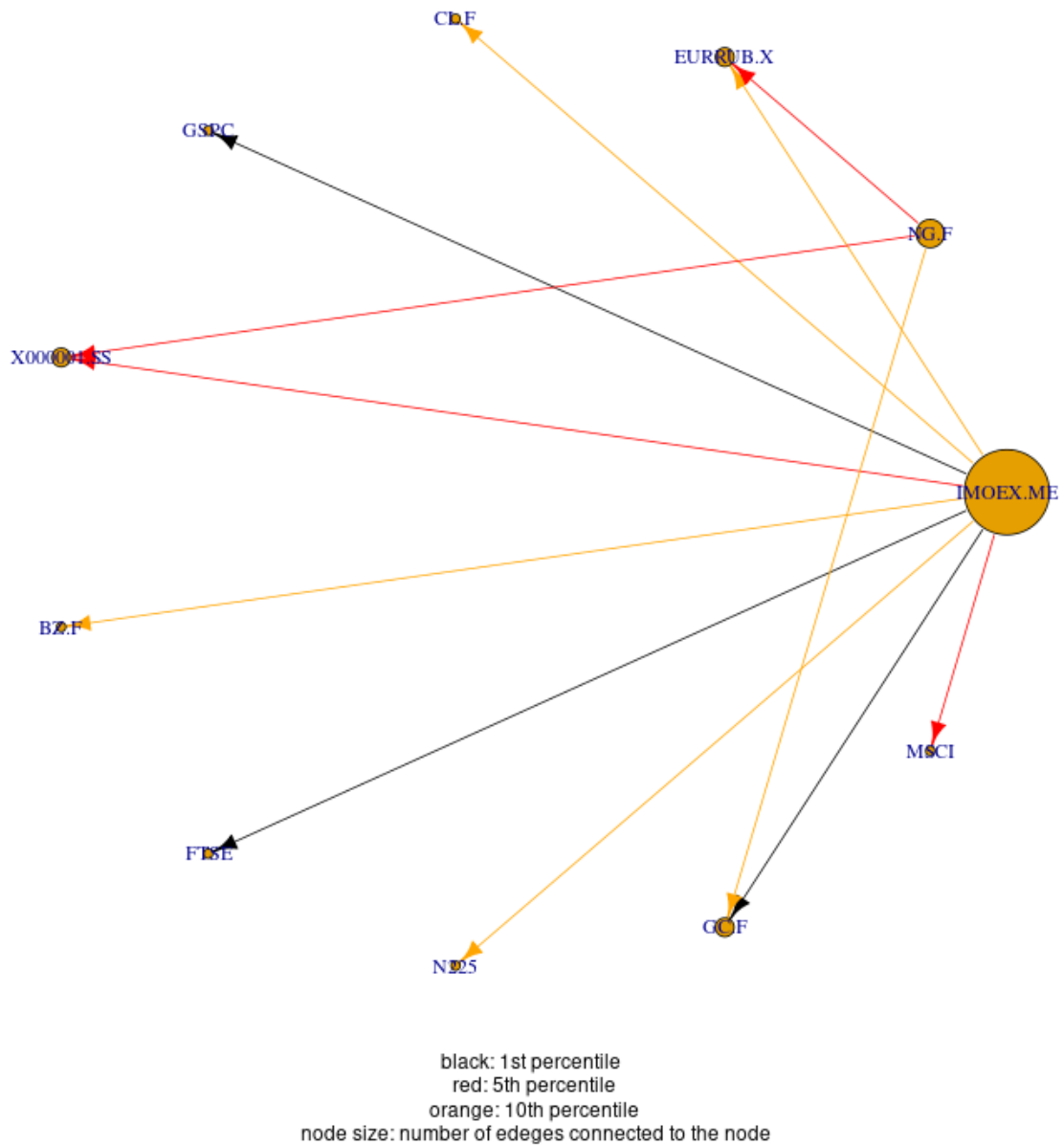
Μετά τον πόλεμο, οι μετρήσεις αρχίζουν να σταθεροποιούνται αλλά παραμένουν σχετικά υψηλότερες σε σύγκριση με την προ πανδημίας περίοδο. Ενδέχεται να υπάρχουν συνεχιζόμενες οικονομικές και γεωπολιτικές επιπτώσεις που συνεχίζουν να επηρεάζουν τις χρηματοπιστωτικές αγορές.

Χρησιμοποιώντας την εκτίμηση κυλιόμενου παραθύρου, είναι δυνατό να δούμε το δίκτυο που απεικονίστηκε προηγουμένως σε διάφορα χρονικά σημεία. Το ακόλουθο σχήμα δείχνει τον σχηματισμό του δικτύου λίγες ημέρες μετά την έναρξη του πολέμου Ρωσίας-Ουκρανίας το 2022. Η κυριαρχία του εφέ μεταβλητότητας του δείκτη MOEX Russia στις παγκόσμιες χρηματοπιστωτικές και ενεργειακές αγορές είναι το κύριο αποτέλεσμα που μπορεί να παρατηρηθεί σαφώς.

Variables Explanation	
EURRUB=X	EUR/RUB Currency
CL=F	Crude Oil
IMOEX.ME	MOEX Russia Index
^GSPC	SnP 500
000001.SS	SSE Composite Index
BZ=F	Brent Crude Oil
^FTSE	FTSE 100
^N225	Nikkei 225
GC=F	Gold
NG=F	Natural Gas Futures
<u>MSCI</u>	<u>MSCI</u>

(Πίνακας που παρουσιάζει την επεξήγηση κάθε μεταβλητής που παρουσιάζονται στα δυναμικά δίκτυα παρακάτω).

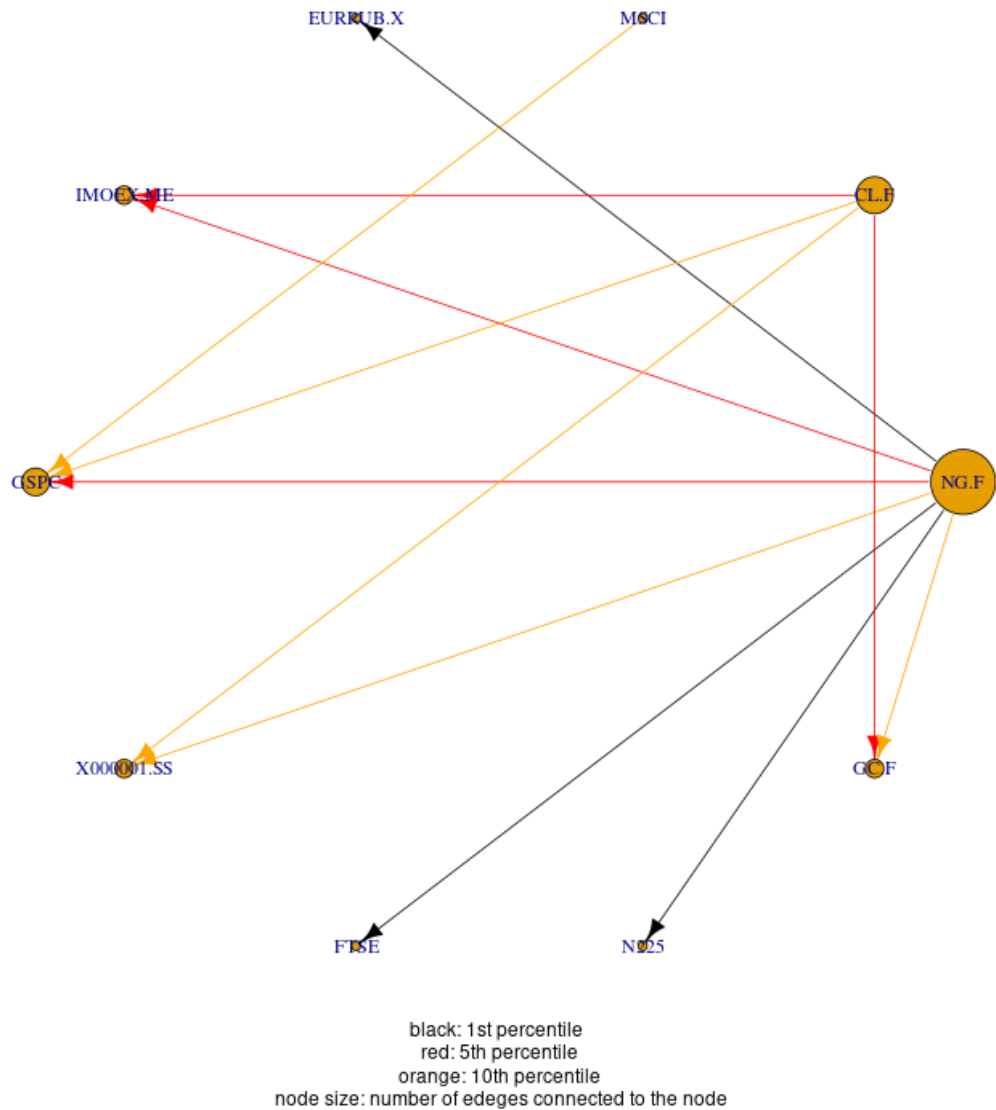
### Firm Connectedness (intra day return volatility)



Εικόνα 20: Interconnectedness 01/03/22

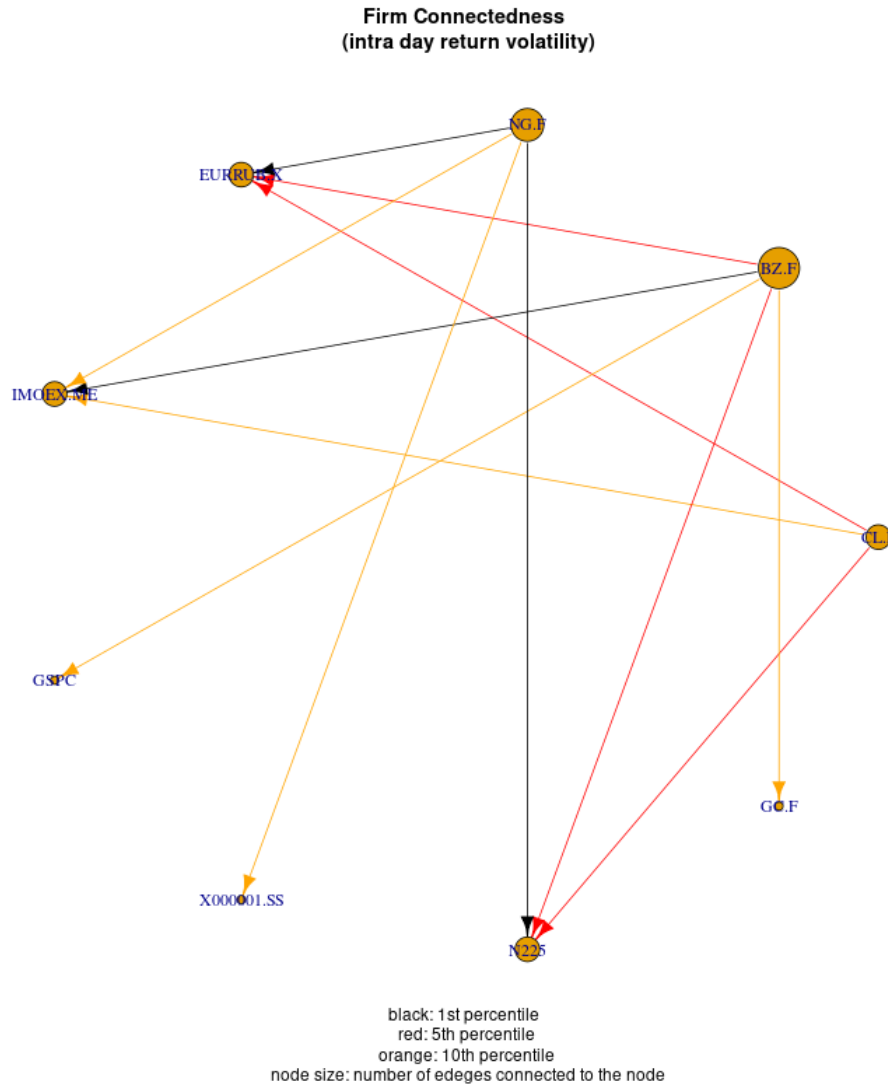
Το ακόλουθο σχήμα απεικονίζει το δίκτυο διασύνδεσης κατά τις αρχικές ημέρες του πρώτου κύματος της πανδημίας Covid-19. Σαφώς, δείχνει τον αξιοσημείωτο αντίκτυπο που είχε η πανδημία στις αγορές ενέργειας, καθώς τα κυρίαρχα αποτελέσματα μεταβλητότητας προέρχονται από τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου και αργού πετρελαίου (NG.F, CL.F).

**Firm Connectedness  
(intra day return volatility)**



*Εικόνα 21: Interconnectedness 11/03/20*

Είναι προφανές ότι μια παρόμοια εικόνα με την προηγούμενη απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα, το οποίο απεικονίζει το δίκτυο διασύνδεσης κατά τις αρχικές ημέρες του δεύτερου κύματος της πανδημίας Covid-19. Με παρόμοιο τρόπο, τα περισσότερα από τα αποτελέσματα μεταβλητότητας προέρχονται από τους κωδικούς των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου και αργού πετρελαίου (NG.F, BZ.F, CL.F).

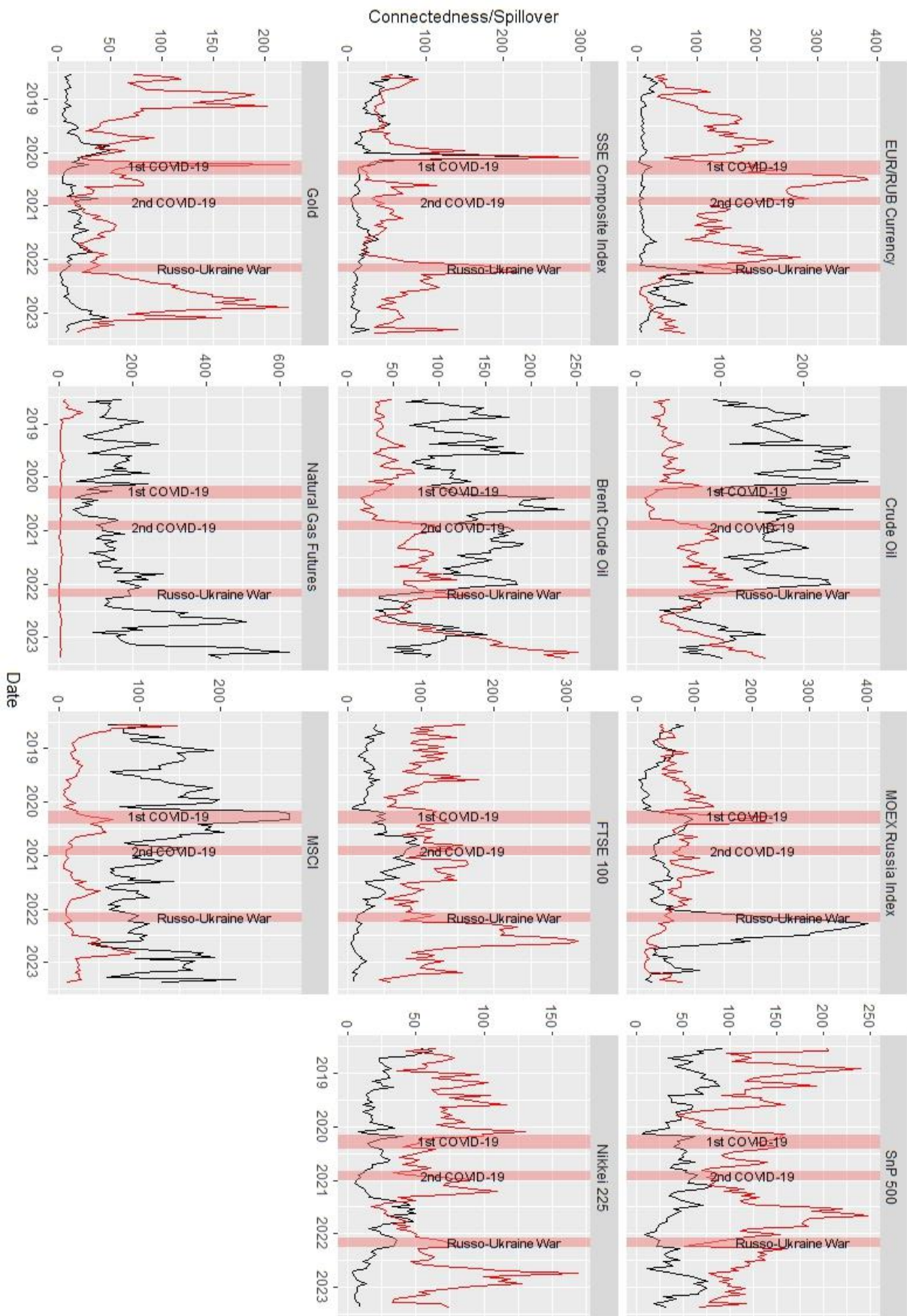


*Εικόνα 22: Interconnectedness 01/11/20*

### 6.9 Συνολική Κατευθυνόμενη Διασύνδεση και Μετάδοση (Total Directional Connectedness and Spillover)

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που εξάγονται από τους πίνακες διασύνδεσης και μετάδοσης, είναι δυνατή η απεικόνιση του βαθμού μεταβλητότητας που λαμβάνει ή μεταδίδει κάθε δείκτης. Αυτό θα μπορούσε να συμβάλει στον εντοπισμό εκείνων των δεικτών που συνέβαλαν στην υπερβολική μεταβλητότητα ή λειτούργησαν ως καθαροί αποδέκτες σε περίπτωση αναταραχής της αγοράς. Στα ακόλουθα σχήματα, οι κόκκινες γραμμές υποδηλώνουν μετρήσεις μετάδοσης, ενώ οι μαύρες γραμμές υποδηλώνουν επίπεδα διασύνδεσης.

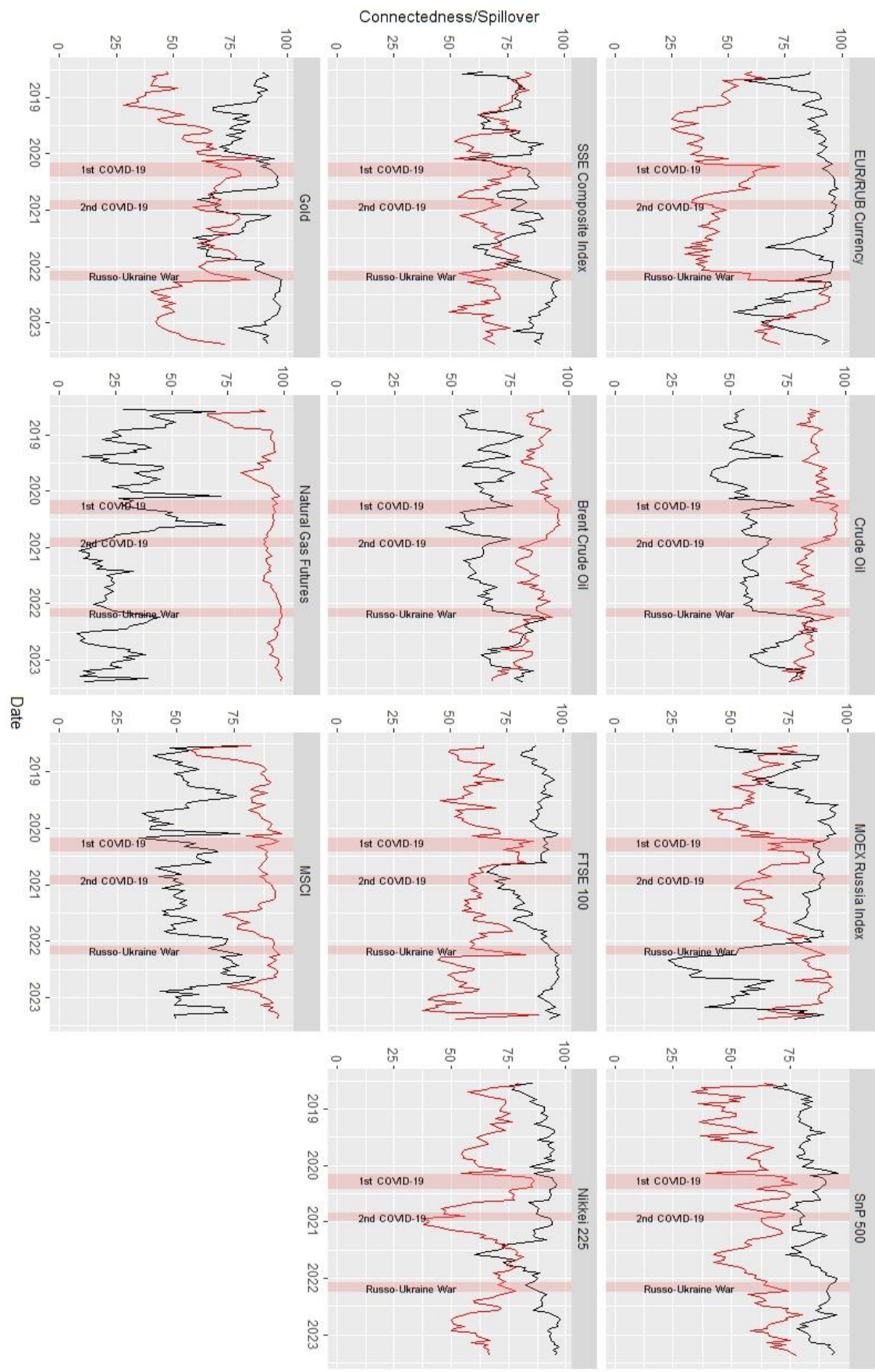
### 6.9.1 Μετάδοση μεταβλητότητας (Volatility Giving)



Εικόνα 23: Συνολική Κατευθυνόμενη Διασύνδεση και Μετάδοση (Total Directional Connectedness and Spillover)

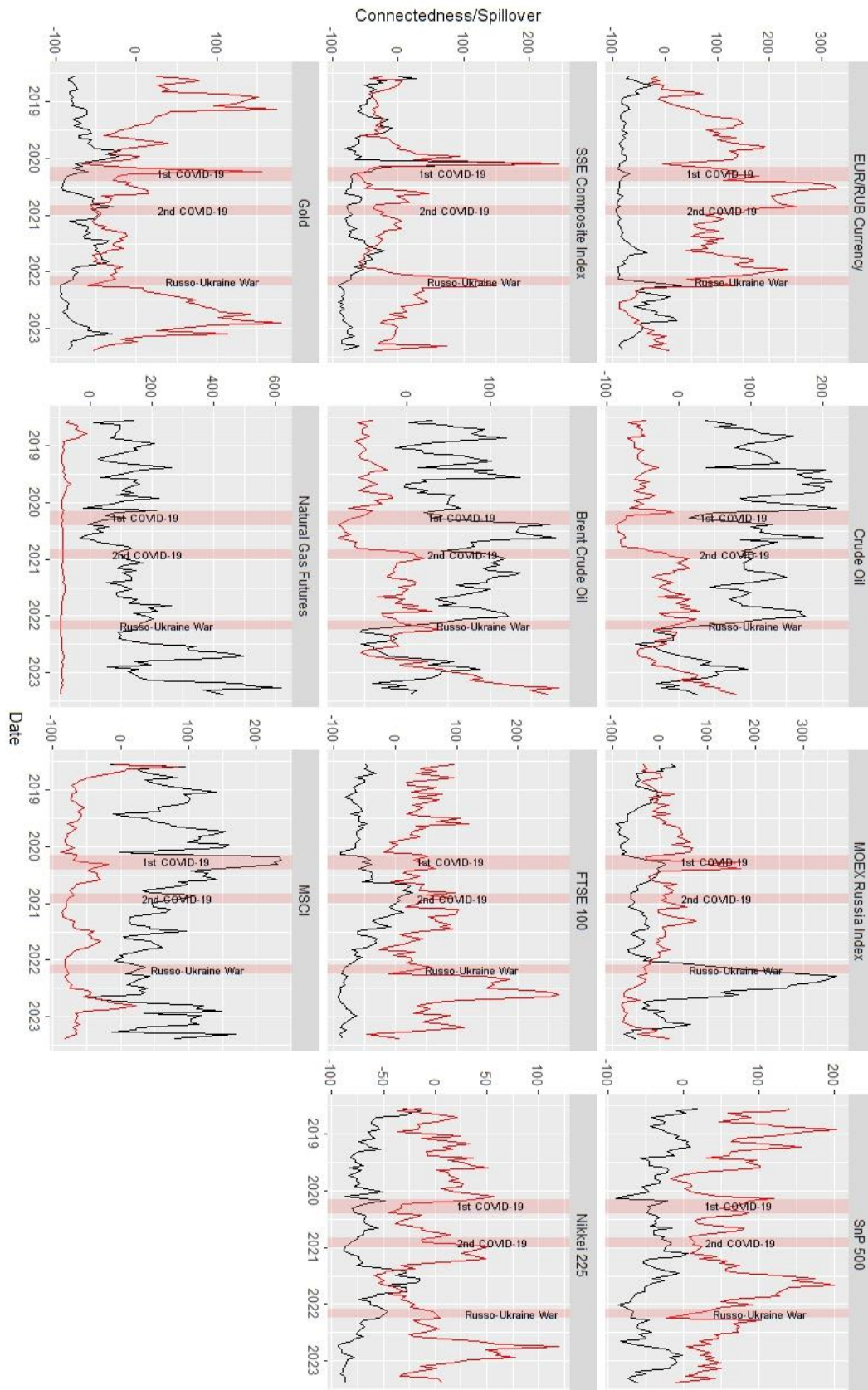


### 6.9.2 Λήψη μεταβλητότητας (Volatility Receiving)



Εικόνα 24: Λήψη μεταβλητότητας (Volatility Receiving)

### 6.9.3 Καθαρή μεταβλητότητα (Net Volatility)



Εικόνα 25: Καθαρή μεταβλητότητα (Net Volatility)

Τα παρεχόμενα διαγράμματα δείχνουν σαφώς ότι σε περιόδους σημαντικού οικονομικού στρες, όπως το ξέσπασμα μιας πανδημίας ή η έναρξη ενός πολέμου, υπάρχει αξιοσημείωτη αύξηση στην ένταση και τη διασπορά της αστάθειας, ιδίως στις αγορές ενέργειας και μετοχών. Ειδικότερα, οι αγορές ενέργειας παρουσιάζουν σημαντική εκροή μεταβλητότητας, γεγονός που υποδεικνύει τη σημασία τους σε περιόδους αναταραχής και τον πιθανό αντίκτυπό τους στο ευρύτερο χρηματοπιστωτικό σύστημα.

Επιπλέον, οι δείκτες των χρηματιστηρίων παρουσιάζουν επίσης αυξημένη αναταραχή κατά τη διάρκεια αυτών των γεγονότων, αν και σε μικρότερο βαθμό. Αυτές οι αναταραχές συχνά συνδέονται με γεγονότα που επηρεάζουν τις άμεσες συνδέσεις μεταξύ διαφόρων χρηματιστηρίων. Αυτό το μοτίβο γίνεται εμφανές όταν εξετάζουμε τη συμπεριφορά δεικτών όπως οι δείκτες της Σαγκάης και της Ρωσίας κατά το αρχικό κύμα της πανδημίας και την κλιμάκωση των εχθροπραξιών μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας. Κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων, υπάρχει αισθητή αύξηση στις εκροές μεταβλητότητας προς το ευρύτερο χρηματοπιστωτικό σύστημα.

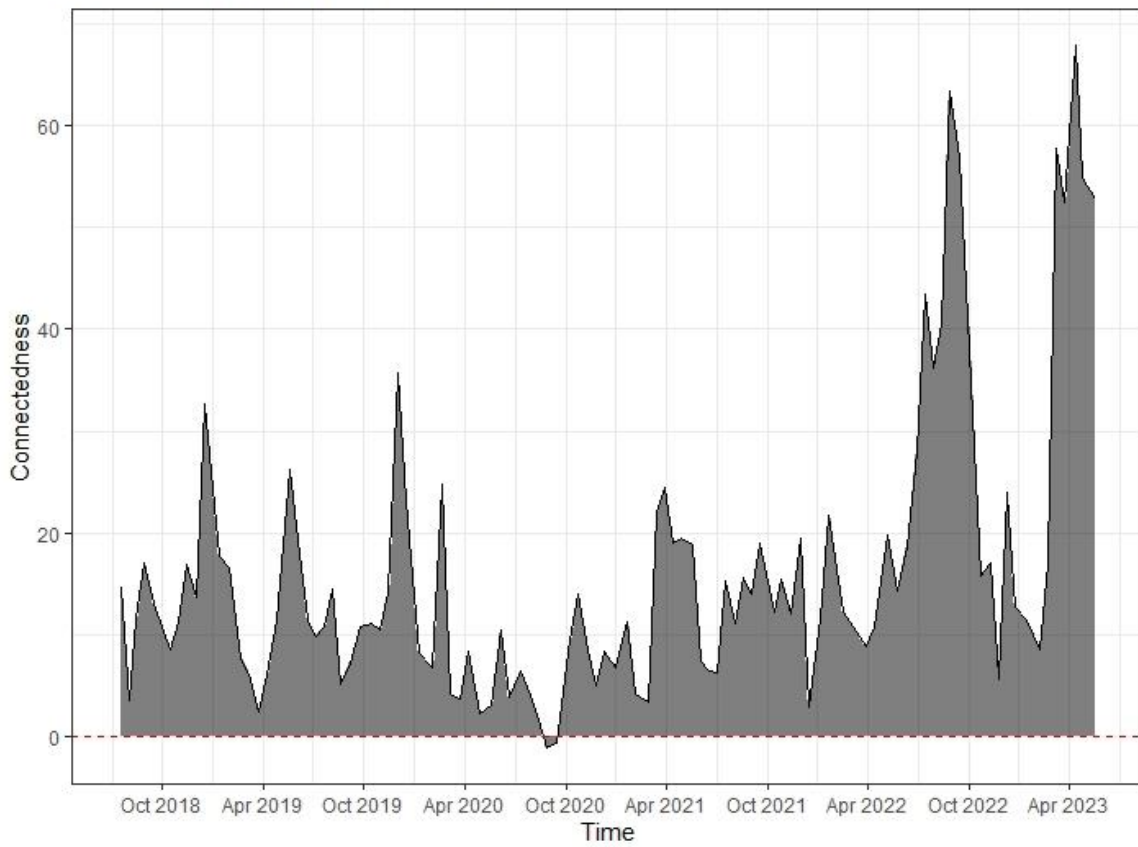
Εν ολίγοις, αυτές οι παρατηρήσεις υπογραμμίζουν τη σημασία της στενής παρακολούθησης των αγορών ενέργειας σε περιόδους αναταραχής, καθώς μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη μεταβλητότητα στο ευρύτερο χρηματοπιστωτικό τοπίο. Επιπλέον, η διασυνδεσιμότητα των χρηματιστηρίων γίνεται ιδιαίτερα σημαντική κατά τη διάρκεια γεγονότων που επηρεάζουν τις άμεσες συνδέσεις τους, οδηγώντας ενδεχομένως σε αυξημένη αναταραχή στο χρηματοπιστωτικό σύστημα.

## 6.10 Καθαρά κατά ζεύγη αποτελέσματα μετάδοσης και διασύνδεση χρησιμοποιώντας εκτιμήσεις κυλιόμενου παραθύρου

Χρησιμοποιώντας τον δείκτη μεταβλητότητας διασύνδεσης, είναι δυνατό να υπολογιστεί το καθαρό κατά ζεύγη αποτέλεσμα μετάδοσης μεταξύ δύο διαφορετικών δεικτών. Σε αυτό το πλαίσιο, θα παρουσιάσουμε αρχικά το καθαρό αποτέλεσμα μετάδοσης μεταξύ του δείκτη συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου και των υπόλοιπων δεικτών στις χρηματιστηριακές αγορές και στις αγορές ενέργειας.

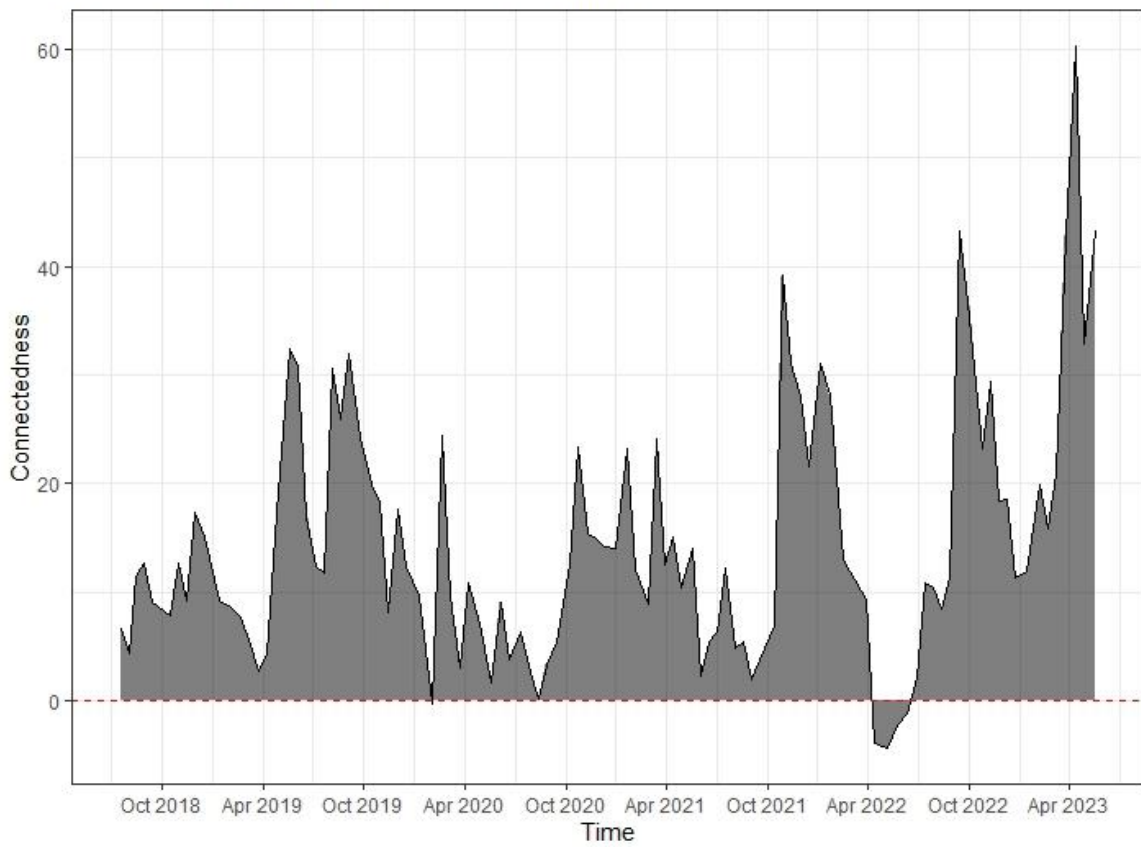
6.10.1 Κατά ζεύγη αποτέλεσμα μετάδοσης από τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στους δείκτες των χρηματιστηριακών αγορών

**Natural Gas Futures to SnP 500**



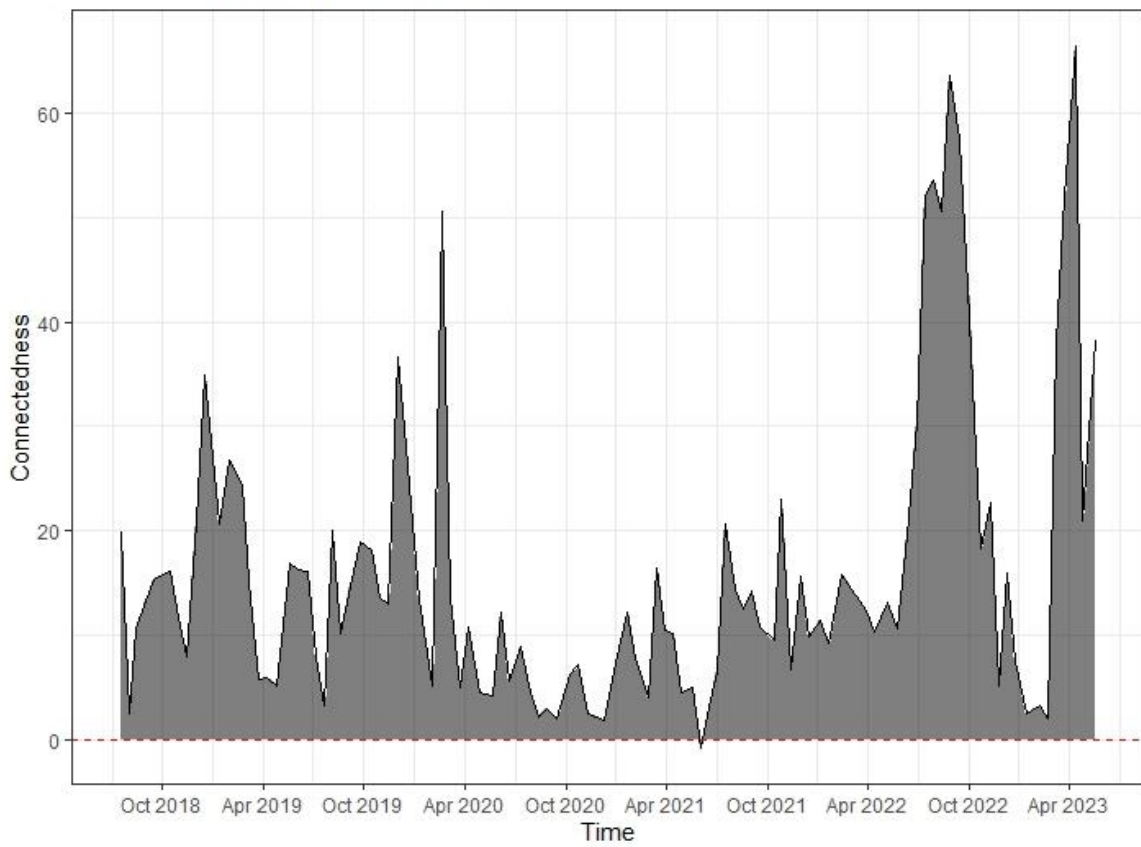
Εικόνα 26: Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον S&P 500

### Natural Gas Futures to MOEX Russia Index



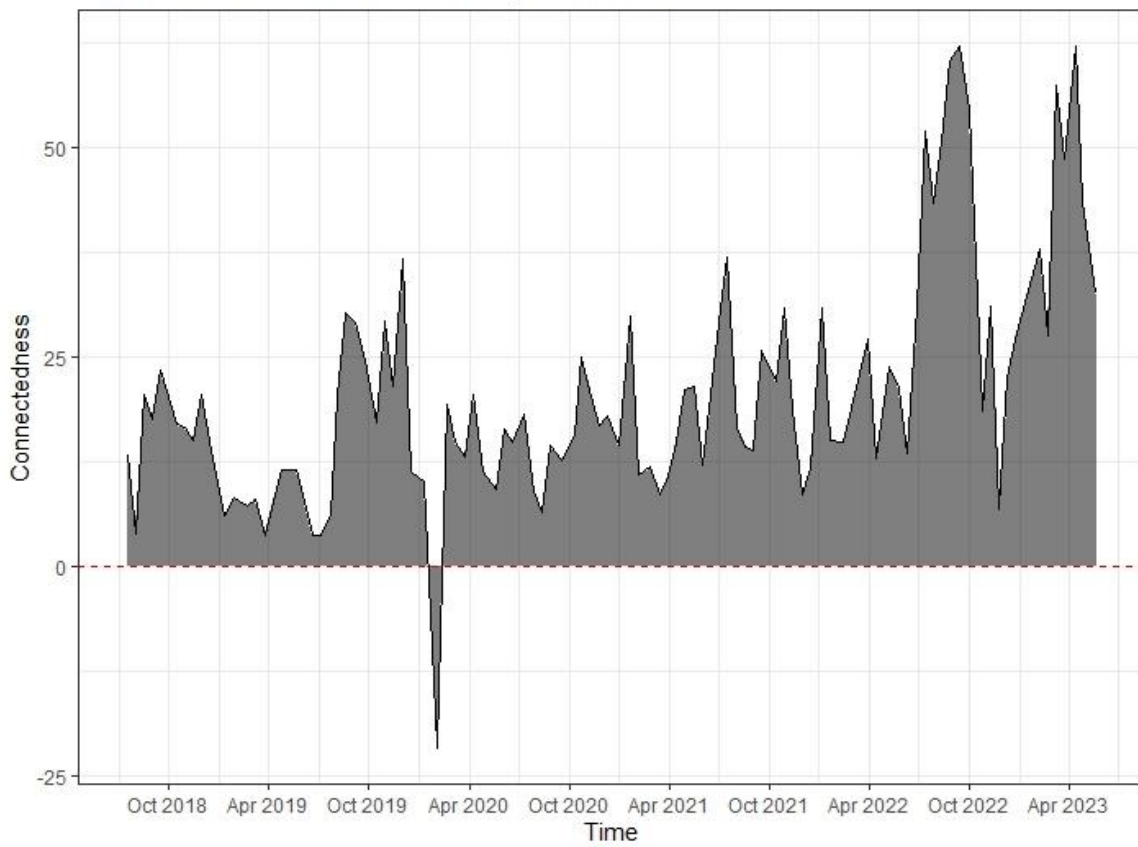
Εικόνα 27:: Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον χρηματιστηριακό δείκτη της Ρωσίας

### Natural Gas Futures to FTSE 100



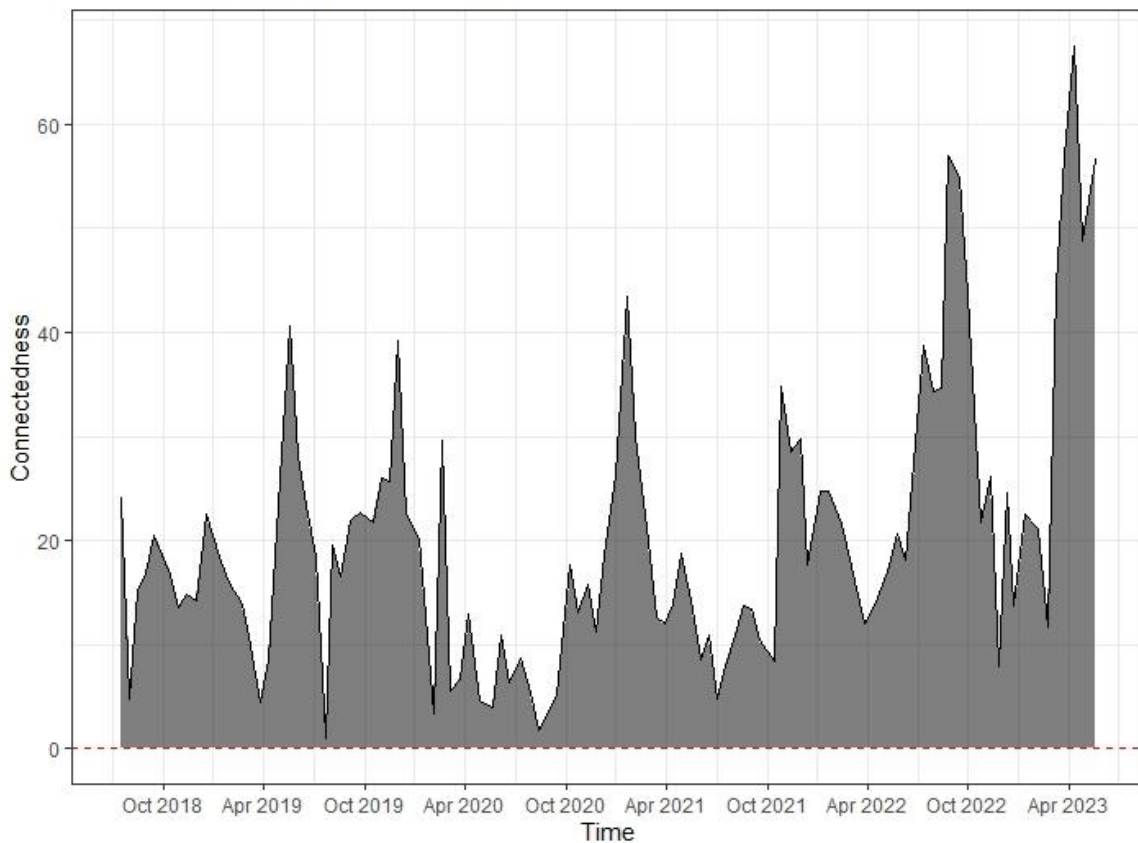
Εικόνα 28: Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον FTSE 100

### Natural Gas Futures to SSE Composite Index



Εικόνα 29: : Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον χρηματιστηριακό δείκτη της Σαγκάης

### Natural Gas Futures to Nikkei 225



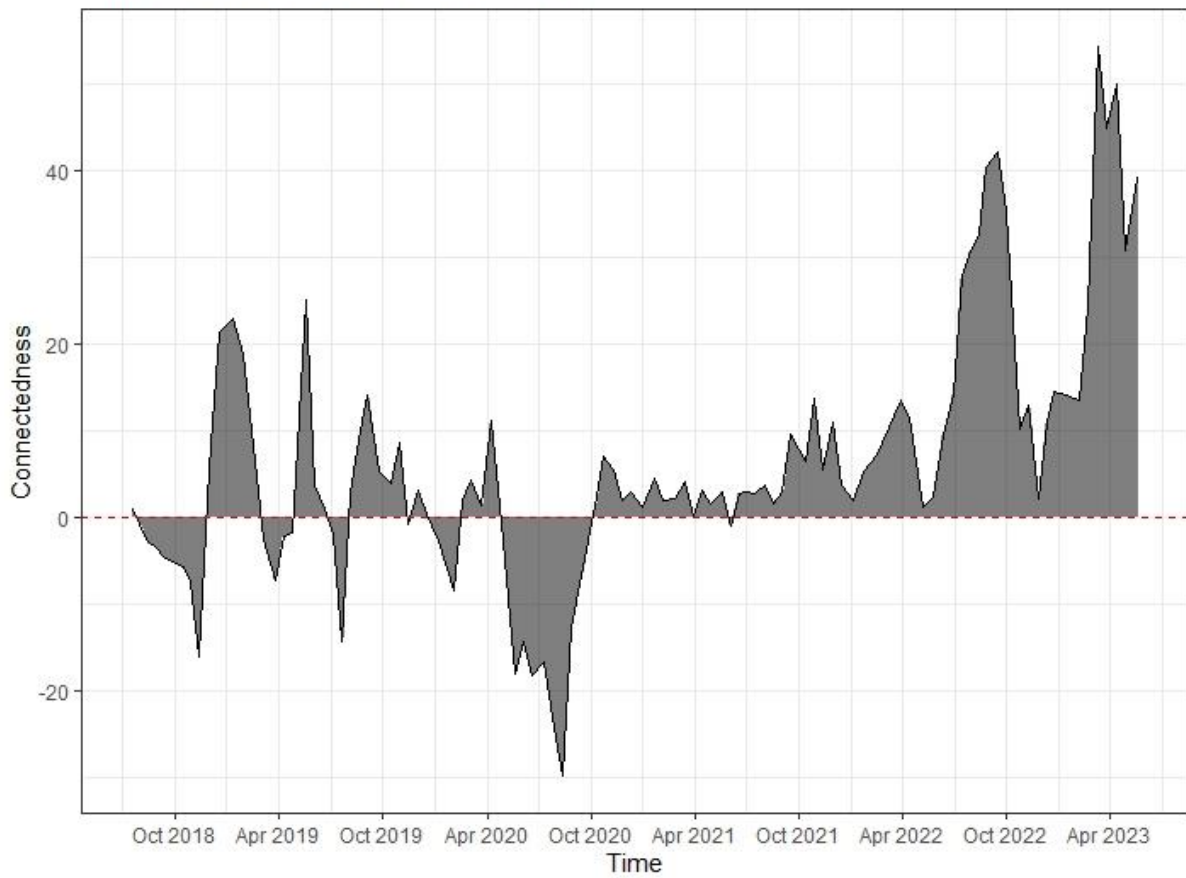
Εικόνα 30: Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον χρηματιστηριακό δείκτη στον Nikkei 225

Αναλύοντας τα διαγράμματα, μπορούμε να διαπιστώσουμε με σαφήνεια ότι το φυσικό αέριο παρουσιάζει χαρακτηριστικά καθαρού δότη διασύνδεσης κατά τη διάρκεια του μεγαλύτερου μέρους της χρονικής περιόδου. Εξάιρεση σε αυτή την παρατήρηση μπορεί να προκύψει στο πλαίσιο του αρχικού κύματος της πανδημίας Covid-19, όπως απεικονίζεται στο γράφημα που δείχνει τη σχέση μεταξύ του φυσικού αερίου και του δείκτη του χρηματιστηρίου της Σαγκάης. Κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, φαίνεται ότι το φυσικό αέριο παρουσίασε σημαντική μεταβλητότητα που προήλθε από τον τελευταίο δείκτη. Παρόμοιο γεγονός μπορεί να παρατηρηθεί όταν κάποιος εξετάσει το διάγραμμα των μελλοντικών συμβολαίων φυσικού αερίου και του δείκτη χρηματιστηρίου της Ρωσίας. Και στην περίπτωση αυτή φαίνεται ότι το φυσικό αέριο γίνεται δέκτης μεταβλητότητας ύστερα από ένα σημαντικό κοινωνικοοικονομικό γεγονός συγκεκριμένα μετά από την κλιμάκωση του Ρωσοουκρανικού πολέμου 2022. Το συμπέρασμα ότι τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου, ως ενεργειακό εμπόρευμα, έχουν σημαντικό αντίκτυπο στους δείκτες των χρηματιστηρίων, δίνει παρόμοια αποτελέσματα με προηγούμενες μελέτες των Mensi et al. (2018), Awartani and Maghyereh (2013) και Zhang and Hamori (2021). Pairwise Spillovers between Energy markets.

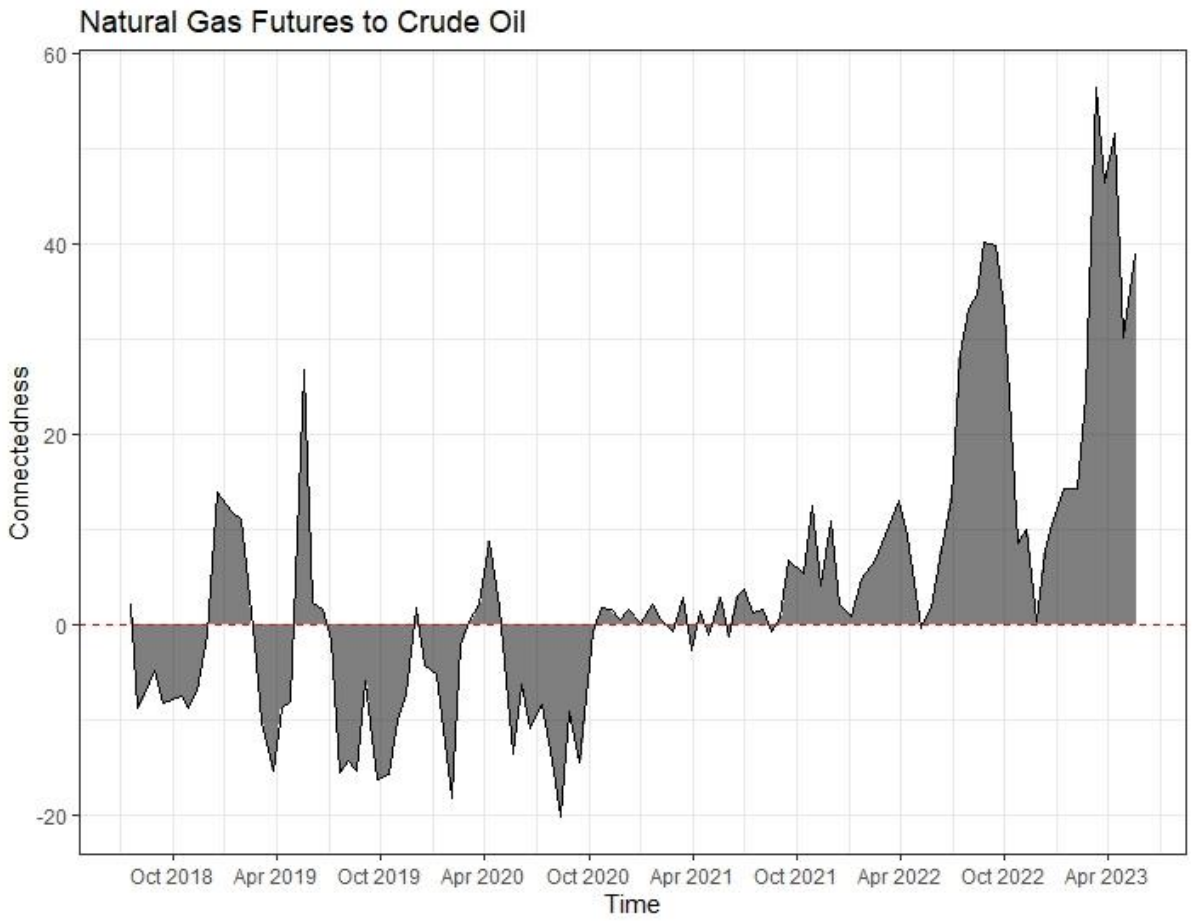


### 6.10.2 Κατά ζεύγη αποτελέσματα μετάδοσης μεταξύ των αγορών ενέργειας

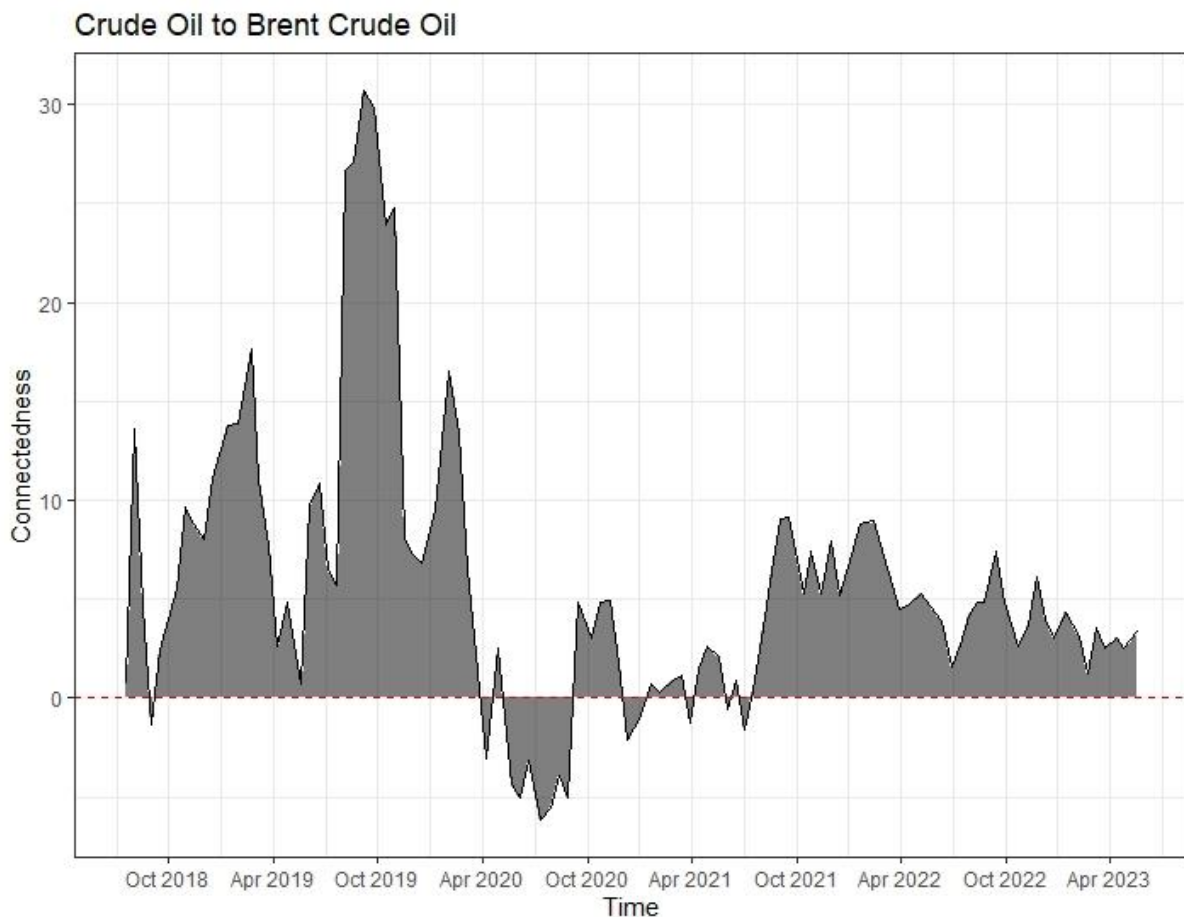
#### Natural Gas Futures to Brent Crude Oil



Εικόνα 31: Διμερείς διασυνδέσεις φυσικού αερίου σε αργό πετρέλαιο Brent



Εικόνα 32: Διμερείς διασυνδέσεις φυσικού αερίου σε αργό πετρέλαιο WTI

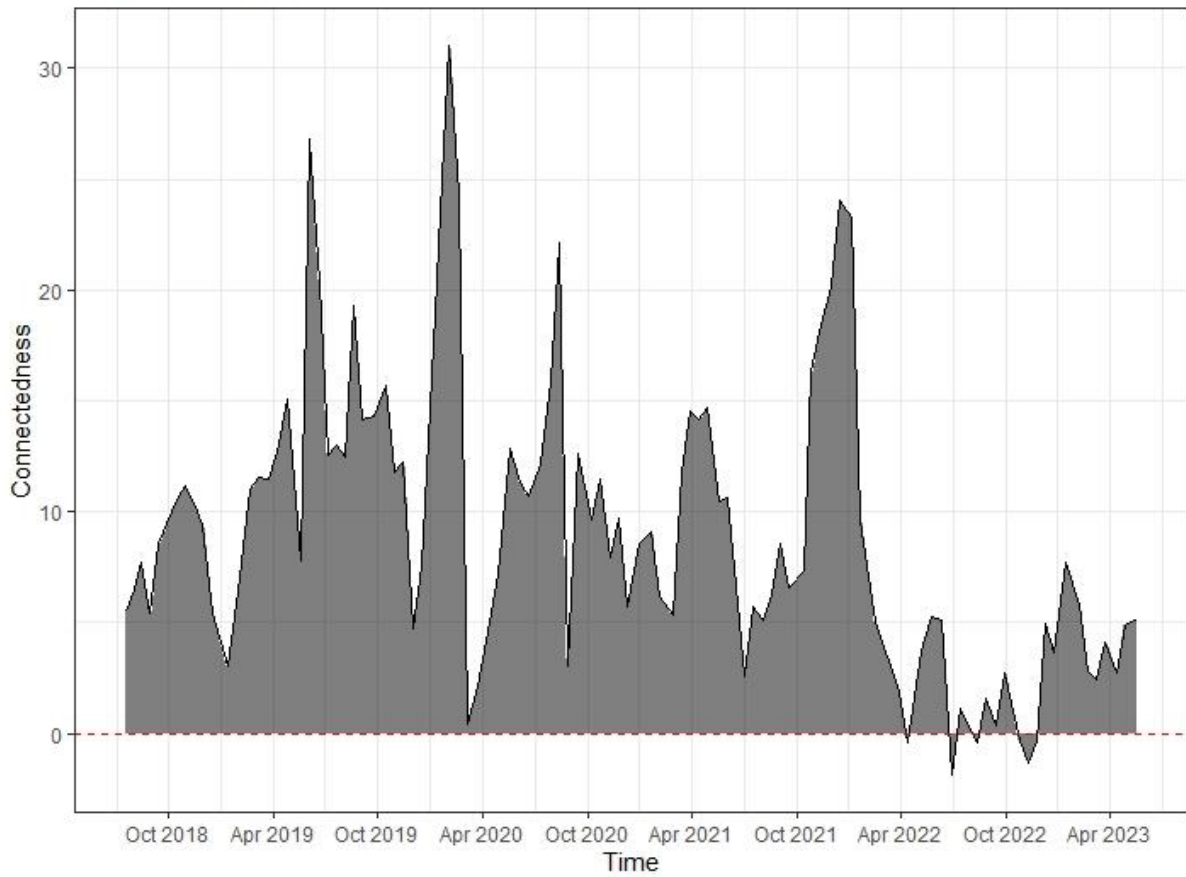


Εικόνα 33: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου WTI σε αργό πετρέλαιο Brent

Με την εξέταση των στοιχείων, έγινε εμφανές ότι το Φυσικό Αέριο, πριν από το 2021, βίωνε κυρίως αυξημένες επιδράσεις αστάθειας που προέρχονταν από τις αγορές Πετρελαίου, ειδικά κατά τη διάρκεια περιόδων σημαντικής κοινωνικοοικονομικής αναταραχής, όπως τα πρώτα και δεύτερα κύματα της πανδημίας Covid-19. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, ειδικά μετά την επιδείνωση των εντάσεων μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας και την επακόλουθη σύγκρουση, το Φυσικό Αέριο φαίνεται να έχει μεταβεί σε έναν κύριο παράγοντα της αστάθειας που επηρεάζει την αγορά Πετρελαίου.

6.10.3 Κατά ζεύγη αποτελέσματα μετάδοσης μεταξύ αργού πετρελαίου και χρηματιστηρίων

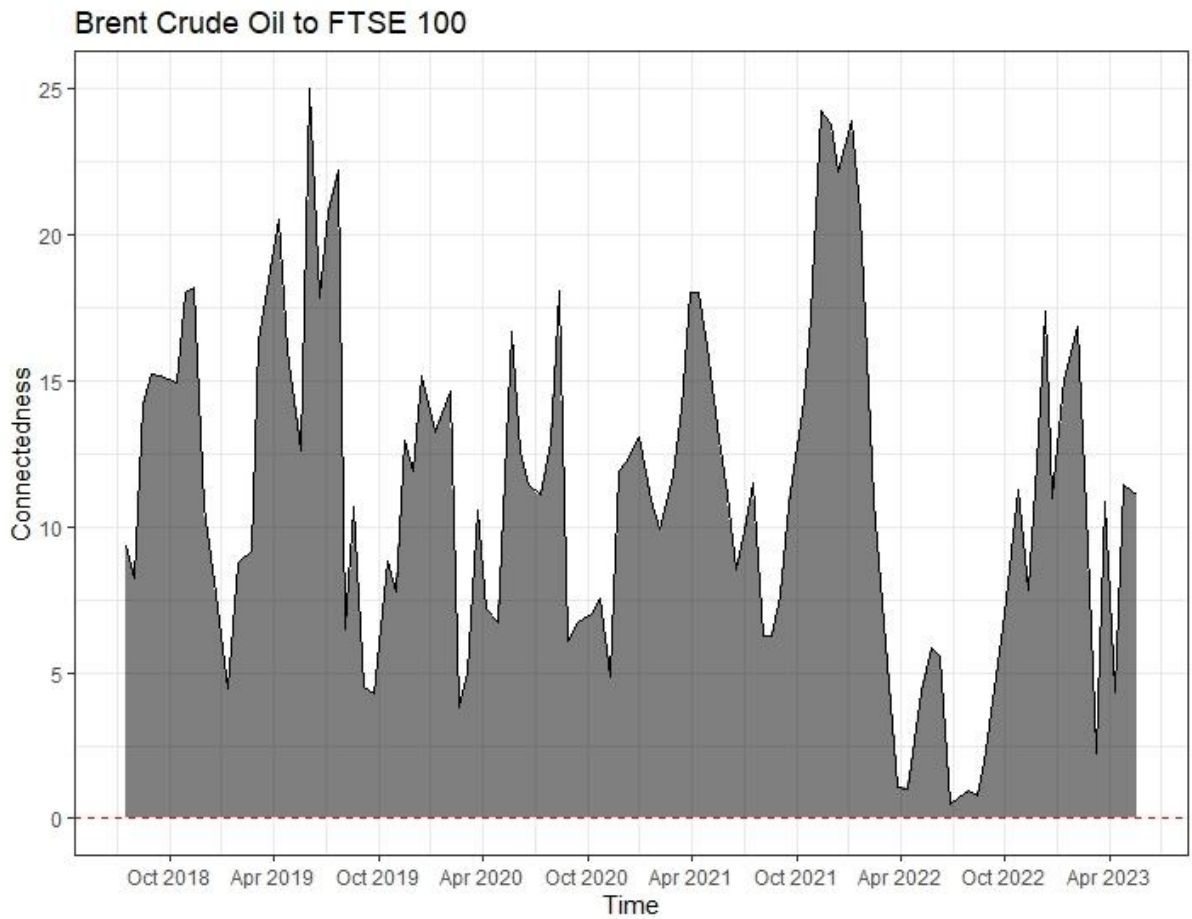
Crude Oil to SnP 500



Εικόνα 34: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου WTI στον S&P 500

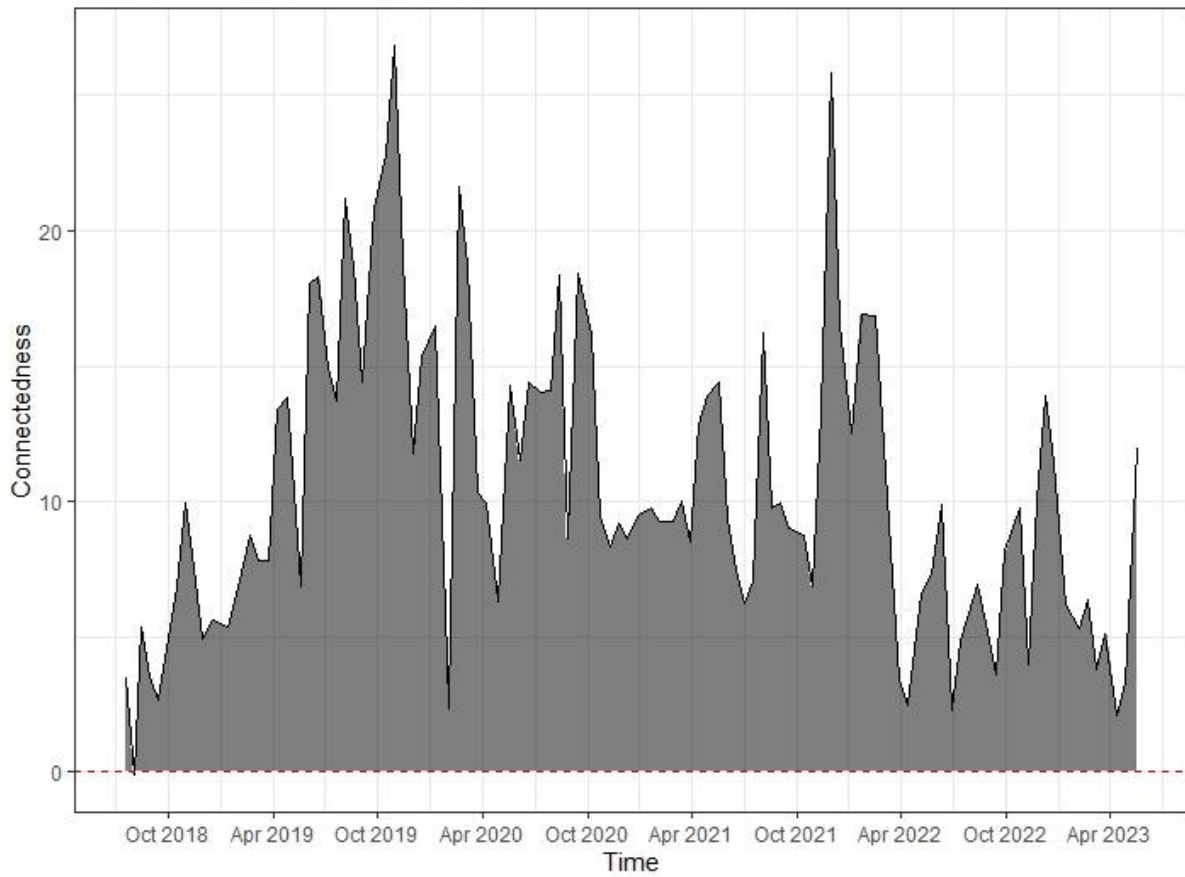


Εικόνα 36: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου WTI στον MOEX δείκτη



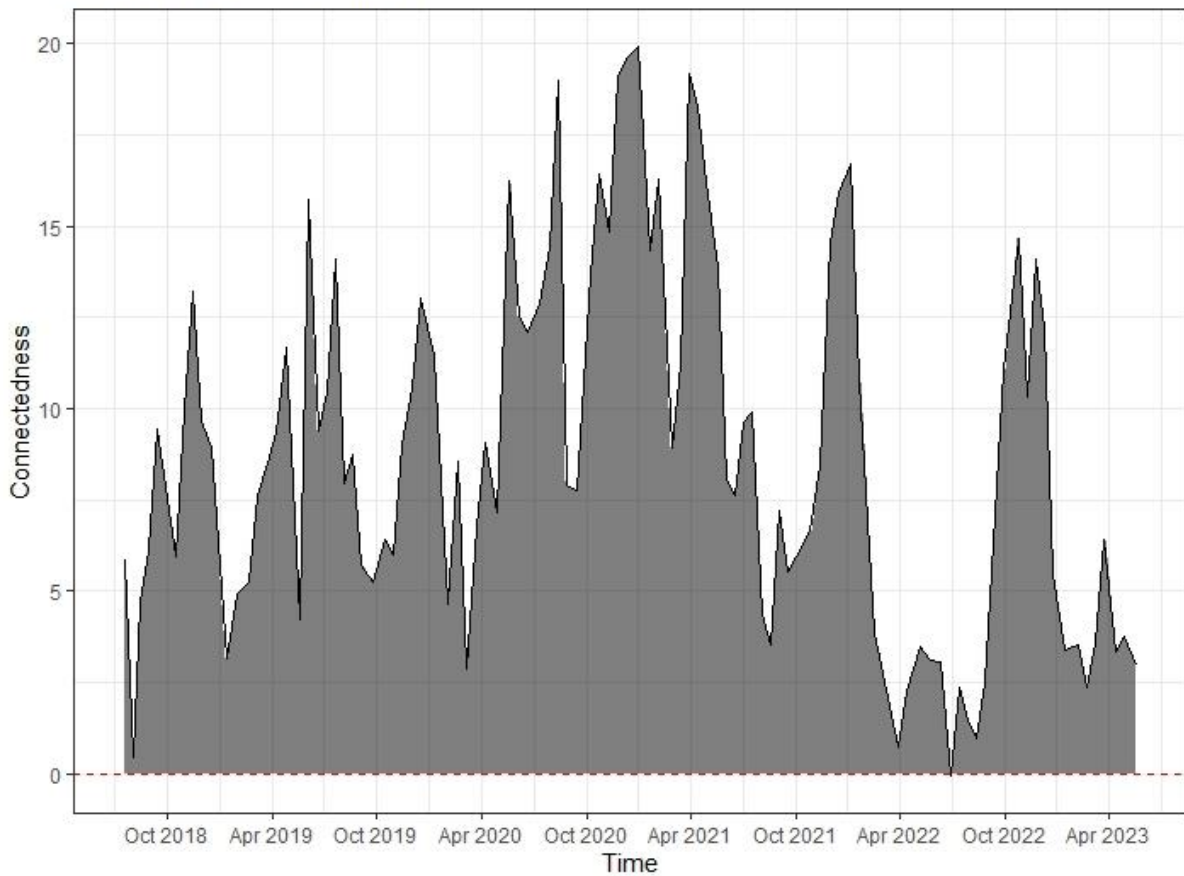
Εικόνα 35: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου Brent στον FTSE 100

### Crude Oil to SSE Composite Index



Εικόνα 37: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου WTI στον SSE Composite δείκτη

### Brent Crude Oil to Nikkei 225

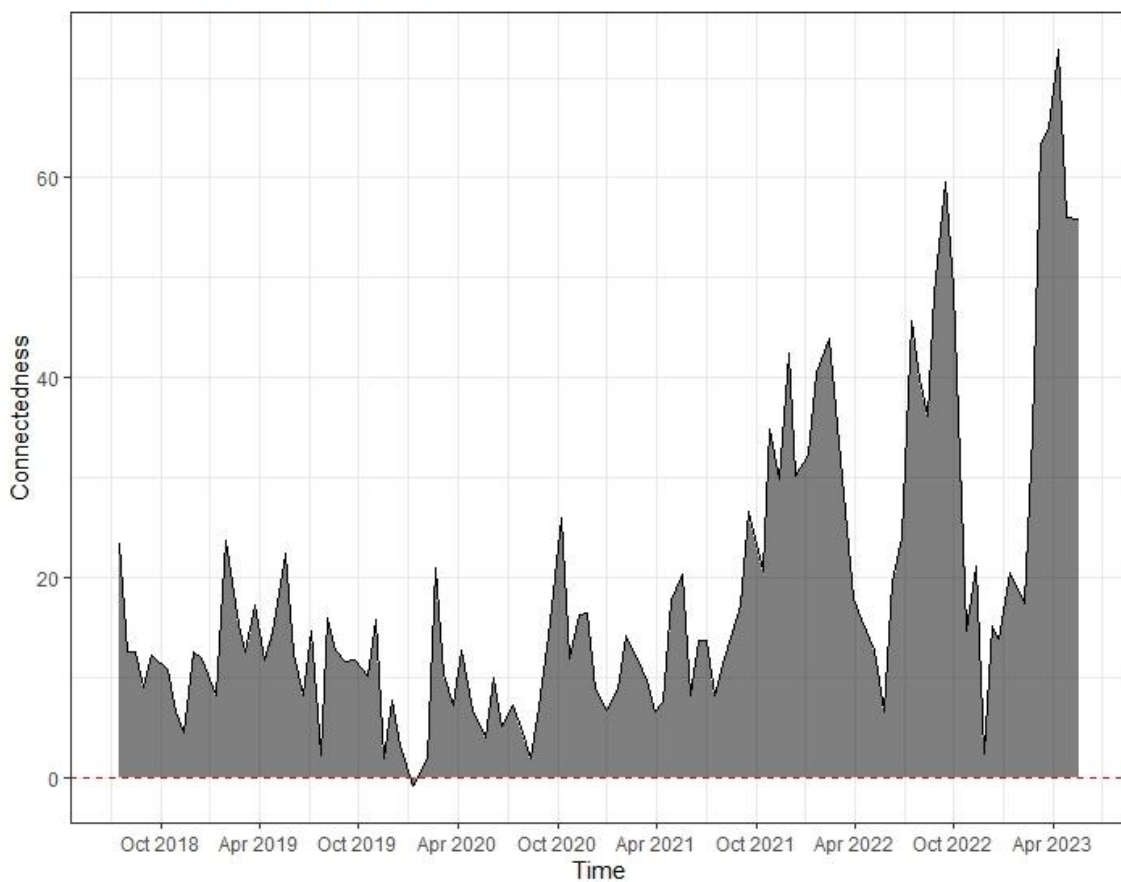


Εικόνα 38: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου Brent στον Nikkei 225

Με την ανάλυση των στοιχείων, μπορούμε σαφώς να αναγνωρίσουμε ότι οι δείκτες του Πετρελαίου εμφανίζουν χαρακτηριστικά καθαρού δότη μεταβλητότητας μιας κατά τη συντριπτική πλειονότητα του χρονικού ορίζοντα της εργασίας. Η μοναδική εξαίρεση από αυτήν την παρατήρηση μπορεί να προκύψει στα πλαίσια των αρχικών σταδίων του πολέμου μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας, όπως απεικονίζεται στο γράφημα που δείχνει τη σχέση μεταξύ του Πετρελαίου και του Δείκτη του Ρωσικού Χρηματιστηρίου. Κατά τη διάρκεια αυτής της συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, φαίνεται ότι το Πετρέλαιο βίωσε σημαντική αστάθεια προερχόμενη από τον τελευταίο δείκτη.

#### 6.10.4 Κατά ζεύγη αποτελέσματα μετάδοσης μεταξύ του χρυσού των χρηματιστηρίων και δεικτών ενέργειας

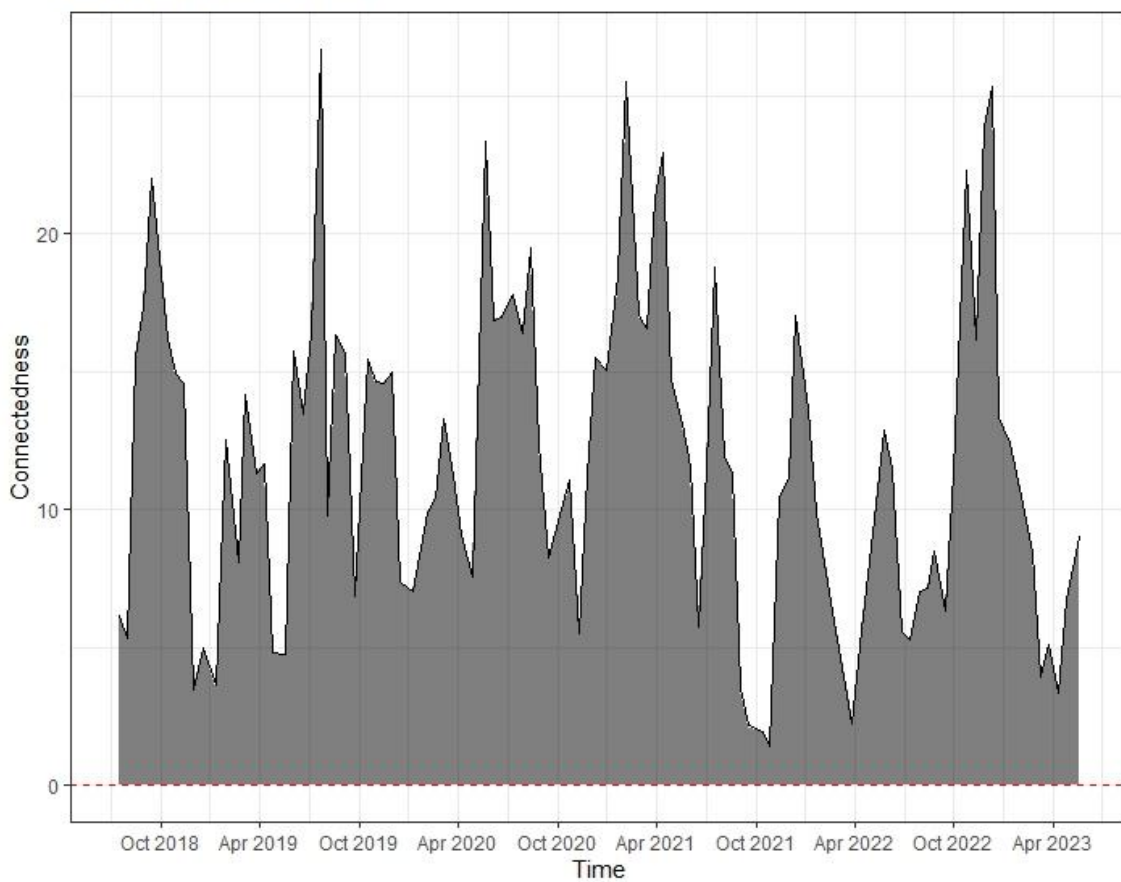
##### Natural Gas Futures to Gold



Εικόνα 39: Διμερείς διασυνδέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης φυσικού αερίου στον χρυσό

Οι Μελλοντικές Συμβάσεις Φυσικού Αερίου εμφανίζουν χαρακτηριστικά δότη μεταβλητότητας/συνδεσιμότητας στις μελλοντικές συμβάσεις του χρυσού με την πάροδο του χρόνου. Αυτό το φαινόμενο έχει ενταθεί τα τελευταία χρόνια, ειδικά μετά την έναρξη του πολέμου μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας.

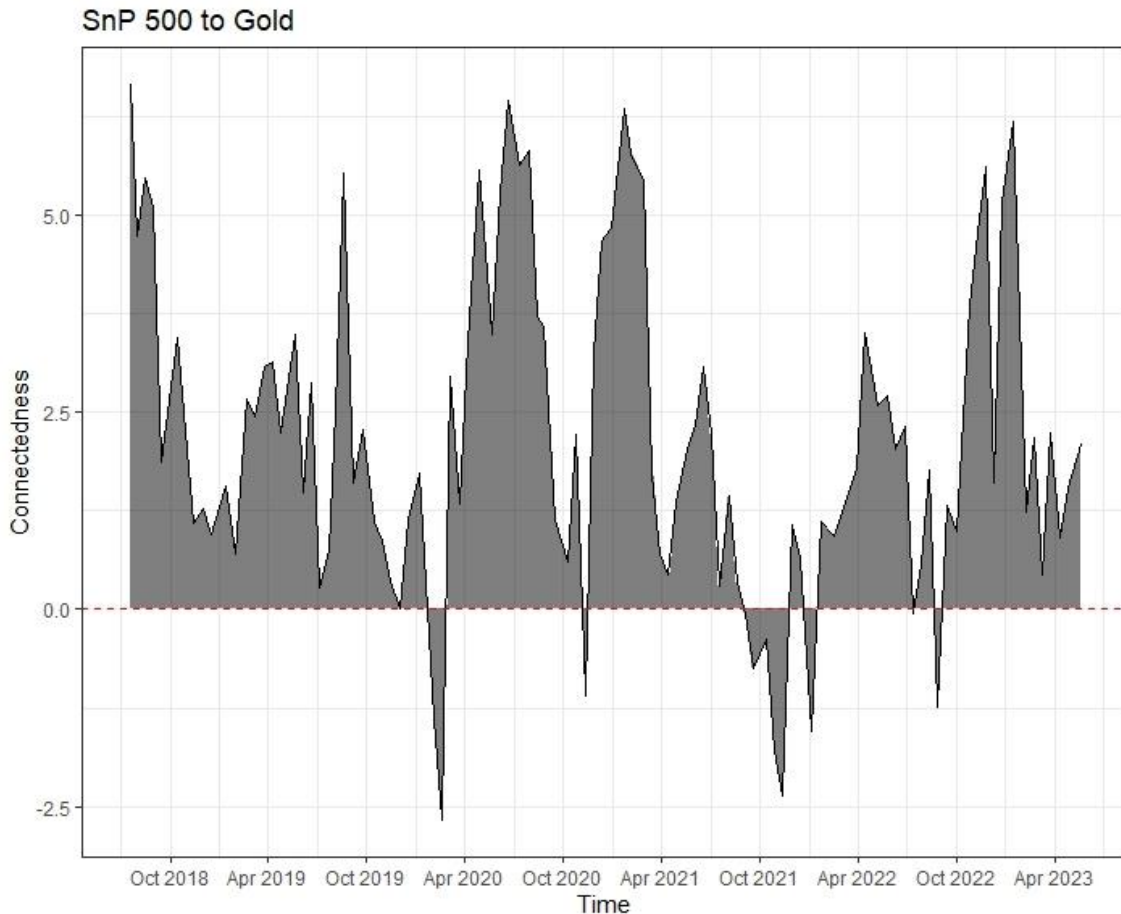
Brent Crude Oil to Gold



Εικόνα 40: Διμερείς διασυνδέσεις αργού πετρελαίου Brent στον χρυσό

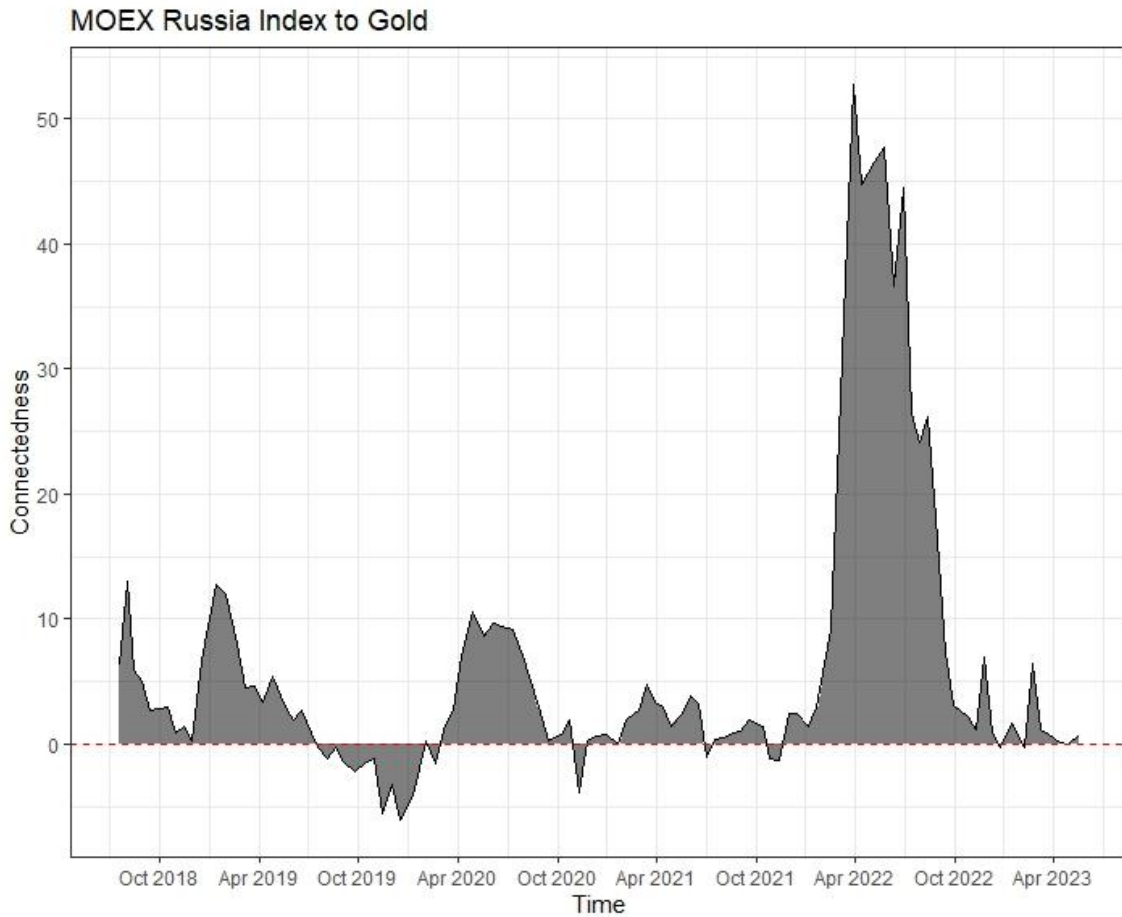
Σε αντίστοιχο τόνο, οι Μελλοντικές Συμβάσεις Πετρελαίου Brent Crude λειτουργούν ως πηγαία μορφή μεταβλητότητας κατά τη συντριπτική πλειονότητα της χρονικής περιόδου, μια παρόμοια απόδοση με τη μελέτη του Canh et al. (2019).





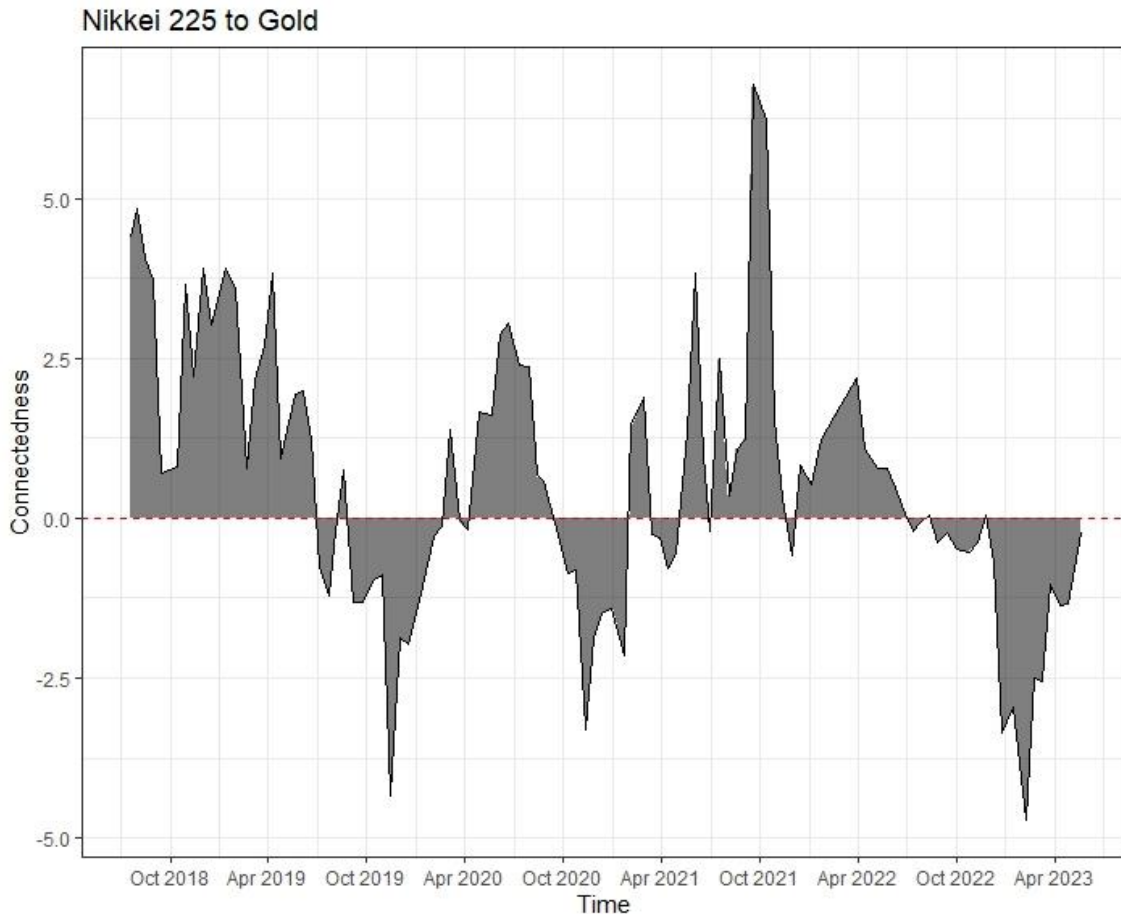
Εικόνα 41: : Διμερείς διασυνδέσεις του S&P 500 στον χρυσό

Ο δείκτης S&P 500 παρουσιάζει χαρακτηριστικά που συνάδουν με το να είναι ένας καθαρός παρέχων διασύνδεσης για το μεγαλύτερο μέρος της παρατηρούμενης χρονικής περιόδου. Μία εξαίρεση σε αυτήν την τάση εμφανίζεται σε περιόδους σοβαρών κοινωνικοοικονομικών αναταραχών, όπως ο τρέχων πόλεμος μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας και η παγκόσμια πανδημία Covid-19. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων, υπάρχουν διακριτά στοιχεία ότι ο S&P 500 βιώνει αξιοσημείωτη μεταβλητότητα που προέρχεται από τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης χρυσού. Αυτό το συγκεκριμένο αποτέλεσμα ευθυγραμμίζεται με τα ευρήματα που παρουσιάζονται στην εργασία των Mensi et al. (2022a, 2022b), όπου οι συγγραφείς διερευνούν την ασύμμετρη διασύνδεση μεταξύ πετρελαίου, χρυσού και 22 ευρωπαϊκών κλάδων μετοχών. Οι Mensi et al. παρατηρούν ότι το πετρέλαιο και ο χρυσός λειτουργούν ως καθαροί αποδέκτες αλλαγής, ενώ η πλειονότητα των κλάδων μετοχών διαδραματίζουν ρόλο ως μεταδότες επιπτώσεων σε άλλα περιουσιακά στοιχεία.



Εικόνα 42: Διμερείς διασυνδέσεις του MOEX δείκτη της Ρωσίας στον χρυσό

Ο δείκτης χρηματιστηρίου της Ρωσίας παρουσιάζει ισχυρό αποτέλεσμα μεταβλητότητας στο χρυσό μόνο κατά τις πρώτες φάσεις της σύγκρουσης μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας το 2022. Η οικονομική διαίσθηση που μπορεί να δικαιολογήσει αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε να είναι το γεγονός ότι στις χρηματοπιστωτικές αγορές, ο χρυσός θεωρείται συχνά ως περιουσιακό στοιχείο "ασφαλούς καταφυγίου", πράγμα που σημαίνει ότι οι επενδυτές τείνουν να καταφεύγουν στο χρυσό σε περιόδους οικονομικής αβεβαιότητας ή χρηματιστηριακής πίεσης.



Εικόνα 43: Διμερείς διασυνδέσεις του Nikkei 225 δείκτη της Ρωσίας στον χρυσό

Ο δείκτης Nikkei 225 παρουσιάζει χαρακτηριστικά που συνάδουν με το να είναι ένας καθαρός παρέχων διασύνδεσης για το μεγαλύτερο μέρος της παρατηρούμενης χρονικής περιόδου. Μία εξαίρεση σε αυτήν την τάση εμφανίζεται σε περιόδους σοβαρών κοινωνικοοικονομικών αναταραχών, όπως ο τρέχων πόλεμος μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας και η παγκόσμια πανδημία Covid-19. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων, υπάρχουν διακριτά στοιχεία ότι ο Nikkei 225 βιώνει αξιοσημείωτη και συνεπή μεταβλητότητα που προέρχεται από τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης χρυσού, σημαντικά μεγαλύτερη από τον δείκτη S&P 500, ο οποίος παρουσιάζει ένα παρόμοιο χαρακτηριστικό.

## 7. Συμπέρασμα

Στη μελέτη αυτή, εφαρμόζουμε ένα μοντέλο Generalized Variance Decomposition που δημιουργήθηκε από τους Diebold και Yilmaz, μαζί με το πλαίσιο των Pesaran και Shin, για να υπολογίσουμε συσχετισμένες συναρτήσεις αντιδράσεων. Αυτές οι αντιδράσεις χρησιμεύουν ως βάση για την εκτίμηση της ανάλυσης των διακυμάνσεων των σφάλματος πρόβλεψης. Χρησιμοποιώντας αυτές τις εκτιμήσεις και εμπνευσμένοι από τους Diebold και Yilmaz (2011), κατασκευάζουμε μια οπτικοποίηση δικτύου για να απεικονίσουμε τις κατευθυνόμενες αλληλεπιδράσεις διακύμανσης μεταξύ των αγορών μετοχών και ενέργειας.

Επιπλέον, η μελέτη μας χρησιμοποιεί δύο διαφορετικά μέτρα για την αξιολόγηση της διασύνδεσης, με αποτέλεσμα δύο διαφορετικούς δείκτες διασύνδεσης.

Η μελέτη συμβάλλει στο υπάρχον σώμα της βιβλιογραφίας σχετικά με τη μετάδοση κινδύνου κατά τις περιόδους κρίσης, με ιδιαίτερη έμφαση στις επιπτώσεις τόσο της πανδημίας Covid-19 όσο και της συνεχιζόμενης σύγκρουσης μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας. Συνοψίζοντας, τα ευρήματά μας αποκαλύπτουν αξιοσημείωτες παραλληλίες στον τρόπο με τον οποίο αυτές οι δύο κρίσεις επηρέασαν τις αγορές ενέργειας και μετοχών. Πιο συγκεκριμένα, η εμπειρική μας έρευνα υπογραμμίζει τη δυναμική και αμφίδρομη φύση των μεταδόσεων μεταβλητότητας μεταξύ των αγορών ενέργειας και μετοχών.

Κατά την κρίση της πανδημίας Covid-19 και τις αρχικές φάσεις του ρωσο-ουκρανικού πολέμου το 2022, παρατηρήθηκαν σημαντικές αυξήσεις στις μεταδόσεις μεταβλητότητας μεταξύ αυτών των αγορών. Τα αποτελέσματά μας υποδεικνύουν ότι, κατά την εξεταζόμενη περίοδο, οι αγορές χρηματιστηριακών δεικτών γενικά λειτούργησαν ως καθαροί αποδέκτες του αποτελέσματος μετάδοσης μεταβλητότητας. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τα πρώιμα στάδια κοινωνικοοικονομικών αναταραχών, ιδίως στις τοπικές αγορές χρηματιστηριακών δεικτών που συνδέονται άμεσα με την αναταραχή, παρατηρήθηκαν χαρακτηριστικά καθαρών συνεισφορών μεταβλητότητας στις αγορές ενέργειας.

Τέλος, η εξέταση της σχέσης μεταξύ του χρυσού και άλλων περιουσιακών στοιχείων αποκαλύπτει αξιοσημείωτες πληροφορίες. Κατά τις σοβαρές κοινωνικοοικονομικές αναταραχές, όπως η συνεχιζόμενη σύγκρουση μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας και η παγκόσμια πανδημία Covid-19, ο χρυσός φαίνεται να λειτουργεί ως καθαρός δότης διασύνδεσης σε δείκτες χρηματιστηρίων όπως ο S&P 500 και ο Nikkei 225.

## 8. Βιβλιογραφία

- Abuzayed B., Al-Fayoumi N. Risk spillover from crude oil prices to GCC stock market returns: New evidence during the COVID-19 outbreak *N. Am. J. Econ. Finance* (2021), Article 101476 <https://doi.org/10.1016/j.najef.2021.101476>
- Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723. DOI: 10.1109/TAC.1974.1100705
- Arouri, M.E.H., Jouini, J., Nguyen, D.K., 2012. On the impacts of oil price fluctuations on European equity markets: Volatility spillover and hedging effectiveness. *Energy Econ.* 34 (2), 611–617. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.08.009>
- Arouri, M.E.H., Rault, C., 2012. Oil prices and stock markets in GCC countries: empirical evidence from panel analysis. *Int. J. Finance Econ.* 17 (3), 242–253 <https://doi.org/10.1002/ijfe.443>
- Awartani B., Maghyereh A.I. Dynamic spillovers between oil and stock markets in the Gulf Cooperation Council Countries *Energy Econ.*, 36 (2013), pp. 28-42 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.11.024>
- B. Lin, T. Su The linkages between oil market uncertainty and Islamic stock markets: evidence from quantile-on-quantile approach *Energy Econ.*, 88 (2020), Article 104759 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104759>
- B.H. Chang, A. Sharif, A. Aman, N.M. Suki, A. Salman, S.A.R. Khan The asymmetric effects of oil price on sectoral Islamic stocks: new evidence from quantile-on-quantile regression approach *Resour. Pol.*, 65 (2020), Article 101571 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101571>
- Banerjee, A. (1993). *Cointegration, Error Correction, and the Econometric Analysis of Non-Stationary Data*. Oxford University Press.
- Banerjee, A. (1993). *Cointegration, error correction, and the econometric analysis of non-stationary data*. Oxford University Press.
- Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2016). *Introduction to Time Series and Forecasting* (3rd ed.). Springer.
- Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2016). *Time series analysis: Forecasting and control* (5th ed.). Pearson.
- Caccioli F, Farmer JD, Foti N, Rockmore D. 2015. Overlapping portfolios, contagion, and financial stability. *Journal of Economic Dynamics and Control* 51: 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2014.09.041>
- Cai X.J., Tian S., Yuan N., Hamori S. Interdependence between oil and East Asian stock markets: Evidence from wavelet coherence analysis *J. Int. Financ. Mark. Inst. Money*, 48 (2017), pp. 206-223 <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2017.02.001>
- Chatfield, C. (2019). *The Analysis of Time Series: An Introduction* (7th ed.). Chapman and Hall/CRC.

- Chatfield, C. (2019). *The analysis of time series: An introduction with R* (7th ed.). Chapman and Hall/CRC.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427-431.
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2009). Measuring Financial Asset Return and Volatility Spillovers, with Application to Global Equity Markets. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 33(8), 1501–1525. DOI: 10.1016/j.jedc.2008.10.006
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2010). Better to Give than to Receive: Predictive Directional Measurement of Volatility Spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28(1), 57–66. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2009.03.005
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2011). Equity Market Spillovers in the Americas. *North American Journal of Economics and Finance*, 22(1), 23–38. DOI: 10.1016/j.najef.2010.09.004
- E. Bouri, O. Cepni, D. Gabauer, R. Gupta Return connectedness across asset classes around the COVID-19 outbreak *Int. Rev. Financ. Anal.*, 73 (2021), Article 101646  
<https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101646>
- Enders, W. (2014). *Applied econometric time series* (4th ed.). Wiley.
- Enders, W. (2014). *Applied Econometric Time Series*. Wiley.
- Engel, R., & Yoo, B. S. (1987). Forecasting and Testing in Cointegrated Systems. *Journal of Econometrics*, 111-131.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276.
- Engle, R. F., & Yoo, B. S. (1987). Forecasting and testing in co-integrated systems. *Journal of Econometrics*, 35(1), 143-159.
- Granger, C. W. J. (1981). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 424-438.
- Granger, C. W. J., & Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of Econometrics*, 2(2), 111-120.
- Granger, C. W. J., & Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of Econometrics*, 2(2), 111-120.
- H. Niu Correlations between crude oil and stocks prices of renewable energy and technology companies: a multiscale time-dependent analysis *Energy*, 221 (2021), Article 119800  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119800>
- Hamilton, J. D. (1994). *Time Series Analysis*. Princeton University Press.
- Hamilton, J. D. (1994). *Time Series Analysis*. Princeton University Press.

Hannan, E. J., & Quinn, B. G. (1979). The Determination of the Order of an Autoregression. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 41(2), 190–195. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1979.tb01048.x

Huang, R.D., Masulis, R.W. and Stoll, H.R. (1996), Energy shocks and financial markets. *J. Fut. Mark.*, 16: 1-27. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9934\(199602\)16:1<1::AID-FUT1>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9934(199602)16:1<1::AID-FUT1>3.0.CO;2-Q)

International Energy Agency (IEA). (2018). Oil Market Report - August 2018. <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-august-2018>

International Energy Agency (IEA). (2019). Oil Market Report - August 2019. <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-august-2019>

International Energy Agency (IEA). (2020). Oil Market Report - August 2020. <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-august-2020>

International Energy Agency (IEA). (2021). Oil Market Report - August 2021. <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-august-2021>

J. Junttila, J. Pesonen, J. Raatikainen Commodity market based hedging against stock market risk in times of financial crisis: the case of crude oil and gold *J. Int. Financ. Mark. Inst. Money*, 56 (2018), pp. 255-280 <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2018.01.002>

Jammazi R., Reboredo J.C. Dependence and risk management in oil and stock markets. A wavelet-copula analysis *Energy*, 107 (2016), pp. 866-888 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.093>

Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 231-254.

Johansen, S. (1995). *Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models*. Oxford University Press

Johansen, S., & Juselius, K. (1990). Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration—with Applications to the Demand for Money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169-210

Jones and Kaul, 1996. Oil and the stock markets. *J. Finance*, 51 (2) (1996), pp. 463-491 <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1996.tb02691.x>

Koop, G., Pesaran, M. H., & Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. *Journal of Econometrics*, 74(1), 119-147.

Koop, G., Pesaran, M. H., & Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. *Journal of Econometrics*, 74(1), 119-147.

Koop, G., Pesaran, M. H., & Potter, S. M. (1998). Dynamic Aspects of Causality. *Econometric Reviews*, 17(3), 323-361.

Lin L., Kuang Y., Jiang Y., Su X. Assessing risk contagion among the Brent crude oil market, London gold market and stock markets: Evidence based on a new wavelet decomposition

approach *N. Am. J. Econ. Finance*, 50 (2019), Article 101035

<https://doi.org/10.1016/j.najef.2019.101035>

Lutkepohl, H. (1991). *Introduction to multiple time series analysis* (2nd ed., Section 2.3.3). Springer-Verlag.

Lütkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Springer.

MacKinnon, J. G. (1991). Critical Values for Cointegration Tests. In *Long-Run Economic Relationships: Readings in Cointegration* (pp. 267-276). Oxford University Press.

MacKinnon, J. P. (1991). Critical values for cointegration tests. *Journal of Applied Econometrics*, 6(1), 175-186.

Mensi W., Al-Yahyaee K.H., Vo X.V., Kang S.H. Modeling the frequency dynamics of spillovers and connectedness between crude oil and MENA stock markets with portfolio implications *Econ. Anal. Policy*, 71 (2021), pp. 397-419

<https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.06.001>

Mensi W., Beljid M., Boubaker A., Managi S.(2013) Correlations and volatility spillovers across commodity and stock markets: Linking energies, food, and gold *Econ. Model.*, 32 (2013), pp. 15-22 <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.01.023>

Mensi W., Hkiri B., Al-Yahyaee K.H., Kang S.H. Analyzing time–frequency co-movements across gold and oil prices with BRICS stock markets: A VaR based on wavelet approach *Int. Rev. Econ. Final.*, 54 (2018), pp. 74-102 <https://doi.org/10.1016/j.iref.2017.07.032>

Mensi W., Rehman M.U., Maitra D., Al-Yahyaee K.H., Vo X.V. Oil, natural gas and BRICS stock markets: Evidence of systemic risks and co-movements in the time-frequency domain *Resour. Policy*, 72 (2021), Article 102062 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102062>

N. Iqbal, M.A. Naeem, M.T. Suleman Quantifying the asymmetric spillovers in sustainable investments *J. Int. Financ. Mark. Inst. Money*, 77 (2022), Article 101480

<https://doi.org/10.1016/j.intfin.2021.101480>

N.P. Canh, N.Q. Binh, S.D. Thanh Cryptocurrencies and investment diversification: empirical evidence from seven largest cryptocurrencies *Theor. Econ. Lett.*, 9 (2019), p. 431 doi: 10.4236/tel.2019.93031

Parkinson, M. (1980). The Extreme Value Method for Estimating the Variance of the Rate of Return. *Journal of Business*, 53(1), 61-65.

Pesaran, H. H., & Shin, Y. (1997). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Journal of Econometrics*, 77(1), 141-154

Phillips, P. C. B. (1986). Understanding spurious regressions in econometrics. *Journal of Econometrics*, 33(3), 311-340.

Phillips, P. C. B., & Perron, P. (1988). Testing for a Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.



- R. Ferrer, S.J.H. Shahzad, R. López, F. Jareño Time and frequency dynamics of connectedness between renewable energy stocks and crude oil prices *Energy Econ.*, 76 (2018), pp. 1-20 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.09.022>
- R.A. Badeeb, H.H. Lean Asymmetric impact of oil price on Islamic sectoral stocks *Energy Econ.*, 71 (2018), pp. 128-139 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.11.012>
- R.A. Badeeb, H.H. Lean, R. Smyth Oil curse and finance–growth nexus in Malaysia: the role of investment *Energy Econ.*, 57 (2016), pp. 154-165 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.04.020>
- Ross, S. M. (2014). *A First Course in Probability* (9th ed.). Pearson.
- S. Mishra, A. Sharif, S. Khuntia, M.S. Meo, S.A.R. Khan Does oil prices impede Islamic stock indices? Fresh insights from wavelet-based quantile-on-quantile approach *Resour. Pol.*, 62 (2019), pp. 292-304 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.04.005>
- Sadorsky, P., 1999. Oil price shocks and stock market activity. *Energy Econ.* 21 (5), 449–469. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(99\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(99)00020-1)
- Said, S. E., & Dickey, D. A. (1984). Testing for unit roots in autoregressive-moving average models of unknown order. *Biometrika*, 71(3), 599-607.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics*, 6(2), 461–464. DOI: 10.1214/aos/1176344136
- Sharif A., Aloui C., Yarovaya L. COVID-19 pandemic, oil prices, stock market and policy uncertainty nexus in the US economy: Fresh evidence from the wavelet-based approach *Int. Rev. Financ. Anal.*, 70 (2020), Article 101496 <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101496>
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and Reality. *Econometrica*, 48(1), 1–48. DOI: 10.2307/1912017
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica*, 48(1), 1-48.
- Uhlig, H. (2005). What Are the Effects of Monetary Policy on Output? Results from an Agnostic Identification Procedure. *Journal of Monetary Economics*, 52(2), 381–419. DOI: 10.1016/j.jmoneco.2004.05.007
- W. Ahmad On the dynamic dependence and investment performance of crude oil and clean energy stocks *Res. Int. Bus. Financ.*, 42 (2017), pp. 376-389 <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2017.07.140>
- W. Mensi, A.R. Al Rababa'a, M. Alomari, X.V. Vo, S.H. Kang Dynamic frequency volatility spillovers and connectedness between strategic commodity and stock markets: US-based sectoral analysis *Resour. Pol.*, 79 (2022), Article 102976 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102976>
- W. Mensi, I. Yousaf, X.V. Vo, S.H. Kang Asymmetric spillover and network connectedness between gold, BRENT oil and EU subsector markets *J. Int. Financ. Mark. Inst. Money*, 76 (2022), Article 101487 <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2021.101487>

Wang, Y., Wu, C., Yang, L., 2013. Oil price shocks and stock market activities: Evidence from oil-importing and oil-exporting countries. *J. Comp. Econ.* 41 (4), 1220–1239.  
<https://doi.org/10.1016/j.jce.2012.12.004>

Wen D., Wang G.J., Ma C., Wang Y. Risk spillovers between oil and stock markets: A VAR for VaR analysis *Energy Econ.*, 80 (2019), pp. 524-535  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.02.005>

Yule, G. U. (1926). Why do we sometimes get nonsense correlations between time series?—A study in sampling and the nature of time series. *Journal of the Royal Statistical Society*, 89(1), 1-64.

Yule, G. U. (1926). Why do we sometimes get nonsense-correlations between time-series? A study in sampling and the nature of time-series. *Journal of the Royal Statistical Society*, 89(1), 1-63.

Zhang W., Hamori S. Crude oil market and stock markets during the COVID-19 pandemic: Evidence from the US, Japan, and Germany *Int. Rev. Financ. Anal.*, 74 (2021), Article 101702 <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2021.101702>