



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΤΣΟΜΠΟΛΗΣ

**«Οικονομικές διασυνδέσεις στις  
χρηματοοικονομικές αγορές της  
ανατολικής Ασίας : Ένα Μαρκοβιανό  
(MSR) υπόδειγμα GVAR»**

ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ:

Οικονομικής Ανάλυσης

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:**

Παναγιώτης Μιχαηλίδης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Παναγιώτης Μιχαηλίδης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ιωάννης Τσώλας, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σπυρίδων Στέλιος, μέλος Ε.ΔΙ.Π. Ε.Μ.Π.

[ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2023]



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της Διπλωματικής Εργασίας κ. Μιχαηλίδη Παναγιώτη, Καθηγητή Ε.Μ.Π., και τον κ. Κωνσταντίνο Κωνσταντάκη Επ. Καθηγητή (407/80), οι οποίοι με έφεραν σε επαφή με το παρόν θέμα και την πλούσια και ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα σχετική βιβλιογραφία, ενώ μου πρόσφεραν επίσης πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη στήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου.

.....  
ΚΟΤΣΟΜΠΟΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Διπλωματούχος Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών

© (2023) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. All rights Reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σ' αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η εισαγωγή στη μεθοδολογία μια νέας μεθόδου εκτίμησης για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και τις αλλαγές κατάστασης που συνήθως συνδέονται με το οικονομικό σύστημα επιτρέποντας την πρόβλεψη και την ανάλυση οικονομικών μεταβλητών σε περιόδους ανάπτυξης και ύφεσης, λαμβάνοντας υπόψιν τις διαφορές στη δυναμική των μεταβλητών ανάλογα με την κατάσταση της οικονομίας. Καθώς οι αγορές καθίστονται, όλο και πιο αλληλεξαρτώμενες αυξάνεται η ανάγκη της μελέτης τους ως ένα σύνολο, ώστε να μπορέσουν να εκφραστούν όσο το δυνατό καλύτερα οι πιθανές (αλληλό)εξαρτήσεις. Προτείνεται, λοιπόν, ο συγκερασμός δύο υπαρχουσών μεθόδων, της Μαρκοβιανής Παλινδρόμησης Αλλαγής Καθεστώτος (Markov Switching Regression) και του Παγκόσμιου Πολυμεταλητού Μοντέλου Αυτοπαλινδρόμησης (Global VAR model), σε ένα νέο συνδυασμένο MS-GVAR μοντέλο. Το μοντέλο αυτό θα μπορέσει να αποτυπώσει τυχόν μεταβολές στο καθεστώς αλλά θα λάβει και υπόψιν εξαρτήσεις μεταξύ των μεταβλητών. Στη συνέχεια, γίνεται εφαρμογή αυτού του μοντέλου στις χρηματοοικονομικές αγορές της ανατολικής Ασίας, με την μέθοδο να μας δίνει αποτελέσματα διαφορετικής συμπεριφοράς ανάμεσα σε καθεστώτα αλλά και τη σημασία των αλληλεξαρτήσεων στις παγκόσμιες αγορές, αφήνοντας περιθώρια για μελλοντική μελέτη.

### Λέξεις Κλειδιά:

Μαρκοβιανή Παλινδρόμηση Αλλαγής Καθεστώτος, Υπόδειγμα Παγκόσμιου Μοντέλου Αυτοπαλινδρόμησης, MS – GVAR, Κυρίαρχες (οικονομίες), Αγορά Ανατολικής Ασίας, Διαταραχή, Χρονοσειρές

## **Abstract**

“Economic Dynamics and Spillover Effects in East Asian Financial Market:  
A novel Markov Switching Regime (MSR) GVAR Model”

The purpose of this Thesis is to integrate a novel assessment method into the methodology that is capable of dealing with the uncertainty and changes in situation that generally come along with the economy, allowing for the forecasting and analyzing of economic variables during periods of growth and recession, while taking into account the differences in the behavior of the variables depending on the state of the economy. As markets become more interconnected, the necessity to research them as a whole grows, so that probable (inter)dependencies can be given as accurately as possible. It is thus proposed to integrate two current methods, Markov Switching Regression and the Global Multivariate Autoregression Model (Global VAR model), into a new MS-GVAR model. This model will be able to capture changes in the regime while also taking into consideration variable dependencies. The model is then applied to East Asian financial markets, with the method yielding some evidence of differing behavior between regimes as well as the relevance of interdependencies in global markets, leaving room for further research.

### **Keywords:**

Markov – Switching Regression, Global Vector Autoregression, MS – GVAR, Dominant (economies), East Asian market, Shock, Time-series

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1: Διάγραμμα Κεντρικότητας.....	30
Σχήμα 2: Χρηματιστήριο Κίνας – Ομόλογα Κίνας.....	36
Σχήμα 3: Χρηματιστήριο Ιαπωνίας – Ομόλογα Ιαπωνίας.....	37
Σχήμα 4: Χρηματιστήριο Κορέας – Ομόλογα Κορέας.....	39
Σχήμα 5: Χρηματιστήριο Μαλαισίας – Ομόλογα Μαλαισίας.....	40
Σχήμα 6: Χρηματιστήριο Φιλιππινών – Ομόλογα Φιλιππινών.....	41
Σχήμα 7: Χρηματιστήριο Ινδονησίας – Ομόλογα Ινδονησίας.....	43
Σχήμα 8: Χρηματιστήριο Κίνας, χαμηλή μεταβλητότητα.....	44
Σχήμα 9: Ομόλογα Κίνας, υψηλή μεταβλητότητα.....	45
Σχήμα 10: Ομόλογα Κίνας, χαμηλή μεταβλητότητα.....	45
Σχήμα 11: Χρηματιστήριο Ιαπωνίας, χαμηλή, μεταβλητότητα.....	46
Σχήμα 12: Χρηματιστήριο Κίνας, υψηλή μεταβλητότητα.....	46
Σχήμα 13: Ομόλογα Ιαπωνίας, χαμηλή μεταβλητότητα.....	47
Σχήμα 14: Ομόλογα Ιαπωνίας, χαμηλή μεταβλητότητα.....	47
Σχήμα 15: Χρηματιστήριο Κορέας, χαμηλή μεταβλητότητα.....	48
Σχήμα 16: Χρηματιστήριο Κορέας, υψηλή μεταβλητότητα.....	48
Σχήμα 17: Ομόλογα Κορέας, χαμηλή μεταβλητότητα.....	49
Σχήμα 18: Ομόλογα Κορέας, υψηλή μεταβλητότητα.....	49
Σχήμα 19: Χρηματιστήριο Μαλαισίας, χαμηλή μεταβλητότητα.....	50
Σχήμα 20: Ομόλογα Μαλαισίας, χαμηλή μεταβλητότητα.....	51
Σχήμα 21: Ομόλογα Μαλαισίας, υψηλή μεταβλητότητα.....	51
Σχήμα 22: Χρηματιστήριο Φιλιππινών, χαμηλή μεταβλητότητα.....	52
Σχήμα 23: Ομόλογα Φιλιππινών, χαμηλή μεταβλητότητα.....	53
Σχήμα 24: Ομόλογα Φιλιππινών, υψηλή μεταβλητότητα.....	53
Σχήμα 25: Χρηματιστήριο Ινδονησίας, χαμηλή μεταβλητότητα.....	54
Σχήμα 26: Χρηματιστήριο Ινδονησίας, υψηλή μεταβλητότητα.....	54
Σχήμα 27: Ομόλογα Ινδονησίας, χαμηλή μεταβλητότητα.....	55
Σχήμα 28: Ομόλογα Ινδονησίας, υψηλή μεταβλητότητα.....	55
Πίνακας 1: Περιγραφική στατιστική μεταβλητών.....	28
Πίνακας 2: Περιγραφική στατιστική μεταβλητών.....	28
Πίνακας 3: Ιδιοτιμές.....	31

<b>Πίνακας 4:</b> Κεντρικότητα.....	31
<b>Πίνακας 5:</b> Πίνακας βαρών .....	32
<b>Πίνακας 6:</b> Χαμηλή Μεταβλητότητα .....	33
<b>Πίνακας 7:</b> Υψηλή Μεταβλητότητα.....	33
<b>Πίνακας 8:</b> Στατιστική Σημαντικότητα Χαμηλής Μεταβλητότητας.....	34
<b>Πίνακας 9:</b> Στατιστική Σημαντικότητα Υψηλής Μεταβλητότητας .....	34
<b>Πίνακας 10:</b> Χρηματιστήριο Κίνας, πιθανότητες μετάβασης.....	35
<b>Πίνακας 11:</b> Χρηματιστήριο Κίνας, αναμενόμενη διάρκεια.....	35
<b>Πίνακας 12:</b> Ομόλογα Κίνας, πιθανότητες μετάβασης .....	35
<b>Πίνακας 13:</b> Ομόλογα Κίνας, αναμενόμενη διάρκεια.....	35
<b>Πίνακας 14:</b> Χρηματιστήριο Ιαπωνίας, πιθανότητες μετάβασης.....	36
<b>Πίνακας 15:</b> Χρηματιστήριο Ιαπωνίας, αναμενόμενη διάρκεια.....	36
<b>Πίνακας 16:</b> Ομόλογα Ιαπωνίας, πιθανότητες μετάβασης.....	37
<b>Πίνακας 17:</b> Ομόλογα Ιαπωνίας, αναμενόμενη διάρκεια.....	37
<b>Πίνακας 18:</b> Χρηματιστήριο Κορέας, πιθανότητες μετάβασης .....	38
<b>Πίνακας 19:</b> Χρηματιστήριο Κορέας, αναμενόμενη διάρκεια .....	38
<b>Πίνακας 20:</b> Ομόλογα Κορέας, πιθανότητες μετάβασης .....	38
<b>Πίνακας 21:</b> Ομόλογα Κορέας, αναμενόμενη διάρκεια .....	38
<b>Πίνακας 22:</b> Χρηματιστήριο Μαλαισίας, πιθανότητες μετάβασης.....	39
<b>Πίνακας 23:</b> Χρηματιστήριο Μαλαισίας, αναμενόμενη διάρκεια.....	39
<b>Πίνακας 24:</b> Ομόλογα Μαλαισίας, πιθανότητες μετάβασης.....	39
<b>Πίνακας 25:</b> Ομόλογα Μαλαισίας, αναμενόμενη διάρκεια.....	40
<b>Πίνακας 26:</b> Χρηματιστήριο Φιλιππινών, πιθανότητες μετάβασης .....	40
<b>Πίνακας 27:</b> Χρηματιστήριο Φιλιππινών, αναμενόμενη διάρκεια.....	41
<b>Πίνακας 28:</b> Ομόλογα Φιλιππινών, πιθανότητες μετάβασης .....	41
<b>Πίνακας 29:</b> Ομόλογα Φιλιππινών, αναμενόμενη διάρκεια.....	41
<b>Πίνακας 30:</b> Χρηματιστήριο Ινδονησίας, πιθανότητες μετάβασης.....	42
<b>Πίνακας 31:</b> Χρηματιστήριο Ινδονησίας, αναμενόμενη διάρκεια .....	42
<b>Πίνακας 32:</b> Ομόλογα Ινδονησίας, πιθανότητες μετάβασης.....	42
<b>Πίνακας 33:</b> Ομόλογα Ινδονησίας, αναμενόμενη διάρκεια .....	42



## Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	5
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	9
2.1 Μαρκοβιανή Αλλαγή Καθεστώτος (Markov Switching).....	9
2.2 Παγκόσμιο Πολυμεταβλητό Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης (GVAR).....	11
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	15
3.1 Αυτοπαλίνδρομο Διανυσματικό Υπόδειγμα (VAR).....	15
3.2 Μαρκοβιανή Παλινδρόμηση Αλλαγής Καθεστώτος (Markov Switching Regression) .....	16
3.3 Παγκόσμιο Πολυμεταβλητό Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης (GVAR).....	19
3.4 MS – GVAR Υπόδειγμα.....	22
3.5 Κυρίαρχες Οντότητες Δικτύου (Dominant Entities in the network).....	24
3.6 Συναρτήσεις Αιφνίδιων Αποκρίσεων (GIRFs) .....	26
4. ΕΜΠΕΙΡΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	27
4.1 Δεδομένα και μεταβλητές .....	27
4.2 Εμπειρικά Αποτελέσματα .....	30
4.2.1 Κυρίαρχες Οικονομίες (Dominant Economies).....	30
4.2.2 Πίνακας Βαρών (Weight Matrix).....	32
4.2.3 Αποτελέσματα Μαρκοβιανής Παλινδρόμησης Αλλαγής Καθεστώτος (Markov Switching results).....	32
4.2.4 Πιθανότητες Μετάβασης και Διάρκεια (Transition and Duration).....	34
4.2.5 Αποτελέσματα MS-GVAR (Dynamic autoregressive distributed lag models).....	44
5. ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	57
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παγκοσμιοποίηση και η αλληλεξάρτηση των οικονομιών του κόσμου έχουν δημιουργήσει μια αυξανόμενη ανάγκη για ανάλυση και πρόβλεψη των οικονομικών δεδομένων. Οι παραδοσιακές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των οικονομικών συστημάτων αγνοούν την ύπαρξη δυναμικών και αστάθειας στις οικονομίες. Έτσι, λοιπόν, στην αναζήτηση της διπλωματικής μου εργασίας ήθελα να ασχοληθώ με κάτι πρωτότυπο που θα μπορέσει να συνεισφέρει στην παρούσα βιβλιογραφία όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία, επικεντρωνόμαστε στο MS-GVAR (Markov-switching Global Vector Autoregressive) μοντέλο, το οποίο αποτελεί μια εξελιγμένη μέθοδο για την ανάλυση και πρόβλεψη οικονομικών δεδομένων και μεταβλητών. Το MS-GVAR μοντέλο συνδυάζει το GVAR με τη δυνατότητα εναλλαγής καθεστώτων (switching regimes) του Markov, λαμβάνοντας υπόψη την αστάθεια και την αλληλεπίδραση μεταξύ των οικονομιών. Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιάσει το MS-GVAR μοντέλο και να εξετάσει την αποτελεσματικότητά του στην ανάλυση και πρόβλεψη οικονομικών δεδομένων και μεταβλητών. Θα εξετάσουμε τη δομή και τη λειτουργία του μοντέλου, καθώς και τις μεθόδους εκτίμησης και προβλέψεων που σχετίζονται με αυτό, ενώ παρουσιάζεται με ακρίβεια και σαφήνεια η αντίστοιχη μεθοδολογία που αναπτύξαμε.

Αναμένεται ότι η παρούσα εργασία θα προσφέρει βαθύτερη κατανόηση των παγκόσμιων οικονομικών συστημάτων και την ικανότητά μας να αντιμετωπίσουμε την αβεβαιότητα και την αστάθεια σε αυτά. Τα αποτελέσματα και οι προτάσεις που προκύπτουν από αυτή την έρευνα θα μπορούν να βοηθήσουν όχι μόνο ερευνητικά στον τομέα της οικονομικής ανάλυσης, αλλά και όλους όσους ασχολούνται με την παγκόσμια οικονομία.

Αυτός ο πρόλογος θέτει το πλαίσιο για τη Διπλωματική Εργασία και προετοιμάζει για την ανάλυση και τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια. Με τη χρήση του MS-GVAR μοντέλου, αυτή η εργασία συνδυάζει την παγκόσμια προοπτική με την αναγνώριση της αστάθειας και των δυναμικών στις οικονομίες, προσφέροντας έτσι μια πληρέστερη εικόνα της παγκόσμιας οικονομικής ανάπτυξης και αλληλεπίδρασης.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο 21ος αιώνας χαρακτηρίζεται από την τεράστια ροή δεδομένων, κυρίως λόγω της τεχνολογικής προόδου. Οι στατιστικές τεχνικές είναι πλέον επιτακτικές για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων μέσω μιας σειράς αναλύσεων που περιλαμβάνουν ανάλυση μεγάλων δεδομένων. Ως αποτέλεσμα, αναπτύχθηκαν πολλά μοντέλα χρονοσειρών, όπως το μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης (AR) και η διανυσματική επέκτασή του (Vector AR), το μοντέλο κινητού μέσου όρου (MA) και ο συνδυασμός των προηγούμενων (ARMA), για την ανάλυση οικονομικών και χρηματοοικονομικών δεδομένων. Αυτά τα μοντέλα γραμμικών χρονοσειρών έχουν κερδίσει δημοτικότητα σε διάφορους τομείς, όπως τα χρηματοοικονομικά και η υγεία. Ωστόσο, αυτές οι προσεγγίσεις δεν μπορούν να συλλάβουν τα μη γραμμικά δυναμικά μοτίβα των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών, κάτι το οποίο οδήγησε στη στροφή προς τα μοντέλα εναλλαγής καθεστώτων. Τα μοντέλα εναλλαγής καθεστώτων μπορούν να αντιμετωπίσουν την αδυναμία των γραμμικών μοντέλων συλλαμβάνοντας την ασυμμετρία των οικονομικών δεδομένων. Έτσι κέρδισαν έδαφος αυτά τα μοντέλα και πιο συγκεκριμένα τα μοντέλα Μαρκοβιανής Αλλαγής Καθεστώτος με την εισαγωγή τους στην οικονομετρία από τους Goldfeld and Quandt (1973) και έπειτα από τον Hamilton (1989) ο οποίος εισήγαγε αυτοπαλινδρομους όρους σε αυτά.

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι επιτρέπει κατά την χρονική πάροδο την μετατόπιση των παραμέτρων του μοντέλου από καταστάσεις υψηλής μεταβλητότητας σε καταστάσεις χαμηλής μεταβλητότητας και αντίστροφα, έχοντας έτσι τη δυνατότητα να συλλάβει πολύπλοκα δυναμικά μοτίβα χρονοσειρών. Οι εφαρμογές του τα επόμενα χρόνια προσέφεραν σημαντικά αποτελέσματα, όπως αυτή των Kim and Nelson (2017) οι οποίοι μάλιστα χρησιμοποίησαν μια μπεϋζιανή προσέγγιση βασισμένη στο Μαρκοβιανό Μοντέλο Αλλαγής Καθεστώτος για να μελετήσουν τον οικονομικό κύκλο των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Ακόμα και πιο σύγχρονες μελέτες έκαναν χρήση του μοντέλου σε νέες εφαρμογές όπως ο συνδυασμός με GARCH μοντέλα (generalized autoregressive conditionally heteroscedastic models), Bauwens et al. (2010), ενώ χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς για να ερμηνεύσει διάφορες δραστηριότητες την περίοδο της Covid-19, η οποία άλλαξε τις ισορροπίες ολόκληρου του κόσμου.

Επιπλέον η αυξημένη παγκοσμιοποίηση των τελευταίων χρόνων, ιδιαίτερα στον τομέα της (μακρο)οικονομίας, έχει δημιουργήσει την ανάγκη για τη μελέτη διαφόρων

συστημάτων, ως ενιαίο σύνολο. Αναλυτικότερα, ένα μειονέκτημα της βιβλιογραφίας ήταν να μελετήσει για παράδειγμα το δημόσιο χρέος ενός κράτους ή συνόλου κρατών αγνοώντας πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Αυτή η παράλειψη φαίνεται να είναι κρίσιμη καθώς οι χώρες και οι αγορές είναι πλέον πιο διασυνδεδεμένες από ποτέ. Αυτές οι αυξημένες αλληλεξαρτήσεις θα μπορούσαν να οφείλονται σε κοινές παρατηρούμενες παγκόσμιες κρίσεις (όπως αλλαγές στις τιμές του πετρελαίου), θα μπορούσαν να προκύψουν ως αποτέλεσμα παγκόσμιων απαρατήρητων παραγόντων (όπως η διάχυση της τεχνολογικής προόδου) ή θα μπορούσαν να οφείλονται σε συγκεκριμένους εθνικούς ή τομειακούς κλυδωνισμούς. Αυτό το πρόβλημα αντιμετώπισαν αποτελεσματικά οι Pesaran et al. (2004), με τη μεθοδολογία του Παγκόσμιου Πολυμεταβλητού Μοντέλου Αυτοπαλινδρόμησης (Global VAR). Συνδυάζοντας, λοιπόν, μεμονωμένα μοντέλα τα οποία συνδέονται με συνεπή τρόπο ώστε το τελικό GVAR να επιλύεται ως σύνολο προσφέρει πλεονεκτήματα που δεν αφορούν μονάχα τη διασύνδεση των εκάστοτε μεταβλητών του μοντέλου αλλά και το γεγονός ότι προσφέρει μια λύση στο πρόβλημα της διαστασιολόγησης ενώ μπορεί να προσφέρει χρήσιμα αποτελέσματα μέσω της ανάλυσης αιφνίδιων αποκρίσεων. Η παραπάνω μεθοδολογία βρήκε πολλές εφαρμογές, κυρίως αφού καθιερώθηκε στη βιβλιογραφία, π.χ. Chudik and Pesaran (2016), με κάποιες από αυτές να μελετούν τις αλληλεπιδράσεις χρέους και ανάπτυξης στην περιοχή της Ευρώπης, π.χ. Kempa and Khan (2017), ή τη σχέση νομισματικής πολιτικής και χρηματιστηρίου πάλι στην Ευρώπη (Luetkepohl and Netsunajev, 2018) ή ακόμα και την εφαρμογή του για εκτιμήσεις όσον αφορά οικονομίες ολόκληρου του κόσμου (US, EU17, BRICs), π.χ. Konstantakis et al. (2015).

Σκοπός λοιπόν της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να συγκεράσουμε τις παραπάνω μεθόδους προτείνοντας μια νέα μεθοδολογία (Markov Switching – Global VAR) που θα μπορέσει να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα της κάθε μεθόδου και τελικά να εφαρμοστεί σε πολύπλοκα δυναμικά μοτίβα χρονοσειρών που χαρακτηρίζονται από έντονη μεταβλητότητα και ισχυρές αλληλοεξαρτήσεις. Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας έγινε στις χρηματοοικονομικές αγορές της ανατολικής Ασίας, λαμβάνοντας υπόψιν τις χρηματιστηριακές αγορές, ομόλογα, παγκόσμιους οικονομικούς δείκτες αλλά και σύνολο θανάτων λόγω της Covid-19. Επίσης, κάναμε χρήση των συναρτήσεων αιφνίδιων αποκρίσεων, προκειμένου να εξετάσουμε την αντίδραση της κάθε μεταβλητής μετά από μια διαταραχή σε κάποια από τις υπόλοιπες. Τα αποτελέσματα μας υποδεικνύουν αρχικά μια σταθερότητα στην εκάστοτε κατάσταση όσον αφορά τα

ομόλογα, με εξαίρεση την Κίνα, δηλαδή όταν η διαδικασία βρεθεί σε μια κατάσταση θα παραμείνει εκεί για αρκετό διάστημα σε αντίθεση με το εκάστοτε χρηματιστήριο όπου η κατάσταση είναι συνεχώς ευμετάβλητη. Επιπλέον, παρατηρήσαμε πως οι μεταβλητές που εξετάσαμε δύσκολα αποκλίνουν από την αρχική τιμή τους σε μια διαταραχή με εξαίρεση ορισμένα παραδείγματα όπως αυτό στο χρηματιστήριο της Κίνας, όπου η διαταραχή στους δείκτες VIX και WTI προκάλεσαν μικρή πτώση σε αυτό, βέβαια μονάχα με την τελευταία μεταβλητή να είναι στατιστικά σημαντική.

Έπειτα από την εισαγωγή που ακολούθησε, η συνέχεια της εργασίας δομείται ως εξής, στο κεφάλαιο 2 αναλύεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε και αποτέλεσε υπόβαθρο για την εργασία, στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται βήμα-βήμα η προτεινόμενη μεθοδολογία αλλά και άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ στα κεφάλαια 4 και 5 παρέχονται η ανάλυση και η συζήτηση των αποτελεσμάτων, αντίστοιχα, δηλαδή αναλυτικές πληροφορίες από τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων, την επεξεργασία τους και τελικά την αξιολόγησή-ανάλυσή τους. Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται στο κεφάλαιο 6 όπου συνοψίζεται το βασικό πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, εξάγοντας τα κατάλληλα συμπεράσματα ενώ αναφέρονται και μελλοντικές επεκτάσεις επί του θέματος.





## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 Μαρκοβιανή Αλλαγή Καθεστώτος (Markov Switching)

Η παρούσα βιβλιογραφική επισκόπηση έχει σκοπό να διερευνήσει τις μεθόδους και τις εφαρμογές, αρχικά του Μαρκοβιανού Μοντέλου Αλλαγής Καθεστώτος (Markov Switching) και έπειτα του Παγκόσμιου Πολυμεταβλητού Αυτοπαλίνδρομου Υποδείγματος (Global VAR).

Αρχικά, εστιάζοντας στο Μαρκοβιανό Μοντέλο Αλλαγής Καθεστώτος (Markov-Switching Model), αυτό αναφέρεται σε έναν κλάδο των οικονομετρικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των χρονοσειρών. Η βασική ιδέα είναι ότι οι παρατηρήσεις στη χρονοσειρά αλλάζουν από μια κατάσταση σε μια άλλη, με βάση έναν κανόνα που ονομάζεται Μαρκοβιανή Ιδιότητα.

Προσδιορισμός του μοντέλου που εισήγαγε αυτοπαλίνδρομους όρους έγινε από τους Poritz (1982) και Rabiner (1989) που περιέγραψαν αυτές τις διαδικασίες ως “hidden Markov models”. Εκείνη την περίοδο τα Μαρκοβιανά μοντέλα κέρδισαν έδαφος για τον λόγο ότι βασιζόνταν σε ένα ισχυρό μαθηματικό-θεωρητικό υπόβαθρο και για το ότι η ορθή εφαρμογή τους δούλεψε αποτελεσματικά σε σημαντικές εφαρμογές. Η Μαρκοβιανή παλινδρόμηση αλλαγής καθεστώτος εισήχθη από τους Goldfeld and Quandt (1973). Η διατύπωση όμως του προβλήματος κατά το οποίο γίνεται χρήση επαναληπτικού αλγορίθμου για τον υπολογισμό κάθε αντικειμένου ενδιαφέροντος οφείλεται στον Hamilton (1989). Μια ακόμα αναλυτική παρουσίαση του μοντέλου, σε θεωρητική βάση, που περιλαμβάνει αυτοπαλίνδρομους όρους γίνεται στο έργο-βιβλίο του Krolzig (1997). Συγκεκριμένα, στο τελευταίο έγινε εκτενής ανάλυση της διαδικασίας MS-VAR προσδιορίζοντας με ακρίβεια το μαθηματικό υπόβαθρο της διαδικασίας, δηλαδή εφόσον οι παράμετροι υπόκεινται σε αλλαγές με την πάροδο του χρόνου, τότε πρέπει να υπάρχει πλήρης περιγραφή του νόμου πιθανότητας που διέπει αυτές τις μεταβολές, ενώ συμπεριέλαβε και επεκτάσεις αυτής, όπως τα μοντέλα VAR κινητού μέσου (VARMA).

Όπως επιβεβαιώνεται και από την έρευνα των Phoong et al. (2022), η οποία περιείχε βιβλιομετρική ανάλυση για το Μαρκοβιανό μοντέλο αλλαγής καθεστώτος, αυτό πρωτοεμφανίστηκε από τους Goldfeld and Quandt (1973), αφορώντας διακριτές αλλαγές στο σύστημα, για το οποίο η συνάρτηση πιθανοφάνειας υπολογίστηκε αρχικά από τους

Cosslett and Lee (1985). Το μοντέλο όμως κέρδισε το ενδιαφέρον όταν ο Hamilton (1989) ανέφερε την οικονομική ανάλυση μη γραμμικών χρονοσειρών και παραμετρικών αλλαγών ενός αυτοπαλίνδρομου μοντέλου.

Η μέθοδος Markov-Switching έχει εφαρμοστεί σε πολλούς διαφορετικούς τομείς, όπως η οικονομική ανάλυση, η χρηματοοικονομική, η δημοσιονομική πολιτική, η επιστήμη των υλικών και η κλιματολογία. Η διατύπωση όμως της μεθόδου στην οικονομετρία από τον Hamilton (1989) αποτέλεσε την βάση αναπτύσσοντας τη θεωρία Markov-Switching για την ανάλυση του εποχιακού κύκλου και των αλλαγών στην οικονομία. Σειρά μελετών, είχε προσπαθήσει να χαρακτηρίσει τη φύση της μακροπρόθεσμης τάσης του ΑΕΠ με τον επιχειρηματικό κύκλο. Έτσι προτάθηκε από τον Hamilton (1989) μια εφαρμόσιμη προσέγγιση για τη μοντελοποίηση αλλαγών στο καθεστώς, όπου οι παράμετροι της αυτοπαλινδρόμησης θεωρούνται αποτέλεσμα μια διακριτής Μαρκοβιανής διαδικασίας. Για παράδειγμα, ο μέσος ρυθμός ανάπτυξης μιας μη στάσιμης σειράς μπορεί να υπόκειται σε περιστασιακές, διακριτές μετατοπίσεις. Έτσι γίνεται μια εμπειρική εφαρμογή του αλγόριθμου στη μεταπολεμική εποχή των Ηνωμένων Πολιτειών στο πραγματικό ΑΕΠ της χώρας, υποδηλώνοντας ότι η περιοδική μετατόπιση από θετικό ρυθμό ανάπτυξης σε αρνητικό είναι ένα επαναλαμβανόμενο χαρακτηριστικό του επιχειρηματικού κύκλου των ΗΠΑ και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως αντικειμενικό κριτήριο για τον καθορισμό και μέτρηση της οικονομικής ύφεσης.

Επίσης, σε μεταγενέστερη δημοσίευσή του, ο Hamilton (2016), περιέγραψε την κλασική και την Μπεϋζιανή αλγοριθμική προσέγγιση για την εκτίμηση και την εξαγωγή συμπερασμάτων σε τέτοια μοντέλα και έθεσε μερικά από τα ζητήματα που προκύπτουν σε ειδικές περιπτώσεις όπως το GARCH (generalized autoregressive conditional heteroskedasticity) και τα μοντέλα κατάστασης-χώρου (state-space models). Μια Μπεϋζιανή προσέγγιση πρότειναν και οι Koop and Korobilis (2009), όσον αφορά τα πολυμεταβλητά μοντέλα χρονοσειρών στην μακροοικονομία, με σκοπό να προσφέρουν λύση στο πρόβλημα της υπερπαραμετροποίησης που προκύπτει αντιμετωπίζοντας κλασικά τα μοντέλα.

Άλλες πρόσφατες εφαρμογές του μοντέλου, όπως αυτή των Konstantakis et al. (2023), αφορούν ακόμα και το πως η πανδημία της νόσου Covid-19, επηρέασε την ισοτιμία μεταξύ δολαρίου και ευρώ, με την χρήση ενός MS (Markov Switching) υποδείγματος δύο (2) καθεστώτων, εξετάζοντας τη διαφοροποίηση της ισοτιμίας πριν και

μετά το ξέσπασμα της πανδημίας. Ακόμα μια μελέτη με τη χρήση ενός δυναμικού μοντέλου Markov-Switching παλινδρόμησης, έγινε από τους Konstantakis et al. (2023), και αφορά τη διερεύνηση μια πιθανής επαναφοράς των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που είχαν ακολουθήσει πρωτοφανή κάθοδο κατά την πανδημία Covid-19.

Το μοντέλο Markov-Switching έχει χρησιμοποιηθεί και σε συνδυασμό με το Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH) από τους Bauwens et al. (2010), παρουσιάζοντας δηλαδή ένα MS-GARCH μοντέλο και μια εφαρμογή του πάνω στον δείκτη S&P500 σε καθημερινές αποδόσεις. Αντίστοιχα η εργασία των Kangogo and Volkov (2022), εξετάζει της αλληλεπιδράσεις μεταξύ χρηματοπιστωτικών αγορών ενσωματώνοντας τη μέθοδο Markov-Switching σε ένα VAR (Πολυμεταβλητή αυτοπαλινδρόμηση) μοντέλο και εξετάζοντας έτσι τυχόν διαταραχές σε διαφορετικές καταστάσεις. Τα ευρήματα έδειξαν έντονες αλληλεπιδράσεις σε περιόδους αναταράξεων και πιο ήπιες σε περιόδους ηρεμίας.

## 2.2 Παγκόσμιο Πολυμεταβλητό Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης (GVAR)

Το υπόδειγμα Παγκόσμιας Πολυμεταβλητής Παλινδρόμησης (GVAR model) είναι μια ευρέως διαδεδομένη οικονομετρική μέθοδος για την ανάλυση αλληλεξαρτήσεων μεταξύ χωρών-οικονομιών. Το μοντέλο έχει αποκτήσει όλο και αυξανόμενη σημαντικότητα τα τελευταία χρόνια λόγω της παγκοσμιοποίησης της διεθνούς οικονομίας. Παρακάτω, εξετάζουμε μια γενική εικόνα του GVAR μοντέλου, την ιστορική του εξέλιξη, εφαρμογές, προκλήσεις και πρόσφατες εξελίξεις.

Το GVAR μπορεί να συνοψιστεί εν συντομία ως διαδικασία δύο βημάτων, (Pesaran et al., 2004). Στο πρώτο βήμα, τα μοντέλα μικρής κλίμακας για συγκεκριμένες χώρες εκτιμώνται υπό τον όρο του υπόλοιπου κόσμου. Αυτά τα μοντέλα, που δηλώνονται ως VARX\* και διαθέτουν εγχώριες μεταβλητές και σταθμισμένους μέσους όρους ξένων μεταβλητών που αντιμετωπίζονται ως ασθενώς εξωγενείς (ή αναγκαστικά μακροχρόνιες). Στο δεύτερο βήμα, τα μοντέλα VARX\* μεμονωμένων χωρών επιλύονται ταυτόχρονα ως ένα μεγάλο παγκόσμιο μοντέλο VAR. Η λύση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση σεναρίου σεναρίων (scenario analysis) και πρόβλεψη, π.χ. Gutierrez et al. (2015), όπως γίνεται συνήθως με τα τυπικά μοντέλα VAR χαμηλών διαστάσεων.

Η προσέγγιση των Global Vector Autoregression (GVAR), που προτάθηκε αρχικά από τους Pesaran et al. (2004), παρέχει έναν σχετικά απλό αλλά αποτελεσματικό τρόπο

μοντελοποίησης των αλληλεπιδράσεων σε ένα σύνθετο σύστημα υψηλών διαστάσεων, όπως η παγκόσμια οικονομία. Αν και το GVAR δεν είναι το πρώτο μεγάλο παγκόσμιο μακροοικονομικό μοντέλο της παγκόσμιας οικονομίας, η μεθοδολογική του συνεισφορά έγκειται στην αντιμετώπιση του προβλήματος της διαστασιολόγησης με έναν θεωρητικά συνεκτικό και στατιστικά συνεπή τρόπο. Έπειτα, ως συνέχεια της προηγούμενης μελέτης, προτάθηκε ένα ακόμα GVAR μοντέλο από τους Dees et al. (2007), που αφορούσε την περιοχή του ευρώ προσδίδοντας βελτιωμένη θεωρητική βάση στο μοντέλο, ενώ εστίασε και στον τρόπο με τον οποίο μια διαταραχή στην οικονομία των ΗΠΑ, ή στη νομισματική πολιτική ή στην τιμή του πετρελαίου, μπορεί να επηρεάσει την περιοχή του ευρώ.

Από τότε έχουν υπάρξει σημαντικές εξελίξεις στο μοντέλο, με αξιοσημείωτες συνεισφορές από ερευνητές όπως τους Chauvet et al. (2013) όπου αναλύθηκε η σχέση μεταξύ της αβεβαιότητας στις χρηματοπιστωτικές αγορές και των οικονομικών διακυμάνσεων.

Το μοντέλο GVAR αναπτύχθηκε μετά την ασιατική χρηματοπιστωτική κρίση του 1997 για να ποσοτικοποιήσει τις επιπτώσεις των μακροοικονομικών εξελίξεων στις ζημιές των μεγάλων χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων. Ήταν σαφές τότε ότι όλες οι μεγάλες τράπεζες εκτίθενται σε κίνδυνο από δυσμενείς παγκόσμιες ή περιφερειακές κρίσεις, αλλά η ποσοτικοποίηση αυτών των επιπτώσεων απαιτούσε ένα συνεκτικό και απλό στην προσομοίωση παγκόσμιο μακροοικονομικό μοντέλο. Η προσέγγιση GVAR παρέχει έναν χρήσιμο και πρακτικό τρόπο δημιουργίας ενός τέτοιου μοντέλου και, παρόλο που αναπτύχθηκε αρχικά ως εργαλείο ανάλυσης πιστωτικού κινδύνου, σύντομα έγινε φανερό ότι έχει πολλές άλλες εφαρμογές. Μια εκτενής έρευνα των τελευταίων εξελίξεων στη μοντελοποίηση GVAR, τόσο των θεωρητικών θεμελίων της προσέγγισης όσο και των πολυάριθμων εμπειρικών εφαρμογών της, παρατίθεται στο Chudik and Pesaran (2016).

Το GVAR μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε εμπειρικές μελέτες για την ανάλυση των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ χωρών. Για παράδειγμα, οι Kempa and Khan (2017) έκαναν χρήση του μοντέλου για την ανάλυση δευτερογενών επιπτώσεων μεταξύ ευρωπαϊκών οικονομιών, ενώ οι Konstantakis and Michaelides (2014) προτείνουν τη χρήση του μοντέλου για τη μετάδοση της οικονομικής κρίσης (από Ευρώπη σε Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και αντίστροφα). Το μοντέλο έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε μελέτες

συναλλαγματικών ισοτιμιών, τιμών μετοχών και διεθνούς εμπορίου αλλά και ως μοντέλο θνησιμότητας από τους Li and Shi (2021) προκειμένου ταυτόχρονα να μοντελοποιήσει και να προβλέψει τη δυναμική της θνησιμότητας πληθυσμών.

Από την άλλη πλευρά προσφέρει σημαντικές ενδείξεις για τις αλληλοεξαρτήσεις παγκόσμιων οικονομιών, με τη χρήση 2 ισχυρών οικονομιών (EU17 & USA) και παρουσιάζει τις επιπτώσεις μια κρίσης των BRICS στις προηγούμενες οικονομίες ενώ δίνεται και εξήγηση της επιλογής των ισχυρών οικονομιών, (Konstantakis et al., 2015). Επίσης οι Drivas et al. (2022), χρησιμοποιούν το μοντέλο για να ερμηνεύσουν την επίδραση που έχουν οι τεχνολογικές διαταραχές στις πρωτοποριακές οικονομίες του κόσμου, ενώ οι Konstantakis et al. (2022), εξετάζουν πως η Κινεζική οικονομία έχει καταφέρει να διατηρήσει την ακεραιότητά της εν μέσω κρίσεων.

Οι μεμονωμένες μονάδες δεν χρειάζεται απαραίτητα να είναι χώρες, αλλά θα μπορούσαν να είναι περιφέρειες, βιομηχανίες, κατηγορίες αγαθών, τράπεζες, δήμοι ή τομείς μιας δεδομένης οικονομίας, για να αναφέρουμε μόνο μερικά αξιοσημείωτα παραδείγματα, όπως στην εργασία των Michaelides et al. (2015) όπου μοντελοποιήθηκε ένα πιο μικρό σύστημα, όπως αυτό των μέσων συγκοινωνιών της Αθήνας.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνικές μοντελοποίησης GVAR έχουν αντιμετωπίσει ορισμένα από τα μεθοδολογικά ζητήματα και τους περιορισμούς του μοντέλου. Άλλες, πιο πρόσφατες μελέτες έχουν διερευνήσει τη χρήση αλγορίθμων ανάλυσης δικτύου και μηχανικής μάθησης για τη βελτίωση της απόδοσης του μοντέλου GVAR, π.χ. Junttila et al. (2022).

Το μοντέλο GVAR έχει γίνει ένα δημοφιλές εργαλείο για την ανάλυση των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των χωρών στην παγκόσμια οικονομία. Παρότι έχει αντιμετωπίσει επικρίσεις και προκλήσεις, οι πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνικές μοντελοποίησης έχουν βελτιώσει την απόδοσή του και έχουν επεκτείνει τη δυνατότητα εφαρμογής του. Καθώς ο κόσμος γίνεται όλο και πιο διασυνδεδεμένος, το μοντέλο GVAR θα παραμείνει ένα σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση της δυναμικής της παγκόσμιας οικονομίας. Σκοπός, λοιπόν, της παρούσας εργασίας είναι να συγκεράσουμε τις παραπάνω μεθόδους ώστε να συνδυάσουμε τα πλεονεκτήματα της καθεμιάς και να προχωρήσουμε σε μια πρακτική εφαρμογή της συνολικής μεθόδου.



### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### 3.1 Αυτοπαλίνδρομο Διανυσματικό Υπόδειγμα (VAR)

Ένα πολυμεταβλητό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης περιγράφει την εξέλιξη  $k$  ενδογενών (endogenous) μεταβλητών στον χρόνο. Οι μεταβλητές συγκεντρώνονται σε ένα διάνυσμα  $y_t$  μήκους  $k$  (ή ισοδύναμα σε έναν  $(k \times 1)$ -πίνακα). Το διάνυσμα αυτό μοντελοποιείται ως μια γραμμική συνάρτηση των προηγούμενων τιμών του. Τα στοιχεία του διανύσματος αναγράφονται ως  $y_{i,t}$ , συμβολίζοντας την παρατήρηση την χρονική στιγμή  $t$  της  $i$ -στής μεταβλητής.

Έτσι ένα πολυμεταβλητό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης  $p$ -τάξης (VAR( $p$ )) γράφεται ως:

$$Y_t = a_0 + A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + \varepsilon_t$$

ή

$$Y_t = a_0 + \Phi(L_1)Y_{t-L_1} + \varepsilon_t$$

(1)

Η μεταβλητή  $a_0$ , είναι διάνυσμα  $k$  διάστασης σταθερών όρων και λειτουργεί ως σταθερά του μοντέλου,  $A_i$  είναι ένας  $(k \times k)$ -πίνακας ανεξάρτητος της χρονικής στιγμής και  $\varepsilon_t$  είναι διάνυσμα  $k$ -στοιχείων των σφαλμάτων.

Κατ' επέκταση ένα πολυμεταβλητό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης μπορεί να περιέχει τιμές και άλλων μεταβλητών πέραν της εξαρτημένης μεταβλητής αλλά και άλλες εξωγενείς (exogenous) μεταβλητές με τις τιμές προηγούμενων χρονικών στιγμών αυτών των μεταβλητών (lags).

Αλγεβρικά, αυτό εκφράζεται ως:

$$Y_t = a_0 + A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + B_0 X_t + B_1 X_{t-1} + \dots + B_s X_{t-s} + \varepsilon_t$$

ή

$$Y_t = a_0 + \Phi(L_1)Y_{t-L_1} + AX_t + \Phi(L_2)X_{t-L_2} + \varepsilon_t$$

(2)

όπου τώρα  $X_t$  είναι διάνυσμα  $(M \times 1)$  εξωγενών μεταβλητών και  $B_0$  με  $B_s$  είναι  $(k \times M)$  πίνακες συντελεστών.

Αν και η εξίσωση (3) είναι πιο εύκολη ως προς την ανάγνωση, η φόρμουλα είναι πιο εύκολο να διαχειριστεί έχοντας την παρακάτω γραφή

$$Y = BZ + U$$

Όπου  $Y = Y_t$ ,  $B = (\Phi(L_1), A, \Phi(L_2))$ ,  $Z = \begin{pmatrix} Y_{t-L_1} \\ X_t \\ X_{t-L_2} \end{pmatrix}$  και  $U = \varepsilon_t$ .

Εάν δεν υπάρχουν εξωγενείς μεταβλητές στο μοντέλο η μεταβλητή  $X_t$  είναι κενή.

### 3.2 Μαρκοβιανή Παλινδρόμηση Αλλαγής Καθεστώτος (Markov Switching Regression)

Τα Μαρκοβιανά Μοντέλα Παλινδρόμησης Αλλαγής Καθεστώτος, που έγιναν δημοφιλή με το άρθρο του Hamilton (1989), έχουν γίνει κυρίαρχη στρατηγική στην μακροοικονομική, αφού τα μοντέλα αυτά μπορούν με την εισαγωγή αυτοπαλινδρόμων όρων, να θεωρηθούν επέκταση των απλών μοντέλων αυτοπαλινδρόμησης.

Αρχικά για να περιγράψουμε το μοντέλο μας έχουμε την εξίσωση:

$$Y_t = a_0 + \Phi(L_1)Y_{t-L_1} + AX_t + \Phi(L_2)X_{t-L_2} + \varepsilon_t$$

Όπου,  $Y_t$  είναι η εξαρτημένη μεταβλητή,  $\Phi(L_1)$  είναι το διάνυσμα των συντελεστών υστέρησης της μεταβλητής ενδιαφέροντος,  $X_t$  είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές που επηρεάζουν τη μεταβλητή ενδιαφέροντος,  $A$  είναι το διάνυσμα των αντίστοιχων συντελεστών,  $\Phi(L_2)$  είναι το διάνυσμα συντελεστών υστέρησης (ύστερου χρόνου) των ανεξάρτητων μεταβλητών και  $\varepsilon_t$  ο λευκός θόρυβος με μηδενική μέση τιμή και διακύμανση  $\sigma^2$ .

Για να έχουμε όμως δύο καταστάσεις-καθεστώτα όσον αφορά τις μεταβλητές, κάνουμε χρήση του υποδείγματος Μαρκοβιανής Αλλαγής Καθεστώτος (Markov Regime Switching Model), όπου κατασκευάζονται συνδυάζοντας δύο στην προκειμένη περίπτωση (ή περισσότερα γενικά) δυναμικά μοντέλα, όπου η εναλλαγή από το ένα στο άλλο γίνεται μέσω του μηχανισμού αλλαγής καθεστώτος Μαρκοβιανής αλυσίδας. Έτσι κάνοντας την υπόθεση ότι οι μεταβλητές του μοντέλου μας εξαρτώνται από την κατάσταση, η προηγούμενη εξίσωση γίνεται:

$$Y_t = a_{s_t} + \Phi_{s_t}(L_1)Y_{t-L_1} + A_{s_t}X_t + \Phi_{s_t}(L_2)X_{t-L_2} + \varepsilon_t$$

(4)



όπου  $s_t$  είναι τυχαία μεταβλητή που υπόκειται σε αλλαγές με την πάροδο του χρόνου δηλαδή καθώς  $t = t_0 + 1, t_0 + 2, \dots$ . Η περιγραφή του νόμου πιθανοτήτων που διέπει τα παρατηρούμενα δεδομένα απαιτεί ένα πιθανοτικό μοντέλο που εξηγεί τη αλλαγή από  $s_t = 1$  σε  $s_t = 2$ .

Η απλούστερη γραφή είναι μια Μαρκοβιανή αλυσίδα δύο (2) καταστάσεων με:

$$\Pr(s_t = j | s_{t-1} = i, s_{t-2} = k, \dots, y_{t-1}, y_{t-2}, \dots) = \Pr(s_t = j | s_{t-1} = i) = p_{ij},$$

$$\sum_{j=1}^k p_{ij} = 1$$

Επομένως για δύο διαφορετικά καθεστάτα έχουμε τις ακόλουθες εξισώσεις παλινδρόμησης :

$$Y_t = \begin{cases} a_1 + \Phi_1(L_1)Y_{t-L_1} + A_1X_t + \Phi_1(L_2)X_{t-L_2} + \varepsilon_{t,1}, \varepsilon_{t,1} \sim N(0, \sigma_1^2) \text{ αν } s_t = 1 \\ a_2 + \Phi_2(L_1)Y_{t-L_1} + A_2X_t + \Phi_2(L_2)X_{t-L_2} + \varepsilon_{t,2}, \varepsilon_{t,2} \sim N(0, \sigma_2^2) \text{ αν } s_t = 2 \end{cases} \quad (5)$$

Οι παράμετροι που είναι απαραίτητες για την περιγραφή του νόμου πιθανοτήτων που διέπει το  $y_t$ , είναι οι διακυμάνσεις των κανονικών υπολοίπων  $\sigma_1^2$  και  $\sigma_2^2$ , τα διανύσματα των συντελεστών αυτοπαλινδρόμησης  $\Phi_1(L_1)$  και  $\Phi_2(L_1)$ , οι δύο σταθερές παράμετροι  $a_1$  και  $a_2$ , τα διανύσματα συντελεστών των εξαρτώμενων μεταβλητών  $A_1$  και  $A_2$ , τα αντίστοιχα διανύσματα συντελεστών υστέρησης (ύστερου χρόνου)  $\Phi_1(L_2)$  και  $\Phi_2(L_2)$  και οι πιθανότητες μετάβασης των δύο (2) καταστάσεων  $p_{11}$  και  $p_{22}$ .

Παρατηρούμε ότι η πιθανότητα αλλαγής καθεστώτος εξαρτάται από το παρελθόν, μονάχα μέσω της της τιμής του πιο πρόσφατου καθεστώτος (Hamilton, 1994). Η εκτίμηση των παραμέτρων του υποδείγματος πραγματοποιείται με τη Μέθοδο Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Hamilton, 1989).

Υποθέτουμε τώρα ότι η τιμή του  $y_t$  παρατηρείται άμεσα αλλά μπορούμε να συμπεράνουμε την τιμή του  $s_t$  μονάχα βασιζόμενοι στην τιμή του  $y_t$ . Αυτό το συμπέρασμα λαμβάνει τη μορφή δύο πιθανοτήτων:

$$\xi_{i,t} = \Pr(s_t = j | \Omega_t; \theta)$$

Για  $j = 1, 2, \dots$ , όπου οι πιθανότητες αυτές αθροίζουν στην μονάδα εκ κατασκευής. Το  $\Omega_t = \{y_t, y_{t-1}, \dots, y_1, y_0\}$  δηλώνει το σύνολο των παρατηρήσεων που ελήφθησαν από την

ημερομηνία  $t$  και  $\theta$  είναι ένα διάνυσμα παραμέτρων, που στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει τη μορφή  $\theta = (\alpha_1, \alpha_2, \Phi_1(L_1), \Phi_2(L_1), A_1, A_2, \Phi_1(L_2), \Phi_2(L_2), \rho_{11}, \rho_{22})'$ . Το συμπέρασμα αυτό, επαναληπτικά για  $t = 1, 2, \dots, T$  με βήμα  $t$ , δέχεται ως τιμές τις παρακάτω:

$$\xi_{i,t-1} = \Pr(s_{t-1} = i | \Omega_{t-1}; \theta)$$

Για  $i = 1, 2$ . Τα βασικά μεγέθη που απαιτούνται για να πραγματοποιηθεί αυτή η επανάληψη είναι οι πυκνότητες στα δύο καθεστώτα,

$$\begin{aligned} \eta_{jt} &= f(y_t | s_t = j, \Omega_{t-1}; \theta) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[ -\frac{(y_t - a_{s_t} - \Phi_{s_t}(L_1)Y_{t-L_1} - A_{s_t}X_t - \Phi_{s_t}(L_2)X_{t-L_2})^2}{2\sigma^2} \right] \end{aligned}$$

Για  $j = 1, 2$ . Συγκεκριμένα δεδομένων των τιμών  $\xi_{i,t-1}$  μπορούμε να υπολογίσουμε την δεσμευμένη πυκνότητα της  $t$ -στής παρατήρησης από την:

$$f(y_t | \Omega_{t-1}; \theta) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 p_{ij} \xi_{i,t-1} \eta_{jt}$$

Και τότε το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι:

$$\xi_{jt} = \frac{\sum_{i=1}^2 p_{ij} \xi_{i,t-1} \eta_{jt}}{f(y_t | \Omega_{t-1}; \theta)}$$

Ως αποτέλεσμα της εκτέλεσης αυτής της επανάληψης θα έχουμε επιτύχει την αξιολόγηση της δεσμευμένης λογαριθμικής πιθανοφάνειας των παρατηρούμενων δεδομένων.

$$\log f(y_1, y_2, \dots, y_T | y_0; \theta) = \sum_{t=1}^T \log f(y_t | \Omega_{t-1}; \theta)$$

για συγκεκριμένη τιμή του  $\theta$ . Μια εκτίμηση αυτής της τιμής μπορεί να γίνει μεγιστοποιώντας την τελευταία εξίσωση μέσω αριθμητικής βελτιστοποίησης.

Αρκετές επιλογές είναι διαθέσιμες για την τιμή του  $\xi_{i0}$  για να χρησιμοποιηθούν ως αρχική τιμή για τις επαναλήψεις. Αν η Μαρκοβιανή αλυσίδα θεωρηθεί εργοδική, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις πιθανότητες:

$$\xi_{i0} = \Pr(s_0 = i) = \frac{1 - p_{jj}}{2 - p_{ii} - p_{jj}}.$$

Άλλες εναλλακτικές είναι να θέσουμε απλά  $\xi_{i0} = 1/2$  ή να εκτιμήσουμε το  $\xi_{i0}$  μέσω της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Οι υπολογισμοί δεν αυξάνουν την πολυπλοκότητα αν θεωρήσουμε ένα  $(r \times 1)$  διάνυσμα παρατηρήσεων  $y_t$  του οποίου η πυκνότητα εξαρτάται από  $N$  διαφορετικά καθεστώτα. Για  $\Omega_t = \{y_t, y_{t-1}, \dots, y_1\}$  να είναι οι παρατηρήσεις έως χρόνο  $t$ ,  $\mathbf{P}$  είναι ένας  $(N \times N)$  πίνακας του οποίου το στοιχείο της σειράς  $j$  και στήλης  $i$  είναι η πιθανότητα  $p_{ij}$ ,  $\eta_t$  είναι ένα  $(N \times 1)$  διάνυσμα του οποίου το στοιχείο  $j$ ,  $f(y_t | s_t = j, \Omega_{t-1}; \theta)$ , είναι η πυκνότητα πιθανότητας στην κατάσταση  $j$ , και  $\hat{\xi}_{t|t}$  ένα  $(N \times 1)$  διάνυσμα του οποίου το στοιχείο  $j$  είναι  $\Pr = (s_t = j, \Omega_t, \theta)$ . Τότε οι εξισώσεις γενικεύονται ως εξής:

$$f(y_t | \Omega_{t-1}; \theta) = \mathbf{1}'(\mathbf{P}\hat{\xi}_{t-t|t-1} \odot \eta_t)$$

$$\hat{\xi}_{t|t} = \frac{\mathbf{P}\hat{\xi}_{t-t|t-1} \odot \eta_t}{f(y_t | \Omega_{t-1}; \theta)}$$

Όπου,  $\mathbf{1}$  δηλώνει ένα  $(N \times 1)$  διάνυσμα όπου κάθε του στοιχείο είναι μονάδα και  $\odot$  δηλώνει τον στοιχείο ανά στοιχείο πολλαπλασιασμό.

### 3.3 Παγκόσμιο Πολυμεταβλητό Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης (GVAR)

Η μεθοδολογία GVAR, που προτάθηκε αρχικά από τους Pesaran et al. (2004) αποτελεί έναν απλό αλλά πλήρη τρόπο ανάλυσης των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ οικονομιών ή περιοχών σε ένα περιβάλλον πολλών χωρών. Το μοντέλο GVAR υλοποιείται σε δύο βήματα. Σε ένα πρώτο βήμα υπολογίζονται ξεχωριστά μοντέλα VAR για κάθε μεμονωμένη χώρα ή περιοχή. Αυτά τα μοντέλα επαυξάνονται με κατάλληλα σταθμισμένους μέσους όρους αντίστοιχων ασθενώς εξωγενών ξένων μεταβλητών και αναφέρονται ως μοντέλα VARX. Σε ένα δεύτερο βήμα τα μεμονωμένα μοντέλα VARX συνδυάζονται μέσω μιας μήτρας (πίνακα) βαρών για την κατασκευή και την ταυτόχρονη επίλυση του συνολικού μοντέλου.

Θεωρούμε  $N$  οικονομίες καθεμία από τις οποίες περιλαμβάνει μεταβλητές  $k_i$  που παρατηρήθηκαν κατά τις χρονικές περιόδους  $t = 1, 2, \dots, T$ . Έστω  $x_{it}$  δηλώνει ένα  $(k_i \times 1)$  διάνυσμα μεταβλητών που αναφέρονται στην μονάδα  $i$  την χρονική στιγμή  $t$ , ενώ  $x_t = (x'_{1t}, x'_{2t}, \dots, x'_{Nt})$  δηλώνει ένα  $(k \times 1)$  διάνυσμα που συμπεριλαμβάνει όλες τις

μεταβλητές των χωρών, όπου  $k = \sum_{i=1}^N k_i$ . Στον πυρήνα της προσέγγισης της μεθόδου GVAR υπάρχουν μοντέλα κάθε οικονομίας που μπορούν να εκτιμηθούν ξεχωριστά. Αυτά τα μοντέλα εξηγούν τις εκάστοτε μεταβλητές της οικονομίας που εξετάζουμε κάθε φορά,  $x_{it}$ , εξαρτώμενα όμως από ξένες μεταβλητών, οι οποίες συγκεντρώνονται σε ένα ( $k^* \times 1$ ) διάνυσμα

$$x_{it}^* = \tilde{W}_i' x_t$$

Για  $i = 1, 2, \dots, N$ , όπου  $\tilde{W}_i$  είναι ένας ( $k \times k^*$ ) πίνακας βαρών ανά χώρα, που συνήθως κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας δεδομένα για το διμερές εξωτερικό εμπόριο ή τις ροές κεφαλαίων.

Το  $x_{it}$  μοντελοποιείται ως VARX\* μοντέλο, δηλαδή ένα VAR μοντέλο με ένα διάνυσμα μεταβλητών  $x_{it}^*$  και τις προηγούμενες τιμές τους,

$$x_{it} = \sum_{l=1}^{p_i} \Phi_{il} x_{i,t-l} + \Lambda_{i0} x_{it}^* + \sum_{l=1}^{q_i} \Lambda_{il} x_{i,t-l}^* + \varepsilon_{it}$$

για  $i = 1, 2, \dots, N$ , όπου  $\Phi_{il}$ ,  $l = 1, 2, \dots, p_i$ ,  $\Lambda_{il}$ , για  $l = 1, 2, \dots, q_i$ , είναι ( $k_i \times k_i$ ) και ( $k_i \times k^*$ ) πίνακες αγνώστων παραμέτρων αντίστοιχα και  $\varepsilon_{it}$  ( $k_i \times 1$ ) διάνυσμα ανεξάρτητων και ομοιόμορφα κατανεμημένων σφαλμάτων με μέση τιμή και διασπορά ( $0, \sigma^2$ ).

Έστω  $z_{it} = (x_{it}', x_{it}^*)'$  είναι  $k_i + k$  διάστασης διάνυσμα των εγχώριων και ξένων μεταβλητών που συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο της χώρας  $i$  και έτσι η προηγούμενη εξίσωση γίνεται:

$$A_{i0} z_{it} = \sum_{l=1}^p A_{il} z_{i,t-l} + \varepsilon_{it}$$

Όπου,

$$A_{i0} = (I_{k_i}, -\Lambda_{i0}), A_{il} = (\Phi_{il}, \Lambda_{il}) \text{ για } l = 1, 2, \dots, p$$

$p = \max_i(p_i, q_i)$  και ορίζουμε  $\Phi_{il} = \mathbf{0}$  για  $l > p_i$  και όμοια  $\Lambda_{il} = \mathbf{0}$  για  $l > q_i$ .

Η εκτίμηση των μοντέλων κάθε χώρας μέσω της εξίσωσης του  $x_{it}$  που δόθηκε προηγουμένως αποτελεί το πρώτο βήμα του GVAR.

Το δεύτερο βήμα της προσέγγισης του GVAR αποτελείται από το σύνολο των εκτιμώμενων μοντέλων προκειμένου να σχηματίσουμε ένα καθολικό, global VAR μοντέλο. Κάνοντας χρήση των  $((k_i + k^*) \times k)$  διαστάσεων συνδετικών πινάκων βαρών  $\mathbf{W}_i = (\mathbf{E}'_i, \bar{\mathbf{W}}'_i)$ , όπου  $\mathbf{E}_i$  είναι  $(k \times k_i)$  πίνακας συντελεστών, δηλαδή  $\mathbf{x}_{it} = \mathbf{E}'_i \mathbf{x}_t$ , ενώ  $\bar{\mathbf{W}}'_i$  είναι ο πίνακας βαρών που είδαμε και προηγουμένως. Έχουμε λοιπόν:

$$\mathbf{z}_{it} = (\mathbf{x}'_{it}, \mathbf{x}^*{}'_{it})' = \mathbf{W}_i \mathbf{x}_t$$

Με τη βοήθεια των προηγούμενων εξισώσεων έχουμε:

$$\mathbf{A}_{i0} \mathbf{W}_i \mathbf{x}_t = \sum_{l=1}^p \mathbf{A}_{il} \mathbf{W}_i \mathbf{x}_{t-l} + \varepsilon_{it}$$

και συγκεντρώνοντας όλα αυτά τα μοντέλα μαζί για  $i = 1, 2, \dots, N$  έχουμε:

$$\mathbf{G}_0 \mathbf{x}_t = \sum_{l=1}^p \mathbf{G}_l \mathbf{x}_{t-l} + \varepsilon_t$$

(6)

Όπου  $\varepsilon_t = (\varepsilon'_{1t}, \varepsilon'_{2t}, \dots, \varepsilon'_{Nt})$ , και:

$$\mathbf{G}_l = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_{1,l} \mathbf{W}_1 \\ \mathbf{A}_{2,l} \mathbf{W}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{A}_{N,l} \mathbf{W}_N \end{pmatrix}$$

Εάν ο πίνακας  $\mathbf{G}_0$  είναι αντιστρέψιμος, τότε πολλαπλασιάζοντας με τον αντίστροφο του λαμβάνουμε τη λύση του GVAR μοντέλου ως εξής:

$$\mathbf{x}_t = \sum_{l=1}^p \mathbf{F}_l \mathbf{x}_{t-l} + \mathbf{G}_0^{-1} \varepsilon_t$$

(7)

Όπου  $\mathbf{F}_l = \mathbf{G}_0^{-1} \mathbf{G}_l$  για  $l = 1, 2, \dots, p$ .

### 3.4 MS – GVAR Υπόδειγμα

Στην παρούσα εργασία προτείνεται ο συγκερασμός των παραπάνω μεθόδων, δηλαδή της μεθόδου Markov-Switching και της Global VAR. Η διαφοροποίηση τώρα είναι πως για τα αντίστοιχα VARX\* μοντέλα στην προσέγγιση GVAR, θα έχουμε δύο (2) καθεστώτα (regimes), δηλαδή:

$$x_{it} = \begin{cases} a_1 + \sum_{l=1}^{p_i} \Phi_{1,il} x_{i,t-l} + \Lambda_{1,i0} x_{it}^* + \sum_{l=1}^{q_i} \Lambda_{1,il} x_{i,t-l}^* + \varepsilon_{t,1}, \varepsilon_{t,1} \sim N(0, \sigma_1^2) \text{ αν } s_t = 1 \\ a_2 + \sum_{l=1}^{p_i} \Phi_{2,il} x_{i,t-l} + \Lambda_{2,i0} x_{it}^* + \sum_{l=1}^{q_i} \Lambda_{2,il} x_{i,t-l}^* + \varepsilon_{t,2}, \varepsilon_{t,2} \sim N(0, \sigma_2^2) \text{ αν } s_t = 2 \end{cases}$$

όπου  $a_1, a_2$  διανύσματα των σταθερών όρων αντίστοιχα και  $\Phi_{1,il}, \Lambda_{1,i0}, \Lambda_{1,il}$  τώρα αφορούν μόνο την κατάσταση όπου  $s_t = 1$  και αντίστοιχα  $\Phi_{2,il}, \Lambda_{2,i0}, \Lambda_{2,il}$  για  $s_t = 2$ .

Έτσι, στη συνέχεια κινούμαστε αντίστοιχα με την προσέγγιση GVAR και έπειτα αφού συγκεντρώσουμε όλα τα μοντέλα έχουμε:

$$\begin{cases} \mathbf{G}_{1,0} \mathbf{x}_t = \sum_{l=1}^p \mathbf{G}_{1,l} \mathbf{x}_{t-l} + \varepsilon_{t,1}, \varepsilon_{t,1} \sim N(0, \sigma_1^2) \text{ αν } s_t = 1 \\ \mathbf{G}_{2,0} \mathbf{x}_t = \sum_{l=1}^p \mathbf{G}_{2,l} \mathbf{x}_{t-l} + \varepsilon_{t,2}, \varepsilon_{t,2} \sim N(0, \sigma_2^2) \text{ αν } s_t = 2 \end{cases}$$

(8)

Και η λύση είναι:

$$\mathbf{x}_t = \begin{cases} \sum_{l=1}^p \mathbf{F}_{1,l} \mathbf{x}_{t-l} + \mathbf{G}_{1,0}^{-1} \varepsilon_{t,1} \text{ αν } s_t = 1 \\ \sum_{l=1}^p \mathbf{F}_{2,l} \mathbf{x}_{t-l} + \mathbf{G}_{2,0}^{-1} \varepsilon_{t,2} \text{ αν } s_t = 2 \end{cases}$$

(9)

όπου  $\mathbf{F}_{1,l} = \mathbf{G}_{1,0}^{-1} \mathbf{G}_{1,l}$  και  $\mathbf{F}_{2,l} = \mathbf{G}_{2,0}^{-1} \mathbf{G}_{2,l}$  για  $l = 1, 2, \dots, p$ .

Υποθέτουμε τώρα ότι η τιμή του  $\mathbf{x}_t$  παρατηρείται άμεσα αλλά μπορούμε να συμπεράνουμε την τιμή του  $s_t$  μονάχα βασιζόμενοι στην τιμή του  $\mathbf{x}_t$ . Αυτό το συμπέρασμα λαμβάνει την μορφή δύο πιθανοτήτων:

$$\xi_{it} = \Pr(s_t = j | \Omega_t; \theta)$$

Για  $j = 1, 2, \dots$  όπου οι πιθανότητες αυτές αθροίζουν στην μονάδα εκ κατασκευής. Το  $\Omega_t = \{x_t, x_{t-1}, \dots, x_1, x_0\}$  δηλώνει το σύνολο των παρατηρήσεων που ελήφθησαν από την ημερομηνία  $t$  και  $\theta$  είναι ένα διάνυσμα παραμέτρων, που στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει τη μορφή  $\theta = (\alpha_1, \alpha_2, \Phi_{1,il}, \Phi_{2,il}, \Lambda_{1,i0}, \Lambda_{2,i0}, \Lambda_{1,il}, \Lambda_{2,il}, p_{11}, p_{22})'$ . Το συμπέρασμα αυτό, επαναληπτικά για  $t = 1, 2, \dots, T$  με βήμα  $t$  δέχεται ως τιμές τις παρακάτω:

$$\xi_{i,t-1} = \Pr(s_{t-1} = i | \Omega_{t-1}; \theta)$$

Για  $i = 1, 2$ . Τα βασικά μεγέθη που απαιτούνται για να πραγματοποιηθεί αυτή η επανάληψη είναι οι πυκνότητες στα δύο (2) καθεστώτα,

$$\begin{aligned} \eta_{jt} &= f(x_t | s_t = j, \Omega_{t-1}; \theta) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[ -\frac{(x_t - a_{s_t} - \Phi_{s_t,il} x_{i,t-1} - \Lambda_{s_t,i0} x_{it}^* - \Lambda_{s_t,il} x_{i,t-1}^*)^2}{2\sigma^2} \right] \end{aligned}$$

Για  $j = 1, 2$ . Συγκεκριμένα, δεδομένων των τιμών  $\xi_{i,t-1}$  μπορούμε να υπολογίσουμε τη δεσμευμένη πυκνότητα της  $t$ -στής παρατήρησης από τη σχέση:

$$f(x_t | \Omega_{t-1}; \theta) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 p_{ij} \xi_{i,t-1} \eta_{jt}$$

Και τότε το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι:

$$\xi_{jt} = \frac{\sum_{i=1}^2 p_{ij} \xi_{i,t-1} \eta_{jt}}{f(x_t | \Omega_{t-1}; \theta)}$$

Ως αποτέλεσμα της εκτέλεσης αυτής της επανάληψης θα έχουμε επιτύχει την αξιολόγηση της δεσμευμένης λογαριθμικής πιθανοφάνειας των παρατηρούμενων δεδομένων.

$$\log f(x_1, x_2, \dots, x_T | x_0; \theta) = \sum_{t=1}^T \log f(x_t | \Omega_{t-1}; \theta)$$

για συγκεκριμένη τιμή του  $\theta$ . Μια εκτίμηση αυτής της τιμής μπορεί να γίνει μεγιστοποιώντας την τελευταία εξίσωση μέσω αριθμητικής βελτιστοποίησης.

Αρκετές επιλογές είναι διαθέσιμες για την τιμή του  $\xi_{i0}$  για να χρησιμοποιηθούν ως αρχική τιμή για τις επαναλήψεις. Αν η Μαρκοβιανή αλυσίδα θεωρηθεί εργοδική, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις πιθανότητες:

$$\xi_{i0} = \Pr(s_0 = i) = \frac{1 - p_{jj}}{2 - p_{ii} - p_{jj}}.$$

Άλλες εναλλακτικές είναι να θέσουμε απλά  $\xi_{i0} = 1/2$  ή να εκτιμήσουμε το  $\xi_{i0}$  μέσω της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Οι υπολογισμοί δεν αυξάνουν την πολυπλοκότητα αν θεωρήσουμε ένα  $(r \times 1)$  διάνυσμα παρατηρήσεων  $y_t$  του οποίου η πυκνότητα εξαρτάται από  $N$  διαφορετικά καθεστώτα. Για  $\Omega_t = \{x_t, x_{t-1}, \dots, x_1\}$  να είναι οι παρατηρήσεις έως χρόνο  $t$ ,  $\mathbf{P}$  είναι ένας  $(N \times N)$  πίνακας του οποίου το στοιχείο της σειράς  $j$  και στήλης  $i$  είναι η πιθανότητα  $p_{ij}$ ,  $\boldsymbol{\eta}_t$  είναι ένα  $(N \times 1)$  διάνυσμα του οποίου το στοιχείο  $j$ ,  $f(x_t | s_t = j, \Omega_{t-1}; \boldsymbol{\theta})$ , είναι η πυκνότητα πιθανότητας στην κατάσταση  $j$ , και  $\hat{\boldsymbol{\xi}}_{t|t}$  ένα  $(N \times 1)$  διάνυσμα του οποίου το στοιχείο  $j$  είναι  $\Pr = (s_t = j, \Omega_t, \boldsymbol{\theta})$ . Τότε, οι εξισώσεις (8) και (9) γενικεύονται ως εξής:

$$f(x_t | \Omega_{t-1}; \boldsymbol{\theta}) = \mathbf{1}' (\mathbf{P} \hat{\boldsymbol{\xi}}_{t-t|t-1} \odot \boldsymbol{\eta}_t)$$

$$\hat{\boldsymbol{\xi}}_{t|t} = \frac{\mathbf{P} \hat{\boldsymbol{\xi}}_{t-t|t-1} \odot \boldsymbol{\eta}_t}{f(x_t | \Omega_{t-1}; \boldsymbol{\theta})}$$

Όπου,  $\mathbf{1}$  δηλώνει ένα  $(N \times 1)$  διάνυσμα όπου κάθε του στοιχείο είναι μονάδα και  $\odot$  δηλώνει πολλαπλασιασμό στοιχείο ανά στοιχείο.

### 3.5 Κυρίαρχες Οντότητες Δικτύου (Dominant Entities in the network)

Προκειμένου να προσδιορίσουμε τον αριθμό των κυρίαρχων οντοτήτων στο δίκτυο ακολουθούμε τους Konstantakis et al. (2015) και Tsionas, Konstantakis, and Michaelides (2016), διερευνώντας την κατανομή ιδιοτιμών ενός πίνακα ( $\mathbf{Q}$ ) που αντιπροσωπεύει τις ανταλλάξιμες ποσότητες μεταξύ των οικονομιών:

$$\mathbf{Q} \equiv \begin{pmatrix} \mathbf{q}_1 & \cdots & \mathbf{q}_{1(N+K)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{q}_{(N+K)1} & \cdots & \mathbf{q}_{(N+K)(N+K)} \end{pmatrix} \equiv \mathbf{W} \mathbf{x}_t = \begin{pmatrix} \mathbf{0} \mathbf{w}_{1,2} & \cdots & \mathbf{w}_{1,N+K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{w}_{N+K,1} & \cdots & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ \cdots \\ x_{N+K,t} \end{pmatrix}$$

(10)



όπου το  $x_t$  δηλώνει ένα  $(N+K) \times 1$  διάνυσμα εκροών και το  $W$  δηλώνει τον πίνακα εμπορικού βάρους  $(N+K) \times (N+K)$  και το στοιχείο  $q_{ij}$  του πίνακα  $Q$  εκφράζει την ποσότητα της παραγωγής που ρέει από την οικονομία  $i$  στην οικονομία  $j$ . Τα στοιχεία της σειράς εκφράζουν τις ποσότητες που παρέχονται από μια οικονομία σε όλες τις άλλες. Τα στοιχεία στήλης εκφράζουν ποσότητες που λαμβάνονται από μια οικονομία από όλες τις άλλες. Ως εκ τούτου:  $q_{ii} = 0$ .

Με βάση την εργασία του Brody (1997), η συμπεριφορά των συστημάτων που περιγράφουν οικονομικές διασυνδέσεις εξαρτάται από την αναλογία του συντελεστή μέτρησης των υποδεέστερων ιδιοτιμών προς την κυρίαρχη, έτσι ώστε ένας λόγος κοντά στο μηδέν συνεπάγεται αμελητέα ισχύ αυτής της οικονομίας. Σε αυτό το πλαίσιο, εάν  $\lambda(pf) = \lambda(1)$ , υποδηλώνει την κυρίαρχη ιδιοτιμή του  $Q$  και οι κανονικοποιημένες ιδιοτιμές:

$$p(i) \equiv \frac{\lambda(i)}{\lambda(pf)}, i = 1, \dots, N + K, \text{ είναι οι μη-κυρίαρχες κανονικοποιημένες ιδιοτιμές}$$

Ο αριθμός των κυρίαρχων οικονομιών είναι  $i^*$ , τέτοιος ώστε  $p(i^*) > 0.4$ , αφού οι τιμές  $< 0.40$  θεωρούνται αμελητέες, Brody (1997), Mariolis and Tsoulfidis (2014).

Έχοντας επιλέξει τον αριθμό των κυρίαρχων οντοτήτων στο μοντέλο μας, πρέπει να προσδιορίσουμε ποιες από τις οικονομίες που εισέρχονται στο μοντέλο ενεργούν ως κυρίαρχες οντότητες, ακολουθώντας τους Konstantakis et al. (2015) και Tsionas, Konstantakis, and Michaelides (2016). Σε αυτή την εργασία, βασισμένη στην έννοια της κεντρικότητας, Freeman (1978), εξετάζουμε ποιες οικονομίες είναι κυρίαρχες, χρησιμοποιώντας ένα κύριο μέτρο θεωρίας κόμβων, την ‘κεντρικότητα βαθμού’.

Ο βαθμός κεντρικότητας ενός κόμβου δείχνει πόσο συνδεδεμένος είναι ένας κόμβος με τους υπόλοιπους κόμβους του γραφήματος (βλέπε Fan et al., 2014, Bates, Angeon, and Ainouche, 2014).

Η κεντρική θέση,  $c_i$ , κάθε κόμβου δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$c_i = d(i) \sum_{j=1}^{N+K} z_{ij}$$

(11)

όπου  $d(i)$  είναι ο βαθμός κάθε κόμβου, ο οποίος αντιπροσωπεύει τον αριθμό των δεσμών με τους υπόλοιπους κόμβους (Fagiolo et al, 2008), και  $z_{ij}$  αντιπροσωπεύουν τις αντίστοιχες ροές μεταξύ των διαφόρων κόμβων που προέρχονται από τον πίνακα εισόδου εξόδου του Leontief. Οι κυρίαρχες οντότητες είναι αυτές που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη κεντρικότητα-κεντρική θέση.

### 3.6 Συναρτήσεις Αιφνίδιων Αποκρίσεων (GIRFs)

Εξετάζουμε τα δυναμικά χαρακτηριστικά του GVAR μοντέλου μας μέσω των λεγόμενων Γενικευμένων Συναρτήσεων Αιφνίδιων Αποκρίσεων (Generalized Impulse Response Functions) σύμφωνα με τους Koop et al. (1996) και Pesaran and Shin (1998). Η συνάρτηση αιφνίδιων αποκρίσεων προσδιορίζει την επίδραση που έχει στις ενδογενείς μεταβλητές του συστήματος μία τυχαία, αιφνίδια διαταραχή στις μεταβλητές. Οι διαταραχές αυτές εκφράζονται συνήθως σε όρους τυπικών αποκλίσεων. Εξετάζουμε λοιπόν, πως μια διαταραχή (shock) σε κάθε μεταβλητή μπορεί να επηρεάσει τις υπόλοιπες μεταβλητές του μοντέλου μας αλλά και τη χρονική έκταση της διαταραχής στην οικονομία. Η συνάρτηση έχει την εξής μορφή:

$$I_{j(n)} = \sigma_{jj}^{-1/2} + B_n \Sigma e_j \quad \forall n = 1, 2, \dots$$

(12)

όπου  $I_{j(n)}$  είναι η συνάρτηση αιφνίδιων αποκρίσεων  $n$  περιόδους μετά από τη διαταραχή κατά μια μονάδα τυπικής αποκλίσεως,  $\sigma_{jj}$  είναι το στοιχείο της  $j$  γραμμής και  $j$  στήλης του πίνακα διασποράς-συνδιακύμανσης  $\Sigma$  του κατώτερου πίνακα Cholesky του όρου σφάλματος, για τον οποίο θεωρείται κανονική κατανομή,  $B$  είναι ο πίνακας συντελεστών του μοντέλου και  $e_j$  μοναδιαίος πίνακας.

## 4. ΕΜΠΕΙΡΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Δεδομένα και μεταβλητές

Χρησιμοποιούμε δεδομένα σε ημερήσια συχνότητα για την περίοδο Νοέμβριος 2019 – Ιανουάριος 2021, που αποτέλεσε το πρώτο κύμα της πανδημίας Covid-19 και αφορούν τις χώρες Κίνα, Ιαπωνία, Νότια Κορέα, Μαλαισία, Φιλιππίνες και Ινδονησία, δηλαδή μεγάλες, αναδύμενες οικονομίες οι οποίες έχουν σημαντική επιρροή τόσο στην Ασία όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Το μοντέλο που θα χρησιμοποιήσουμε περιλαμβάνει (3) ειδικές μεταβλητές που αφορούν την οικονομία για κάθε χώρα προκειμένου να εκτιμηθούν με συνέπεια τα τελικά αποτελέσματα. Οι μεταβλητές αυτές είναι οι αποδόσεις των χρηματιστηριακών δεικτών, οι αποδόσεις ομολόγων 10 ετών και οι συνολικοί θάνατοι από τη νόσο Covid-19.

Επίσης, στο μοντέλο συμπεριελήφθησαν και οι μεταβλητές για την τιμή του αργού πετρελαίου (WTI) και ο δείκτης μεταβλητότητας (VIX) του Chicago Board Options Exchange (CBOE).

Οι αποδόσεις (returns), της εκάστοτε μεταβλητής υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$Returns_p = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right), t = 1, \dots, T \quad (13)$$

Τα δεδομένα αντλήθηκαν από yahoo finance εκτός των ομολόγων που αντλήθηκαν από το Wall Street Journal (WSJ) και των θανάτων από Covid-19 που αντλήθηκαν από το Oxford Martin School -University of Oxford. Οι συντελεστές στάθμισης (βλ. Πίνακα 5) υπολογίζονται με βάση τα στοιχεία του Διεθνούς Νομισματικού Ταμείου, ακριβώς από τον Πίνακα 8 της Συντονισμένης Έρευνας Επενδύσεων Χαρτοφυλακίου του ΔΝΤ ([IMF data](#)).

Τα περιγραφικά στατιστικά μεγέθη των μεταβλητών παρατίθενται στα διαγράμματα της επόμενης παραγράφου. Αρχικά, για τις αστάθμητες μεταβλητές, αυτές εκφράζονται σε αποδόσεις και έπειτα για τις μεταβλητές που αφορούν τους θανάτους της Covid-19.

*Πίνακας 1: Περιγραφική στατιστική μεταβλητών*

Variables	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max	p1	p99	Skew.	Kurt.
Index_CHN	457	0	.009	-.046	.028	-.038	.021	-.914	8.073
Index_JPN	457	0	.011	-.063	.077	-.037	.031	.497	13.903
Index_KOR	457	.001	.013	-.088	.083	-.037	.039	.043	13.927
Index_MYS	457	0	.009	-.054	.066	-.021	.025	.623	14.417
Index_PHL	457	0	.015	-.143	.072	-.04	.047	-2.262	27.467
Index_IDN	457	0	.011	-.053	.05	-.035	.034	-.359	8.549
WTI	457	-.001	.047	-.21	.349	-.136	.153	1.194	12.706
VIX	457	.002	.067	-.266	.48	-.141	.235	1.881	13.999
Bond_CHN	458	3.024	.232	2.492	3.346	2.527	3.33	-.657	2.219
Bond_JPN	458	0	.045	-.18	.091	-.154	.069	-1.626	5.939
Bond_KOR	458	1.563	.141	1.295	1.875	1.31	1.847	.028	1.889
Bond_MYS	458	2.92	.314	2.385	3.625	2.495	3.585	.635	2.016
Bond_PHL	458	3.535	.822	0	5.65	2.18	5.1	.081	3.081
Bond_IDN	458	6.939	.562	5.89	8.3	5.94	8.155	.403	2.731

*Πίνακας 2: Περιγραφική στατιστική μεταβλητών*

Variables	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max	p1	p99	Skew.	Kurt.
Total_deaths_CHN	376	4165.755	1162.115	17	4779	42	4773	-2.25198	7.264479
Total_deaths_JPN	354	1426.328	1254.902	1	5753	1	5501	1.385566	4.801916
Total_deaths_KOR	347	411.0663	305.1002	1	1425	6	1399	1.733611	5.797524
Total_deaths_MYS	321	212.9502	168.2429	2	760	3	717	1.399186	4.061471
Total_deaths_PHL	365	3709.222	3548.767	1	10749	1	10552	.5333746	1.706932
Total_deaths_IDN	327	9025.391	8261.974	1	29998	5	29331	.7587875	2.488716

Παρατηρούμε στον Πίνακα 1, πως οι μέσοι όροι όλων των τιμών των μετοχών κυμαίνονται στο μηδέν με αντίστοιχα μικρές τυπικές αποκλίσεις της τάξης του ενός εκατοστού, ενώ παρόμοια κινούνται και οι δείκτες WTI και VIX αλλά με μεγαλύτερες

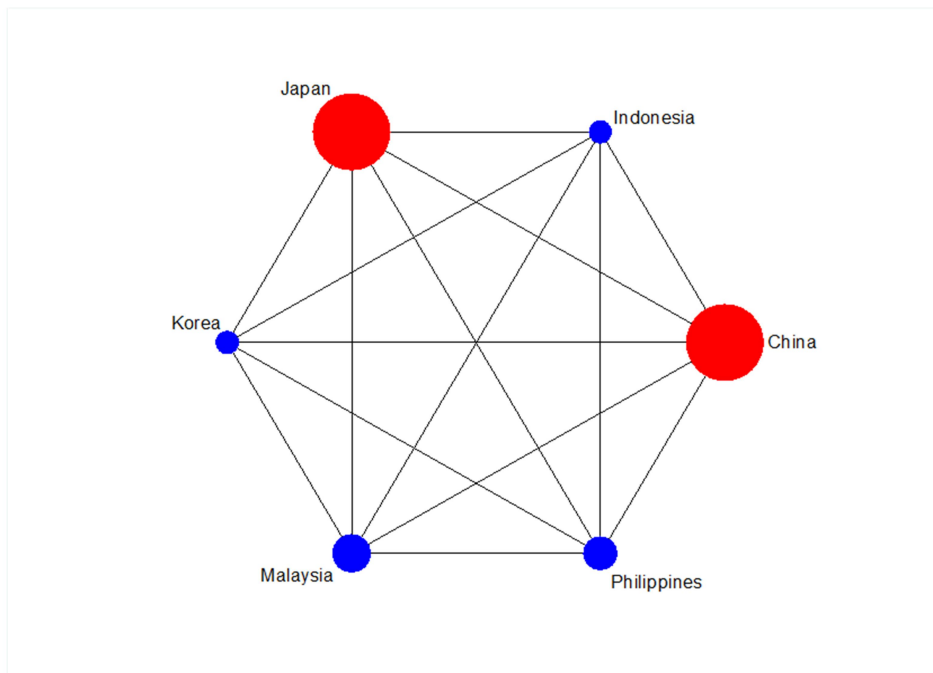
τυπικές αποκλίσεις της τάξης των πέντε εκατοστών. Από την άλλη πλευρά, οι μέσες τιμές των αποδόσεων των ομολόγων εμφανίζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις με τη μικρότερη τιμή να είναι αυτή της Ιαπωνίας με μηδενικό μέσο όρο και τη μικρότερη τυπική απόκλιση που αγγίζει τη μισή μονάδα, ενώ η Ινδονησία έχει τη μεγαλύτερη μέση τιμή που πλησιάζει τις επτά μονάδες, με τυπική απόκλιση ακριβώς άνω της μισής μονάδας, οι υπόλοιπες χώρες, Νότια Κορέα, Μαλαισία, Κίνα και Φιλιππίνες βρίσκονται ανάμεσα με αύξουσα τιμή αντίστοιχη της σειράς που αναφέρονται.

Όσον αφορά τις τιμές για τους ημερήσιους συνολικούς θανάτους που οφείλονταν στην Covid-19, βλέπουμε πως η μικρότερη τιμή παρουσιάζεται στη Μαλαισία στις διακόσιες δώδεκα μονάδες, ενώ αισθητά μεγαλύτερη είναι η αντίστοιχη τιμή για την Ινδονησία που ξεπερνά τις εννέα χιλιάδες μονάδες.

## 4.2 Εμπειρικά Αποτελέσματα

### 4.2.1 Κυρίαρχες Οικονομίες (Dominant Economies)

Η δομή δικτύου του μοντέλου μας απεικονίζεται παρακάτω. Σύμφωνα με την ανάλυσή μας, το δίκτυο έχει μια 'κυκλική' δομή αφού όλες οι οικονομίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Επιπλέον, οι οικονομίες της Κίνας και της Ιαπωνίας απεικονίζονται ως οι μεγαλύτερες οικονομίες στο δίκτυο με βάση την κεντρική τους θέση. Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται και οι τιμές της κεντρικότητας.



Σχήμα 1: Διάγραμμα Κεντρικότητας

Προκειμένου να διασταυρωθούν τα ευρήματα που προκύπτουν μέσω του βαθμού διεισδυτικότητας κάθε κόμβου στο δίκτυο, χρησιμοποιούμε τις μεθοδολογίες για την επιλογή των κυρίαρχων οντοτήτων που προτείνονται στους Tsionas, Konstantakis, and Michaelides (2016), και Konstantakis et al. (2015).

Σε αυτό το πλαίσιο, κατασκευάζουμε τον πίνακα Q και υπολογίζουμε τις κανονικοποιημένες ιδιοτιμές του αντίστοιχου πίνακα, βλέπε Πίνακα 3. Σύμφωνα με τα ευρήματά μας, υπάρχουν δύο κυρίαρχες οικονομίες για τις οποίες  $p(i^*) > 0.4$  ( $p_1=1$ ,  $p_2=0.53$ ).

*Πίνακας 3: Ιδιοτιμές*

Eigenvalues	Measure	Normalized
0.074	0.074	1
- 0.039	0.039	0.530
- 0,015 + 0,0047i	0.016	0.216
- 0,015 - 0,0047i	0.016	0.216
- 0,0021 + 0,0055i	0.006	0.080
- 0,0021 - 0,00545i	0.006	0.080

*Πίνακας 4: Κεντρικότητα*

Economy	Degree Centrality
CHN	0.044
IDN	0.024
JPN	0.054
KOR	0.023
MYS	0.041
PHL	0.030

#### 4.2.2 Πίνακας Βαρών (Weight Matrix)

Ο πίνακας βαρών που κατασκευάσαμε από τα στοιχεία του Διεθνούς Νομισματικού Ταμείου και μέσω Coordinated Portfolio Investment Survey του ΔΝΤ παρατίθεται παρακάτω:

Ο παρακάτω πίνακας χρησιμοποιήθηκε για να σταθμίσουμε τα δεδομένα μας.

*Πίνακας 5: Πίνακας βαρών*

	CHINA	KOREA	JAPAN	INDONESIA	MALAYSIA	PHILIPPINES	REST OF THE WORLD
CHINA	0.000	0.046	0.057	0.002	0.025	0.000	0.869
KOREA	0.046	0.000	0.017	0.005	0.014	0.001	0.916
JAPAN	0.057	0.017	0.000	0.029	0.013	0.010	0.874
INDONESIA	0.002	0.005	0.029	0.000	0.013	0.011	0.940
MALAYSIA	0.025	0.014	0.013	0.013	0.000	0.005	0.928
PHILIPPINES	0.000	0.001	0.010	0.011	0.005	0.000	0.973

Μεγαλύτερη διασύνδεση λοιπόν, φαίνεται να υπάρχει μεταξύ της Κίνας και της Ιαπωνίας, το οποίο είναι πλήρης και λογικό, καθώς είναι οι δύο ισχυρές-επικρατούσες οικονομίες στο παράδειγμά μας, ενώ υψηλή διασύνδεση είναι και αυτή της Κίνας - Νότιας Κορέας. Από την άλλη μεριά, κάποιες σχεδόν μηδαμινές διασυνδέσεις είναι αυτές των: Κίνα – Ινδονησία, Νότια Κορέα – Φιλιππίνες και Φιλιππίνες – Μαλαισία.

#### 4.2.3 Αποτελέσματα Μαρκοβιανής Παλινδρόμησης Αλλαγής Καθεστώτος (Markov Switching results)

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα έπειτα από τη Μαρκοβιανή Παλινδρόμηση Αλλαγής Καθεστώτος (MSR), τα οποία διαχωρίζονται σε αυτά της χαμηλής μεταβλητότητας και υψηλής μεταβλητότητας, αντίστοιχα.



Πίνακας 6: Χαμηλή Μεταβλητότητα

Economy	Variables	CHN		IDN		JPN		KOR		MYS		PHL		Global Variables		
		Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	VIX	WTI	T. Deaths
CHN	Stocks		-0.38	0.052	0.95	0.061	0.012	0.19	-0.31	0.15***	-0.26	-0.037	1.21	0.0014	0.014**	-0.00000074*
	Bond	-0.0024		-0.0011	-0.91***	-0.0094**	0.15***	0.013	0.16***	0.0041	0.097**	2.90E-05	0.28	-0.053**	-0.048	-6.60E-07
IDN	Stocks	50.68***	348.82***		-0.12	6.69	-1.96	64.01***	-35.48	12.31***	13.85	32.37***	-238.03	-0.015	0.014	-8.45E-08
	Bond	-0.73	-2.37	0.00025		-0.068	3.33***	0.42	-0.075	0.27*	17.58***	-0.011	-2.15	-0.22**	0.14	-3.41E-05
JPN	Stocks	0.062	-0.24	-0.32	1.43*		0.29*	0.65	0.45**	0.15***	-0.16	-0.16	-4.58***	0.0055	0.025***	-5.30E-07
	Bond	0.053	0.061	-0.034	-1.48***	0.052**		-0.12**	0.44***	-0.023	-0.41	0.052*	0.37	-0.0062	0.018	0.0000101***
KOR	Stocks	3.94***	11.32***	64.60**	-172.89	31.03***	-18.35**		-0.22	3.62	-14.69	133.75	-774.69	-0.0032	0.0017	9.10E-06
	Bond	-0.11	-0.29	2.52	24.87	0.48	2.58	-0.023		-0.092	-6.36	-2.48	2454.84***	0.051**	0.078**	0.00029***
MYS	Stocks	2.17	4.17	15.15	14.42	-4.89	17.81	-28.22**	28.62		1.19	110.99***	-391.54	-0.0016	-0.0023	3.80E-06
	Bond	0.0022	-0.12	-0.67	34.61***	0.96	-5.68***	0.29	7.15***	0.0039		1.022	363.27***	0.11*	0.015	0.00047***
PHL	Stocks	-220.97	-9122.96***	8.72	67.38	6.02	1.16	361.84***	113.12	23.12***	-71.78		1.72**	-0.00067	-0.0018	-1.70E-08
	Bond	-1.74	-65.83***	-0.42	4.044**	0.078	0.071	-11.31	177.44***	-0.48**	32.89***	0.0028*		-0.24	-0.21	-0.000087***

\*Statistically significant at the 10%

\*\* Statistically significant at the 5%

\*\*\* Statistically significant at the 1%

Πίνακας 7: Υψηλή Μεταβλητότητα

Economy	Variables	CHN		IDN		JPN		KOR		MYS		PHL		Global Variables		
		Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	VIX	WTI	T. Deaths
CHN	Stocks		1.98***	0.29**	0.14	-0.035	-0.19	0.28	-1.12**	-0.18	-1.74**	-0.018	-2.12	0.0014	0.014**	-0.00000074*
	Bond	-0.071***		0.006	-0.99***	0.0057	0.14***	-0.0037	0.12	0.012**	-0.23**	0.036***	-0.35	-0.053**	-0.048	-6.60E-07
IDN	Stocks	531.66***	25.58		0.13	-2.57	-5.43	9.15	-45.77	23.46***	32.27	63.08***	231.37	-0.015	0.014	-8.45E-08
	Bond	-15.42***	-4.83**	-0.0048*		0.16	1.93***	0.043	-1.15	-0.23	24.70***	-0.32	-5.36	-0.22**	0.14	-3.40E-05
JPN	Stocks	-1.31***	-0.82**	0.29	-0.054		0.16	0.49	-0.23	-0.068	-0.0095	0.33***	-0.57	0.0056	0.025***	-5.30E-07
	Bond	0.21***	0.39***	-0.053	2.10***	0.049		0.0035	-0.32	0.11**	1.027***	-0.018	-1.99	-0.0062	0.018	0.0000101***
KOR	Stocks	5.75***	-25.15***	-4.66	-58.27	20.69***	29.88**		0.53	13.51***	-10.22	1727.51***	6285.85	-0.0032	0.0017	9.10E-06
	Bond	0.44*	0.29	-4.30*	8.042	0.59	5.36***	0.0099		-2.12**	29.11**	2.89	5436.96***	0.051**	0.078**	0.00029***
MYS	Stocks	46.94***	-10.57	23.42*	-52.26	29.13***	21.66	32.16**	18.69		0.4	-185.93***	-274.98	-0.0016	-0.0023	3.80E-06
	Bond	0.97**	-1.69***	0.27	42.26***	-1.33*	4.17**	0.055	19.35***	0.015		-2.81	301.61***	0.11*	0.015	0.00047***
PHL	Stocks	-13548.95***	8175.11**	31.019***	-37.07	-21.22***	-0.0086	72.14	103.26	23.12***	-31.88		-1.65	-0.00067	-0.0018	-1.80E-08
	Bond	-256.38***	204.32*	0.71**	-4.99	-0.28	-4.99***	4.29	67.37***	-0.48**	17.45***	-0.0072**		-0.24	-0.21	-0.000087***

\*Statistically significant at the 10%

\*\* Statistically significant at the 5%

\*\*\* Statistically significant at the 1%

Παρακάτω βλέπουμε με ανοικτό κόκκινο χρώμα, τους συντελεστές που είναι στατιστικά σημαντικοί.

*Πίνακας 8: Στατιστική Σημαντικότητα Χαμηλής Μεταβλητότητας*

Economy	Variables	CHN		IDN		JPN		KOR		MYS		PHL		Global Variables		
		Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	VIX	WTI	T. Deaths
CHN	Stocks															
	Bond															
IDN	Stocks															
	Bond															
JPN	Stocks															
	Bond															
KOR	Stocks															
	Bond															
MYS	Stocks															
	Bond															
PHL	Stocks															
	Bond															

*Πίνακας 9: Στατιστική Σημαντικότητα Υψηλής Μεταβλητότητας*

Economy	Variables	CHN		IDN		JPN		KOR		MYS		PHL		Global Variables		
		Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	Stocks	Bond	VIX	WTI	T. Deaths
CHN	Stocks															
	Bond															
IDN	Stocks															
	Bond															
JPN	Stocks															
	Bond															
KOR	Stocks															
	Bond															
MYS	Stocks															
	Bond															
PHL	Stocks															
	Bond															

Παρατηρούμε πως υπάρχουν αρκετά στατιστικά σημαντικά μεγέθη, κυρίως σε καταστάσεις υψηλής μεταβλητότητας, που μπορούν να επηρεάσουν την εκάστοτε μεταβλητή.

Οι παγκόσμιες μεταβλητές (Global variables), VIX, WTI και T. Deaths καθώς δεν επηρεάζονται από το καθεστώς (regime), διατηρούν τη στατιστική σημαντικότητα τους ίδια ανάμεσα στα καθεστώτα.

#### 4.2.4 Πιθανότητες Μετάβασης και Διάρκεια (Transition and Duration)

Τώρα, παρουσιάζονται οι αναμενόμενες πιθανότητες μετάβασης, για κάθε οικονομία, από την εκάστοτε κατάσταση τη χρονική στιγμή  $t$ , στην κατάσταση την χρονική στιγμή  $t + 1$ . Για παράδειγμα, η  $p_{12}$  υποδηλώνει την πιθανότητα η διαδικασία να περάσει από την κατάσταση 1 τη χρονική στιγμή  $t$  στην κατάσταση 2 την στιγμή  $t + 1$ .

Στη συνέχεια, βλέπουμε και τα διαγράμματα τα οποία εκφράζουν κατά την εξέλιξη του χρόνου την πιθανότητα να βρίσκεται στην αντίστοιχη κατάσταση η διαδικασία, για μετοχές και ομόλογα.

*Πίνακας 10: Χρηματιστήριο Κίνας, πιθανότητες μετάβασης*

Number of obs = 376

Transition	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
<b>Probabilities</b>				
p11	0.491	0.109	0.292	0.693
p12	0.509	0.109	0.307	0.708
p21	0.047	0.014	0.026	0.084
p22	0.953	0.014	0.916	0.974

*Πίνακας 11: Χρηματιστήριο Κίνας, αναμενόμενη διάρκεια*

Number of obs = 376

Expected	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
<b>Duration</b>				
State1 (High)	1.966	0.419	1.412	3.262
State2 (Low)	21.364	6.434	11.963	38.828

*Πίνακας 12: Ομόλογα Κίνας, πιθανότητες μετάβασης*

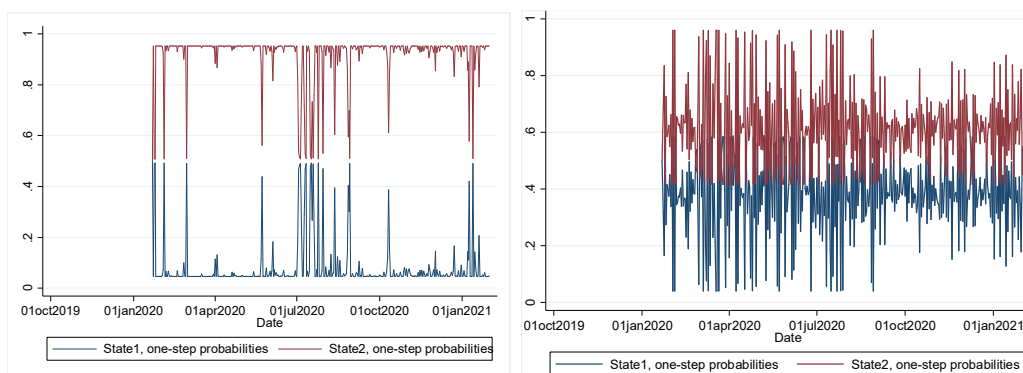
Number of obs = 376

Transition	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
<b>Probabilities</b>				
p11	0.040	0.043	0.004	0.276
p12	0.960	0.043	0.724	0.996
p21	0.583	0.261	0.146	0.920
p22	0.417	0.261	0.080	0.854

*Πίνακας 13: Ομόλογα Κίνας, αναμενόμενη διάρκεια*

Number of obs = 376

Expected	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
<b>Duration</b>				
State1 (High)	1.041	0.047	1.004	1.381
State2 (Low)	1.714	0.767	1.087	6.857



Σχήμα 2: Χρηματιστήριο Κίνας – Ομόλογα Κίνας

Παρατηρούμε για την οικονομία της Κίνας και ειδικότερα για τις τιμές των μετοχών, πως η κατάσταση 2, αυτή της χαμηλής μεταβλητότητας κυριαρχεί καθώς όταν η διαδικασία βρεθεί εκεί θα παραμείνει για μεγάλη διάρκεια. Όσον αφορά τα ομόλογα και τις αποδόσεις τους τα πράγματα είναι πιο ισορροπημένα όπως φαίνεται και από το διάγραμμα παραπάνω.

Πίνακας 14: Χρηματιστήριο Ιαπωνίας, πιθανότητες μετάβασης

Number of obs = 354

Transition Probabilities	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
p11	0.209	0.161	0.037 0.642
p12	0.791	0.161	0.358 0.963
p21	0.564	0.248	0.152 0.903
p22	0.436	0.248	0.097 0.848

Πίνακας 15: Χρηματιστήριο Ιαπωνίας, αναμενόμενη διάρκεια

Number of obs = 354

Expected Duration	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
State1 (High)	1.264	0.258	1.039 2.790
State2 (Low)	1.772	0.779	1.107 6.581

Πίνακας 16: Ομόλογα Ιαπωνίας, πιθανότητες μετάβασης

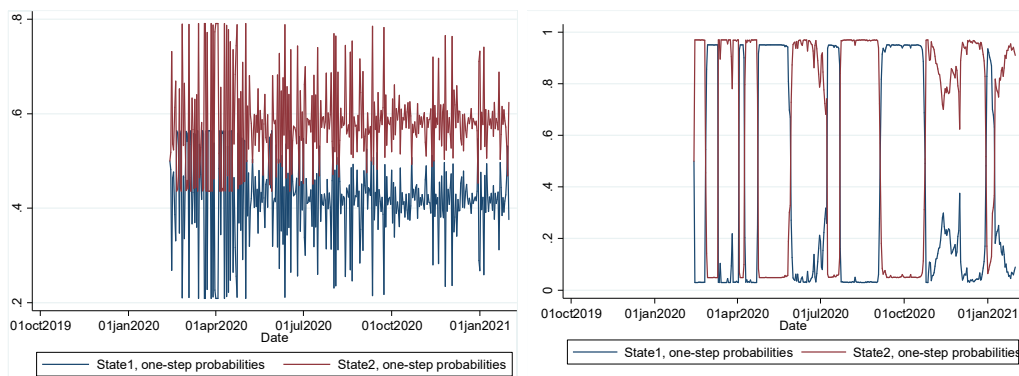
Number of obs = 354

Transition Probabilities	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
p11	0.951	0.015	0.912 0.973
p12	0.049	0.015	0.027 0.088
p21	0.030	0.010	0.015 0.057
p22	0.970	0.010	0.943 0.985

Πίνακας 17: Ομόλογα Ιαπωνίας, αναμενόμενη διάρκεια

Number of obs = 354

Expected Duration	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
State1 (High)	20.428	6.269	11.323 37.566
State2 (Low)	33.361	11.165	17.456 64.636



Σχήμα 3: Χρηματιστήριο Ιαπωνίας – Ομόλογα Ιαπωνίας

Για την Ιαπωνία, υπάρχει έντονη μεταβλητότητα όσον αφορά τις μετοχές, καθώς η διαδικασία περνά από τη μία κατάσταση στην άλλη με μεγάλη πιθανότητα και έτσι οι τελευταίες έχουν μικρή διάρκεια, αντίθετα για τις αποδόσεις των ομολόγων, όταν βρεθεί η διαδικασία σε μια κατάσταση (καθεστώς) και κυρίως σε αυτήν χαμηλής μεταβλητότητας, θα έχει μεγάλη διάρκεια μέχρι να αλλάξει πάλι το καθεστώς.

Πίνακας 18: Χρηματιστήριο Κορέας, πιθανότητες μετάβασης

Number of obs = 347

Transition	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
Probabilities				
p11	0.695	0.158	0.346	0.908
p12	0.305	0.158	0.092	0.654
p21	0.299	0.417	0.009	0.955
p22	0.701	0.417	0.045	0.991

Πίνακας 19: Χρηματιστήριο Κορέας, αναμενόμενη διάρκεια

Number of obs = 347

Expected	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
Duration				
State1 (Low)	3.280	1.701	1.529	10.838
State2 (High)	3.348	4.670	1.048	116.753

Πίνακας 20: Ομόλογα Κορέας, πιθανότητες μετάβασης

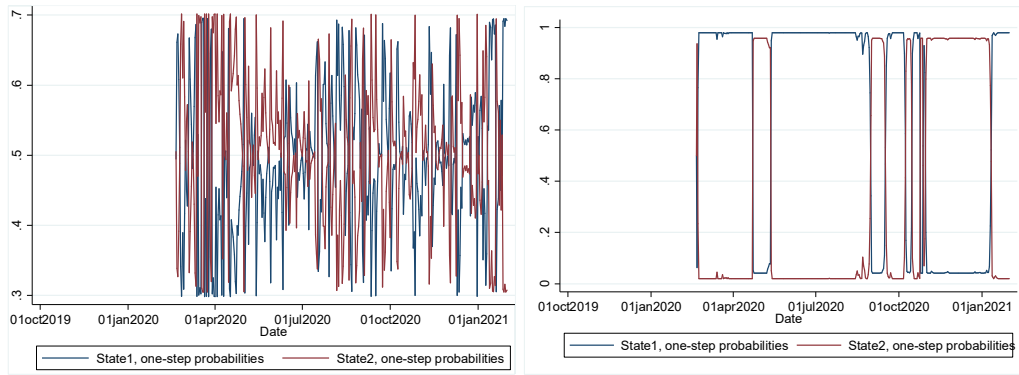
Number of obs = 347

Transition	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
Probabilities				
p11	0.981	0.010	0.949	0.993
p12	0.019	0.010	0.007	0.051
p21	0.041	0.020	0.016	0.104
p22	0.959	0.020	0.896	0.984

Πίνακας 21: Ομόλογα Κορέας, αναμενόμενη διάρκεια

Number of obs = 347

Expected	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
Duration				
State1 (Low)	51.441	25.487	19.736	136.795
State2 (High)	24.098	11.671	9.580	63.183



Σχήμα 4: Χρηματιστήριο Κορέας – Ομόλογα Κορέας

Για τη Νότια Κορέα, τα αποτελέσματα της Μαρκοβιανής Παλινδρόμησης Αλλαγής Καθεστώτος μας έδειξαν μια διαδικασία που μεταβάλλεται συχνά μεταξύ των καταστάσεων υψηλής και χαμηλής μεταβλητότητας για τις μετοχές, ενώ πολύ σταθερές καταστάσεις για τα ομόλογα.

Πίνακας 22: Χρηματιστήριο Μαλαισίας, πιθανότητες μετάβασης

Number of obs = 321

Transition Probabilities	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
p11	0.861	0.034	0.781 0.915
p12	0.139	0.034	0.085 0.219
p21	0.606	0.115	0.373 0.799
p22	0.394	0.115	0.201 0.627

Πίνακας 23: Χρηματιστήριο Μαλαισίας, αναμενόμενη διάρκεια

Number of obs = 321

Expected Duration	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
State1 (Low)	7.177	1.731	4.566 11.699
State2 (High)	1.650	0.314	1.252 2.678

Πίνακας 24: Ομόλογα Μαλαισίας, πιθανότητες μετάβασης

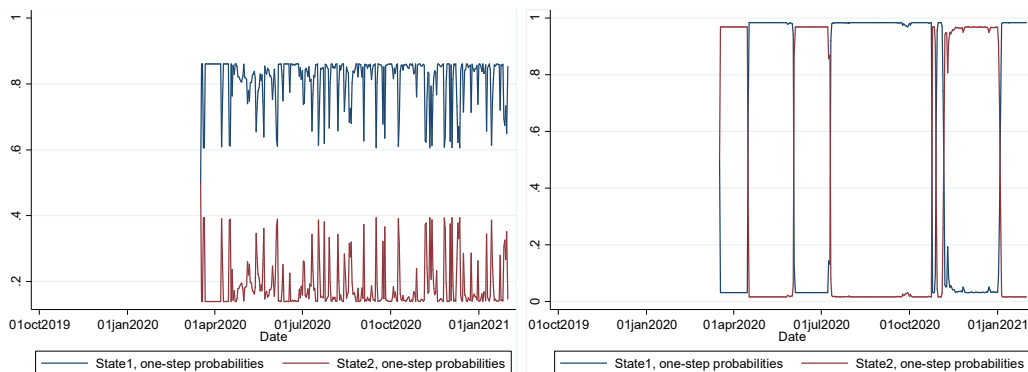
Number of obs = 321

Transition Probabilities	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
p11	0.984	0.008	0.960 0.994
p12	0.016	0.008	0.006 0.040
p21	0.031	0.011	0.015 0.063
p22	0.969	0.011	0.937 0.985

Πίνακας 25: Ομόλογα Μαλαισίας, αναμενόμενη διάρκεια

Number of obs = 321

Expected Duration	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
State1 (Low)	63.500	30.543	24.983 163.875
State2 (High)	32.060	11.793	15.757 66.374



Σχήμα 5: Χρηματιστήριο Μαλαισίας – Ομόλογα Μαλαισίας

Η διαδικασία όσον αφορά τις μετοχές φαίνεται να βρίσκεται συνεχώς στην κατάσταση 1, χαμηλής μεταβλητότητας, ενώ για τα ομόλογα οι καταστάσεις εναλλάσσονται ανά περιόδους με πιο σταθερή να είναι αυτή της χαμηλής μεταβλητότητας.

Πίνακας 26: Χρηματιστήριο Φιλιππινών, πιθανότητες μετάβασης

Number of obs = 365

Transition Probabilities	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
p11	0.381	0.208	0.098 0.777
p12	0.619	0.208	0.223 0.902
p21	0.057	0.023	0.025 0.124
p22	0.943	0.023	0.876 0.975



Πίνακας 27: Χρηματιστήριο Φιλιππινών, αναμενόμενη διάρκεια

Number of obs = 365

Expected Duration	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
State1 (High)	1.616	0.544	1.109 4.482
State2 (Low)	17.642	7.262	8.075 40.141

Πίνακας 28: Ομόλογα Φιλιππινών, πιθανότητες μετάβασης

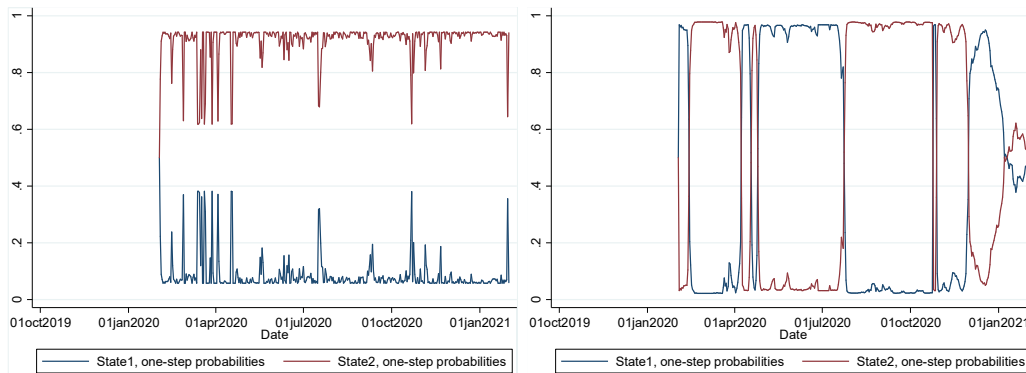
Number of obs = 365

Transition Probabilities	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
p11	0.969	0.014	0.926 0.987
p12	0.031	0.014	0.013 0.074
p21	0.022	0.008	0.011 0.043
p22	0.978	0.008	0.957 0.989

Πίνακας 29: Ομόλογα Φιλιππινών, αναμενόμενη διάρκεια

Number of obs = 365

Expected Duration	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]
State1 (High)	32.263	14.700	13.439 79.573
State2 (Low)	45.909	16.230	23.117 92.191



Σχήμα 6: Χρηματιστήριο Φιλιππινών – Ομόλογα Φιλιππινών

Για τις μετοχές, η διαδικασία βρίσκεται συνεχώς σε καθεστώς χαμηλής μεταβλητότητας, ενώ για τα ομόλογα η διαδικασία εναλλάσσεται με την κατάσταση χαμηλής μεταβλητότητας να είναι πιο σταθερή.

Πίνακας 30: Χρηματιστήριο Ινδονησίας, πιθανότητες μετάβασης

Number of obs = 327

Transition	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
Probabilities				
p11	0.331	0.475	0.007	0.971
p12	0.669	0.475	0.029	0.993
p21	0.770	0.149	0.393	0.946
p22	0.230	0.149	0.054	0.607

Πίνακας 31: Χρηματιστήριο Ινδονησίας, αναμενόμενη διάρκεια

Number of obs = 327

Expected	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
Duration				
State1 (Low)	1.495	1.062	1.007	34.255
State2 (High)	1.298	0.250	1.057	2.547

Πίνακας 32: Ομόλογα Ινδονησίας, πιθανότητες μετάβασης

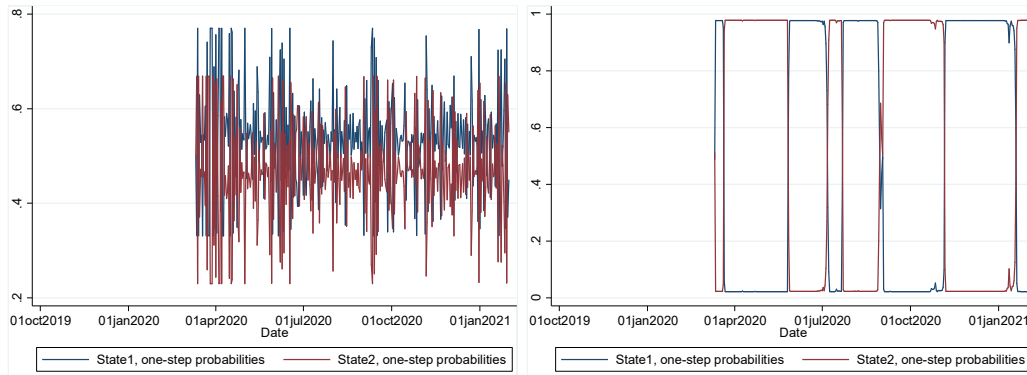
Number of obs = 327

Transition	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
Probabilities				
p11	0.978	0.011	0.941	0.992
p12	0.022	0.011	0.008	0.059
p21	0.021	0.011	0.008	0.057
p22	0.979	0.011	0.943	0.992

Πίνακας 33: Ομόλογα Ινδονησίας, αναμενόμενη διάρκεια

Number of obs = 327

Expected	Estimate	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
Duration				
State1 (High)	45.291	23.255	16.827	124.946
State2 (Low)	47.521	24.332	17.689	130.675



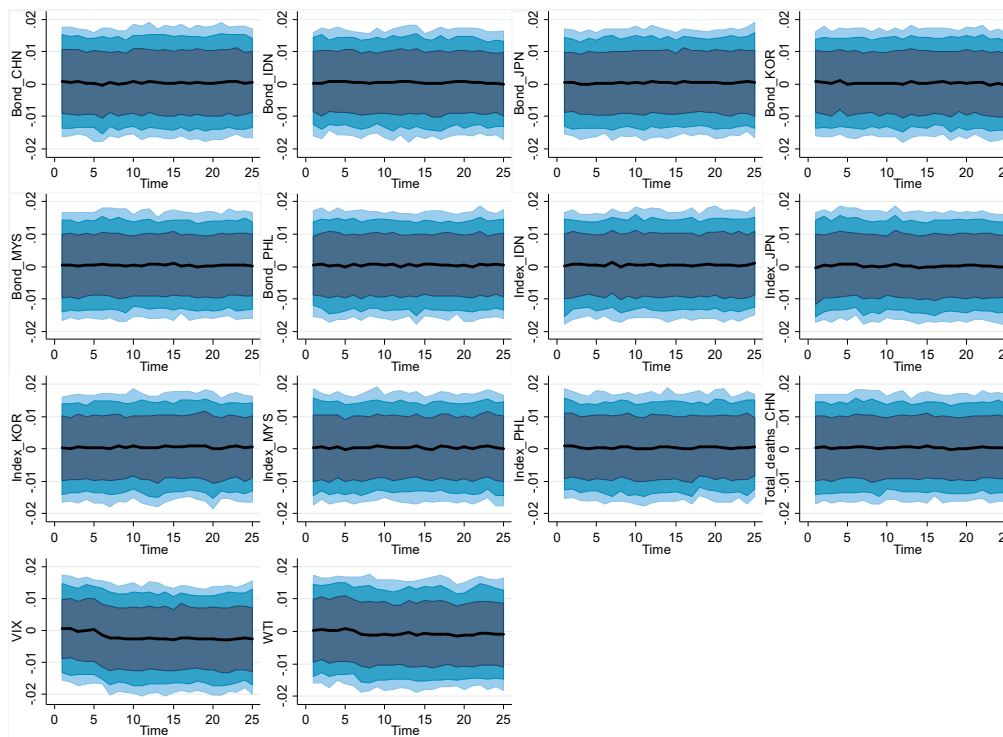
Σχήμα 7: Χρηματιστήριο Ινδονησίας – Ομόλογα Ινδονησίας

Στην περίπτωση της Ινδονησίας και τις αποδόσεις των μετοχών, η διαδικασία μεταβάλλεται μεταξύ των καθεστώτων με αυτά να έχουν σχεδόν την ίδια διάρκεια, ενώ για τις αποδόσεις των ομολόγων οι καταστάσεις είναι πιο σταθερές με μεγάλη διάρκεια, αλλά σχεδόν ίδια μεταξύ τους.

#### 4.2.5 Αποτελέσματα MS-GVAR (Dynamic autoregressive distributed lag models)

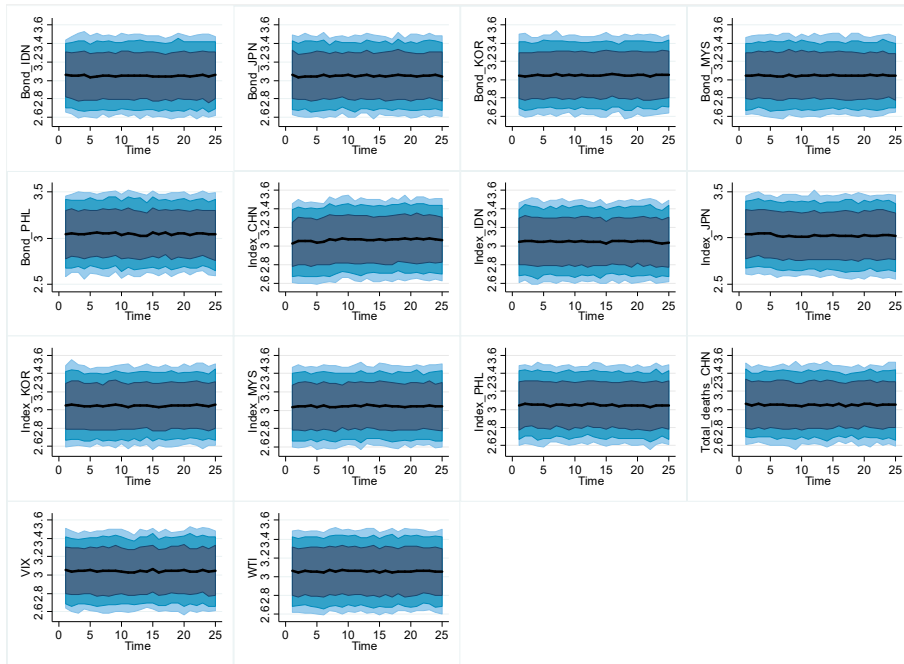
Παρακάτω θα δούμε τα αποτελέσματα που λάβαμε έπειτα από τη δυναμική αυτοπαλινδρόμηση του εκάστοτε μοντέλου, διαταράσσοντας κάθε φορά την αντίστοιχη μεταβλητή.

Σε κάθε διάγραμμα υπάρχουν 13 μεταβλητές που διαταράσσονται κάθε φορά κατά μια μονάδα τυπικής αποκλίσεως, όπως προκύπτουν από τους πίνακες 1 και 2. Η διαταραχή, η οποία συμβαίνει τη χρονική στιγμή 5, ισούται με μια θετική μονάδα τυπικής αποκλίσεως για όλες τις μεταβλητές, εκτός από τις μετοχές, αφού μια διαταραχή θα προκαλέσει συνήθως την πτώση του χρηματιστηρίου.

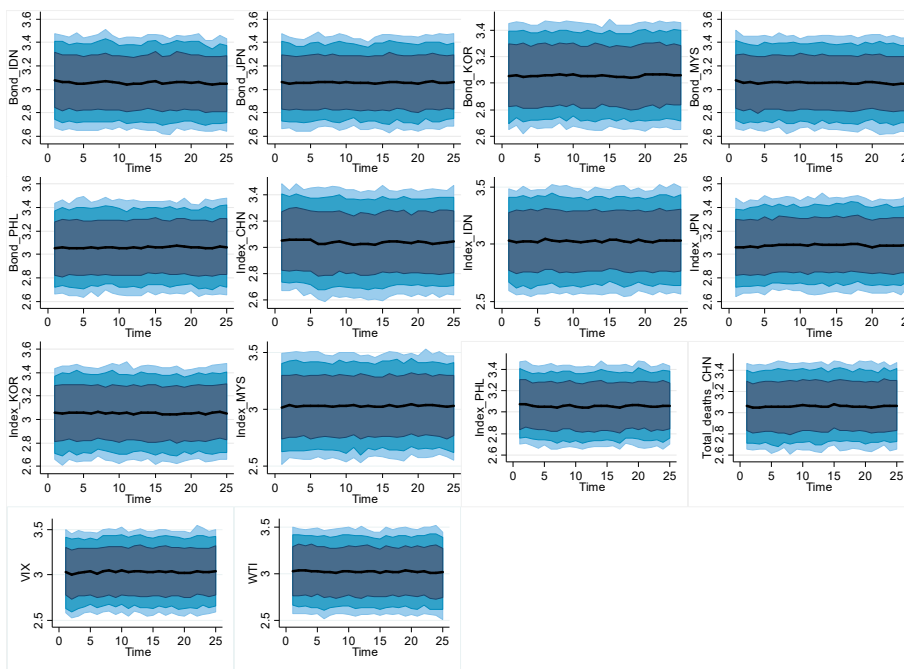


Σχήμα 8: Χρηματιστήριο Κίνας, χαμηλή μεταβλητότητα

Παρατηρούμε ότι για τις αποδόσεις των μετοχών της Κίνας, όταν η διαδικασία βρίσκεται σε κατάσταση χαμηλής μεταβλητότητας, οι διαταραχές που επηρεάζουν τις μετοχές είναι αυτές στους δείκτες WTI και VIX.

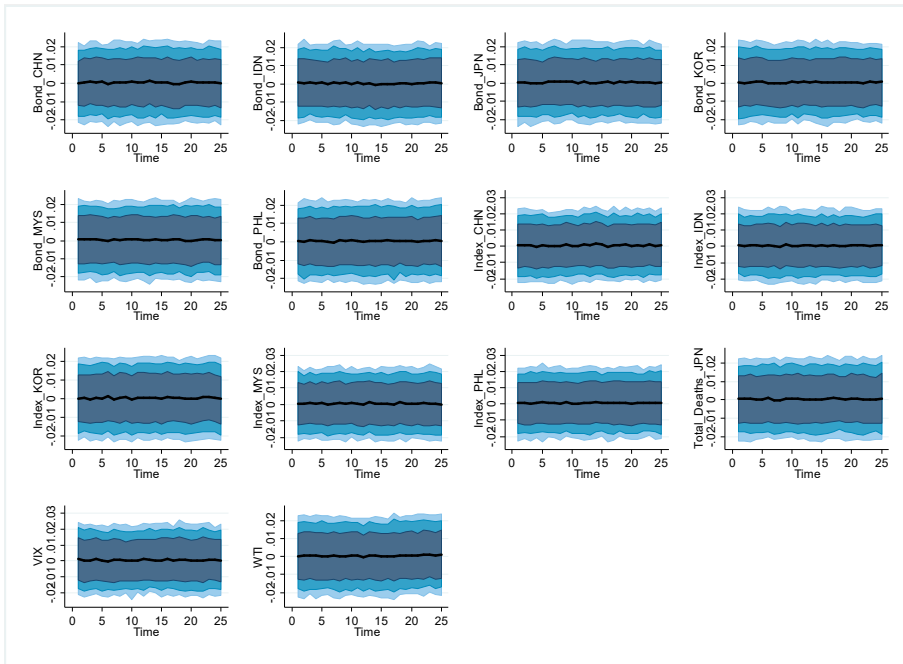


Σχήμα 9: Ομόλογα Κίνας, υψηλή μεταβλητότητα

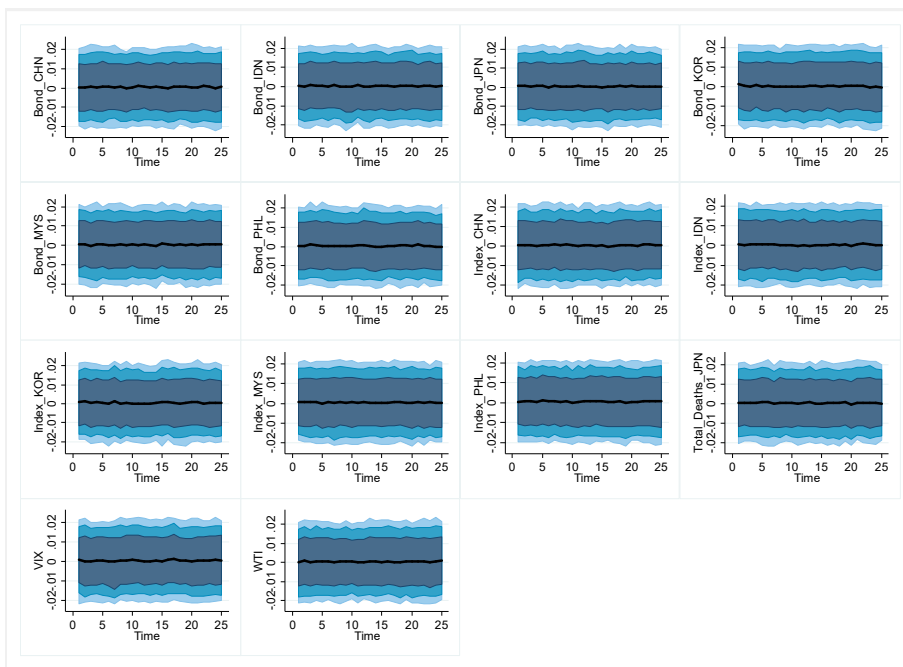


Σχήμα 10: Ομόλογα Κίνας, χαμηλή μεταβλητότητα

Φαίνεται πως τα ομόλογα δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από τις υπόλοιπες μεταβλητές ανεξαρτήτως καθεστώτος.

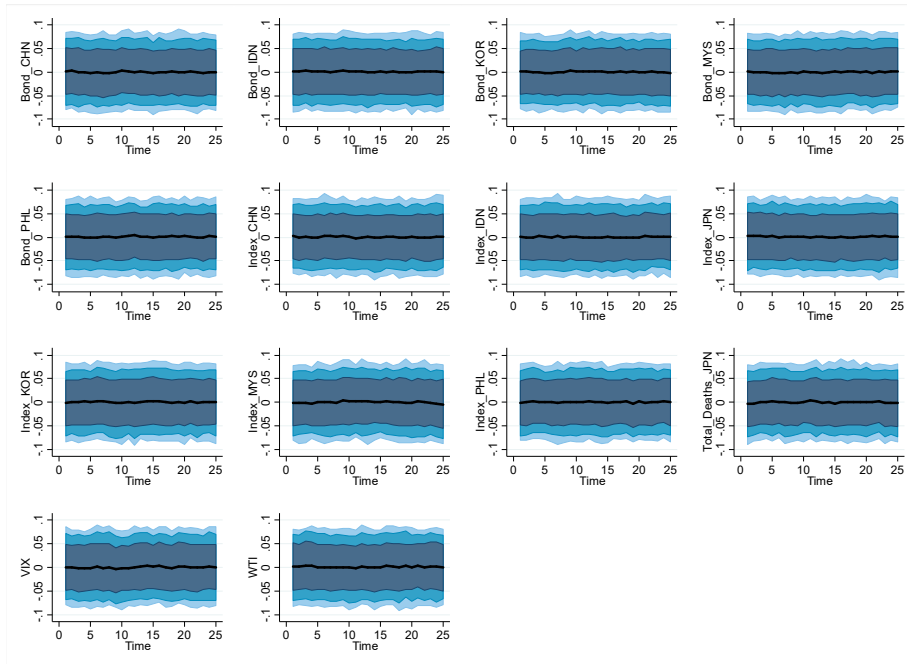


Σχήμα 11: Χρηματιστήριο Ιαπωνίας, χαμηλή, μεταβλητότητα

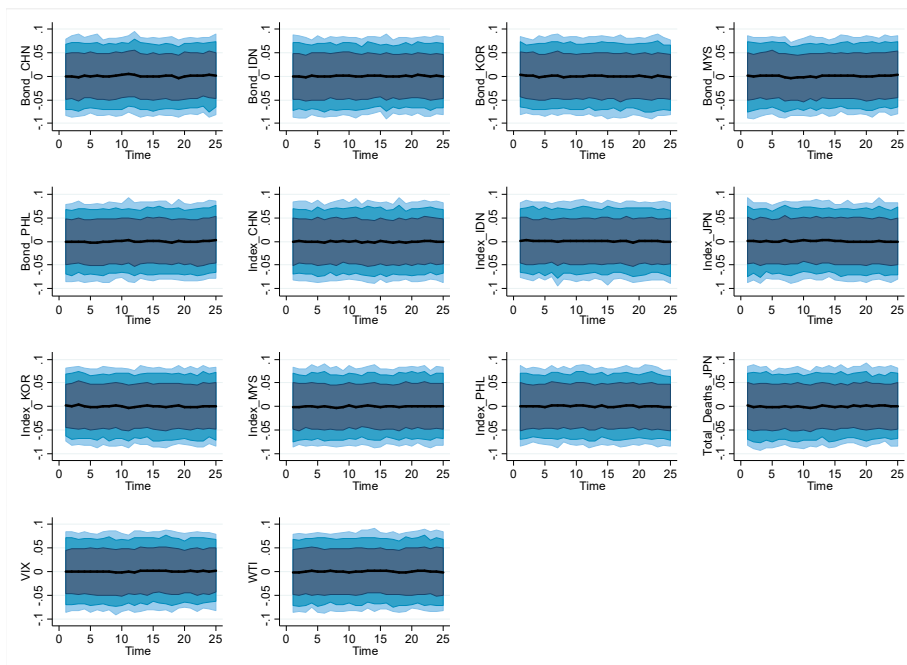


Σχήμα 12: Χρηματιστήριο Κίνας, υψηλή μεταβλητότητα

Παρατηρούμε πως οι τιμές των μετοχών δεν επηρεάζονται αισθητά από τις υπόλοιπες μεταβλητές, είτε στην κατάσταση χαμηλής είτε υψηλής μεταβλητότητας.

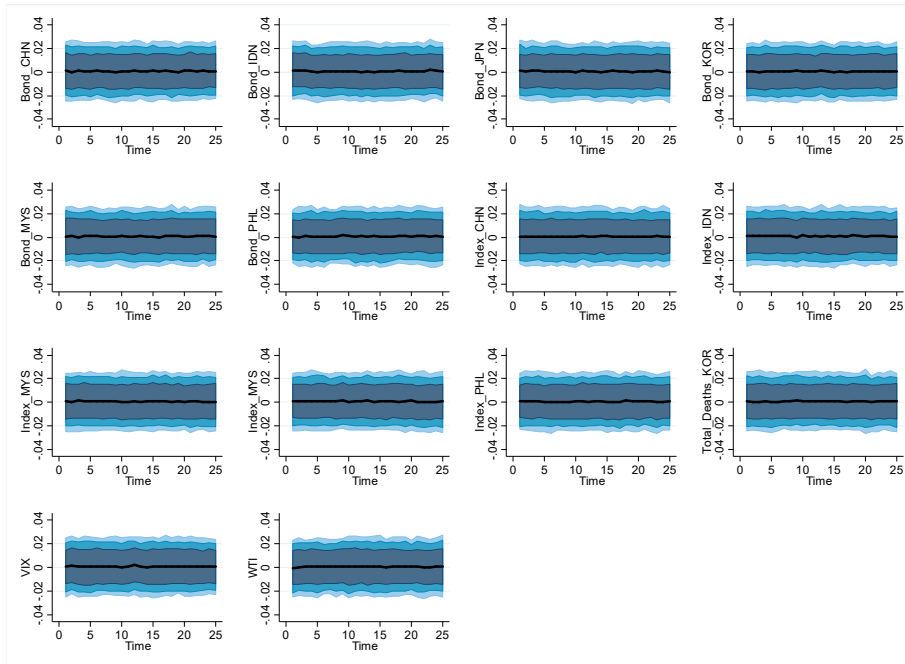


Σχήμα 13: Ομόλογα Ιαπωνίας, χαμηλή μεταβλητότητα

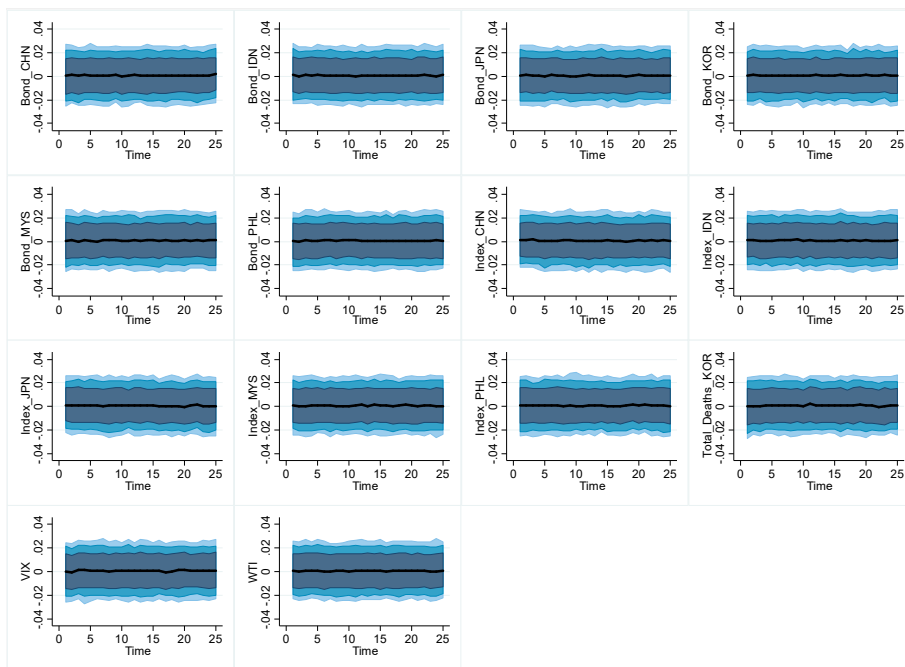


Σχήμα 14: Ομόλογα Ιαπωνίας, χαμηλή μεταβλητότητα

Αντίστοιχα και για τις τιμές των ομολόγων βλέπουμε πως οι διαταραχές στις υπόλοιπες μεταβλητές δεν είναι αρκετές ώστε να επηρεάσουν τις αποδόσεις, ανεξαρτήτως καθεστώτος.



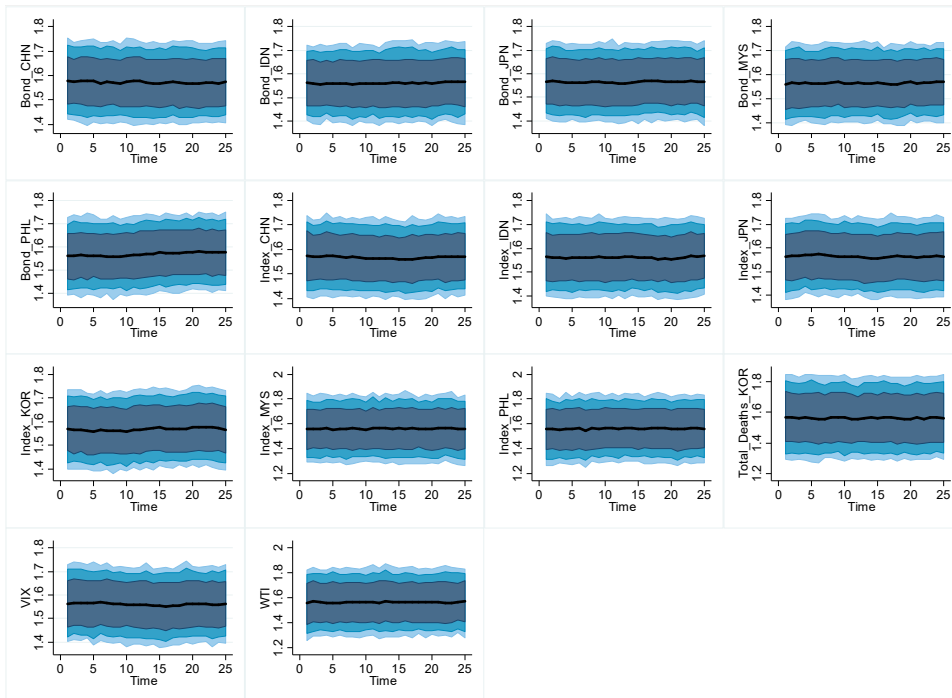
Σχήμα 15: Χρηματιστήριο Κορέας, χαμηλή μεταβλητότητα



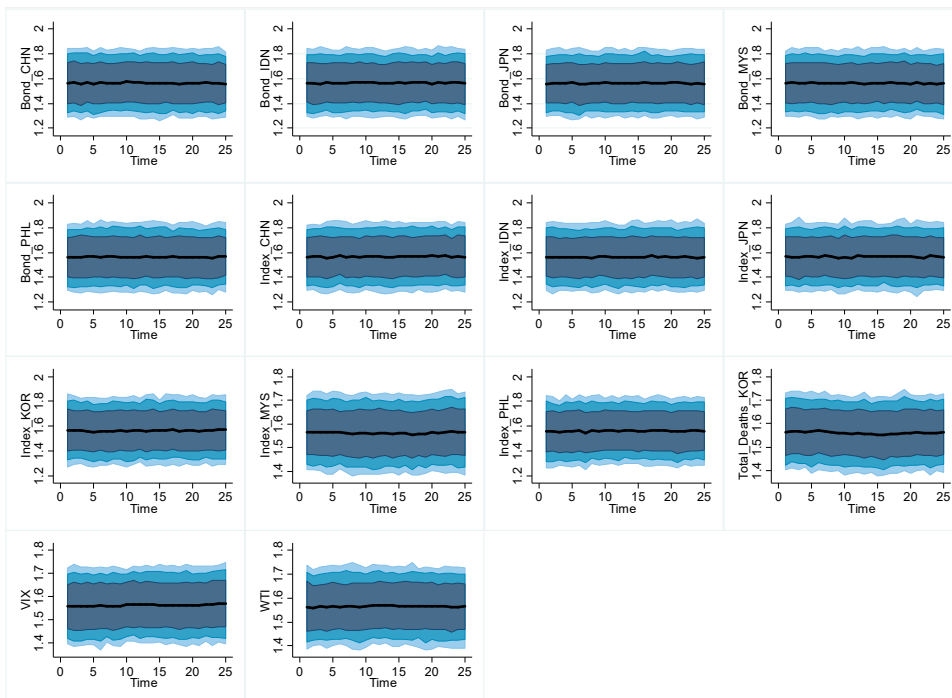
Σχήμα 16: Χρηματιστήριο Κορέας, υψηλή μεταβλητότητα

Για τους δείκτες των μετοχών τις Κορέας παρατηρούμε πως η διαταραχές προκαλούν μεγαλύτερη μεταβλητότητα στο αντίστοιχο καθεστώς, αλλά όχι αρκετή ώστε να παρεκκλίνουν από την αρχική τους τιμή.





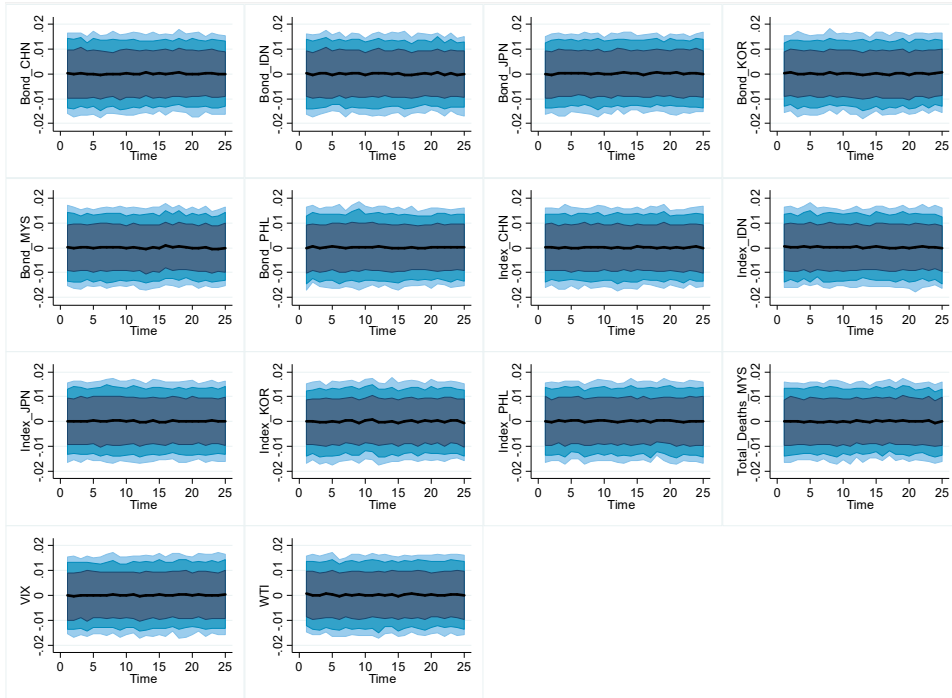
Σχήμα 17: Ομόλογα Κορέας, χαμηλή μεταβλητότητα



Σχήμα 18: Ομόλογα Κορέας, υψηλή μεταβλητότητα

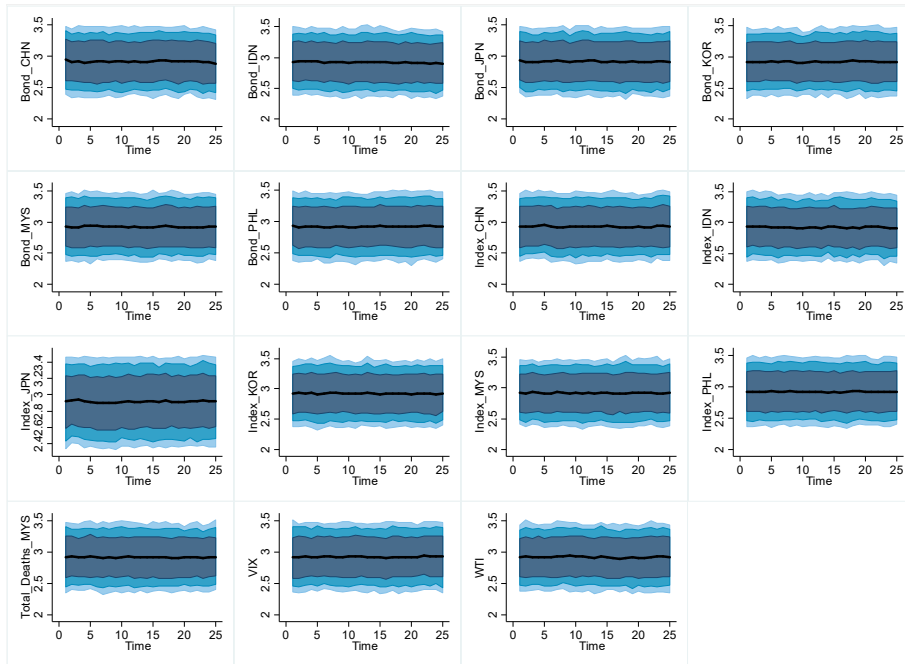
Εδώ παρατηρούμε πως οι μεταβλητές που επηρεάζουν τα ομόλογα της Κορέας είναι κυρίως οι μετοχές και τα ομόλογα της Κίνας, τα οποία προκαλούν αναταράξεις στα

ομόλογα της Κορέας στην κατάσταση χαμηλής μεταβλητότητας, ενώ βλέπουμε ακόμα πως στη διαταραχή των μετοχών των Φιλιππινών, παρά το αισθητό αρχικό σοκ, η τιμή των ομολόγων επανέρχεται γρήγορα στην αρχική τιμή της.

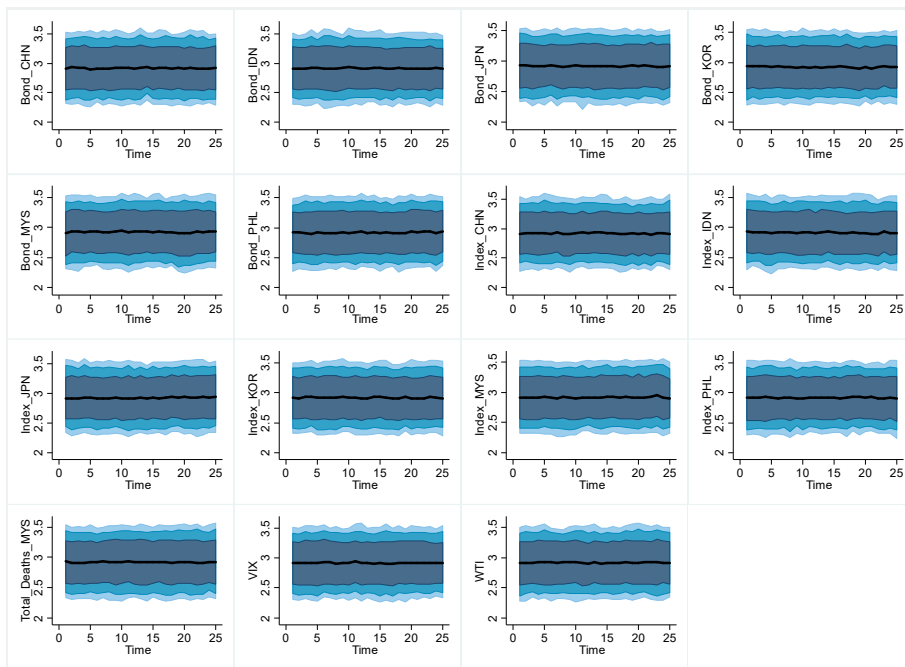


Σχήμα 19: Χρηματιστήριο Μαλαισίας, χαμηλή μεταβλητότητα

Για τις τιμές των μετοχών της Μαλαισίας, υπάρχει μια μικρή διακύμανση λόγω των ομολόγων της ίδιας χώρας, αλλά δεν επηρεάζονται αισθητά από κάποια μεταβλητή.

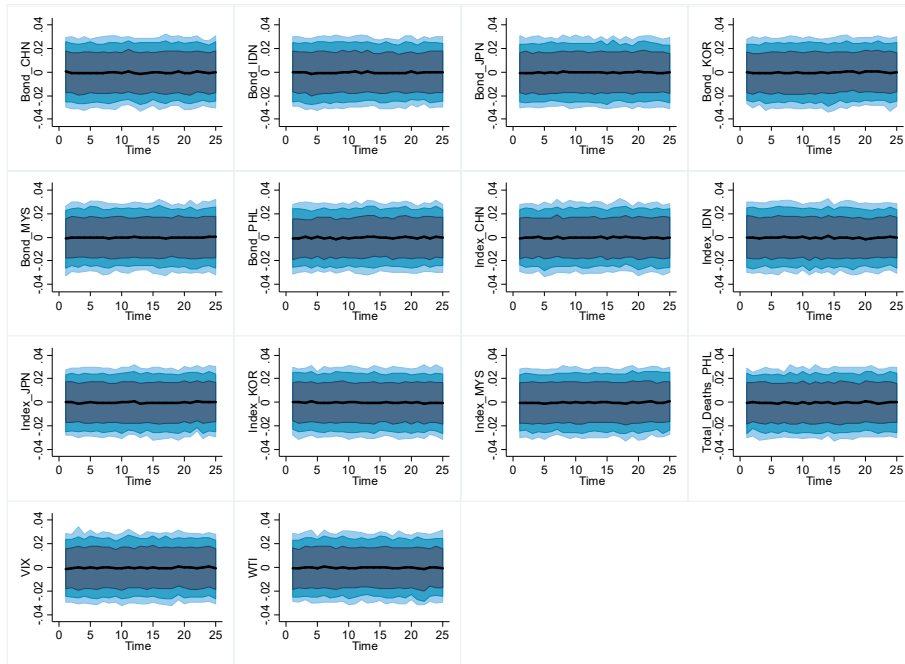


Σχήμα 20: Ομόλογα Μαλαισίας, χαμηλή μεταβλητότητα



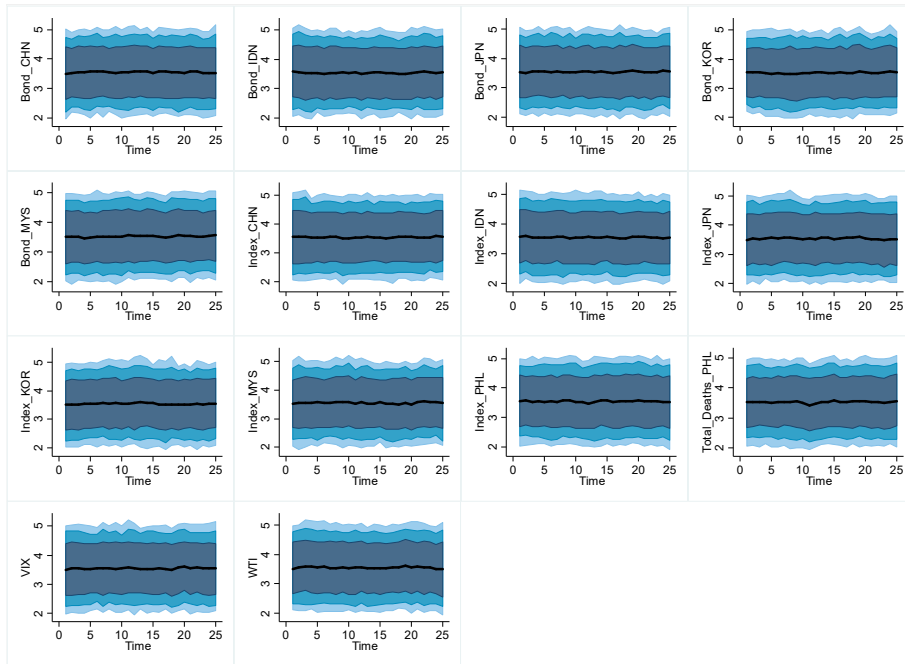
Σχήμα 21: Ομόλογα Μαλαισίας, υψηλή μεταβλητότητα

Για τα ομόλογα της Μαλαισίας παρατηρούμε πάλι κάποια μεταβλητότητα στις δύο καταστάσεις, αλλά όχι κάποια μεγάλη απόκλιση από τις αρχικές τιμές.

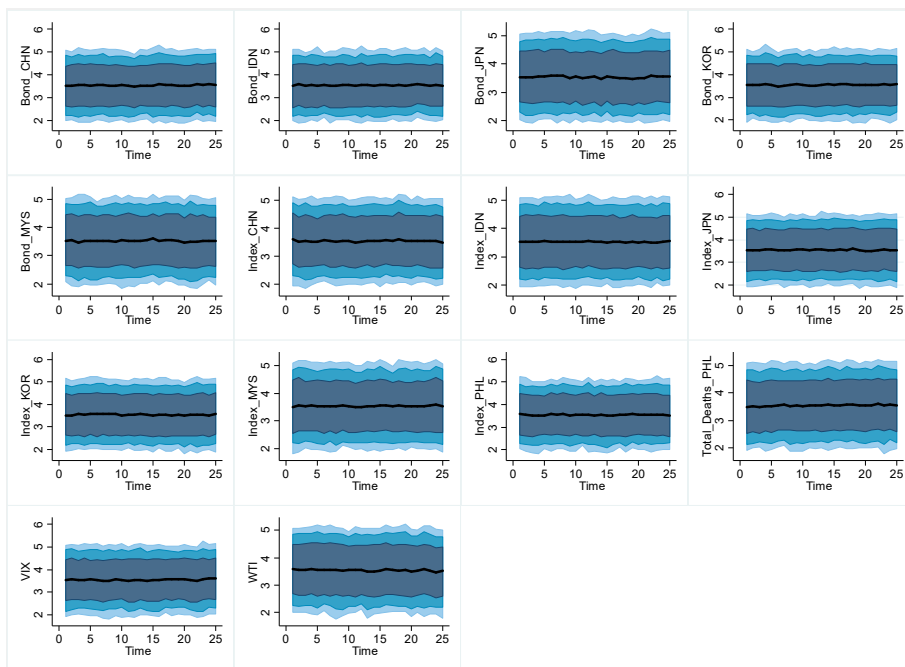


Σχήμα 22: Χρηματιστήριο Φιλιπινών, χαμηλή μεταβλητότητα

Για τις Φιλιπίνες φαίνεται να μην επηρεάζεται αισθητά η τιμή του χρηματιστηρίου.

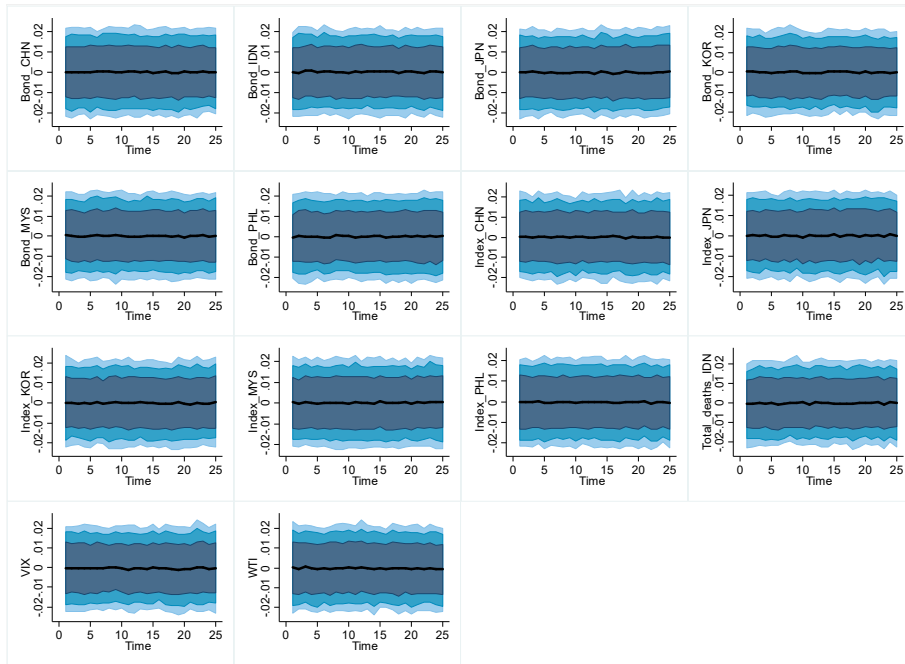


Σχήμα 23: Ομόλογα Φιλιππινών, χαμηλή μεταβλητότητα

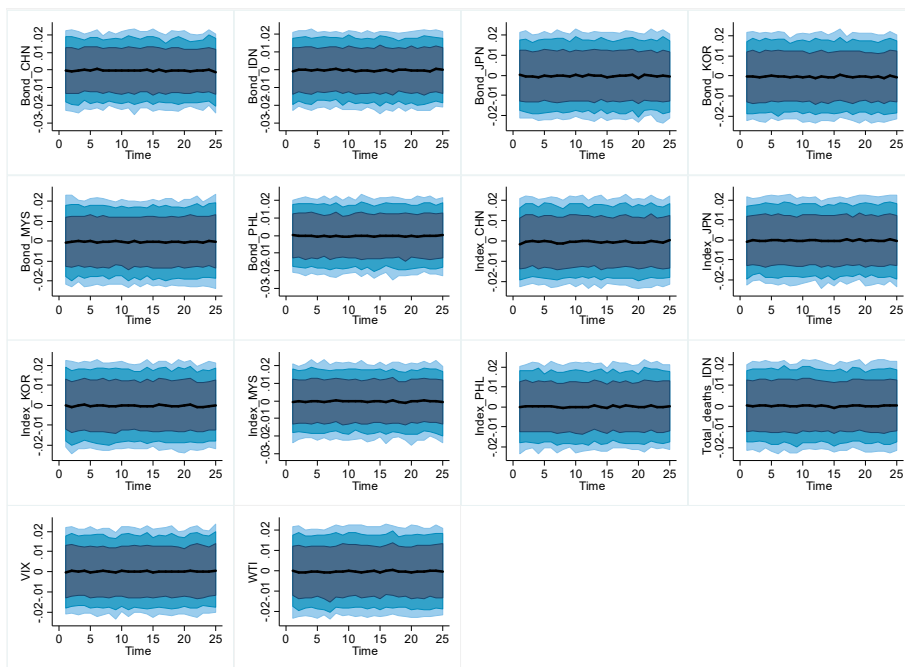


Σχήμα 24: Ομόλογα Φιλιππινών, υψηλή μεταβλητότητα

Αντίστοιχα και για τα ομόλογα φαίνεται πως αυτά δεν παρεκκλίνουν από την αρχική τους τιμή ανεξαρτήτως καθεστώτος.

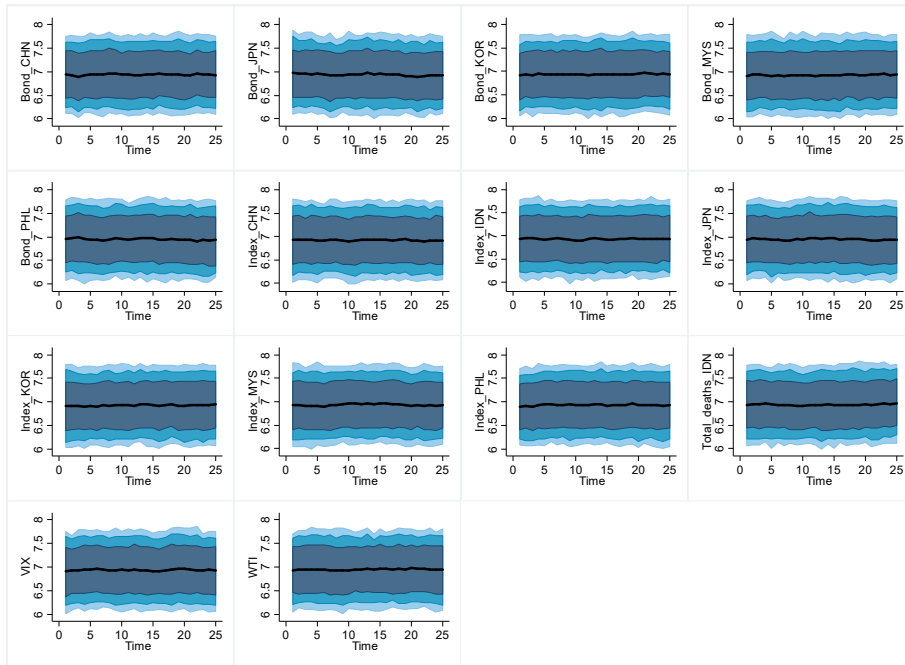


Σχήμα 25: Χρηματιστήριο Ινδονησίας, χαμηλή μεταβλητότητα

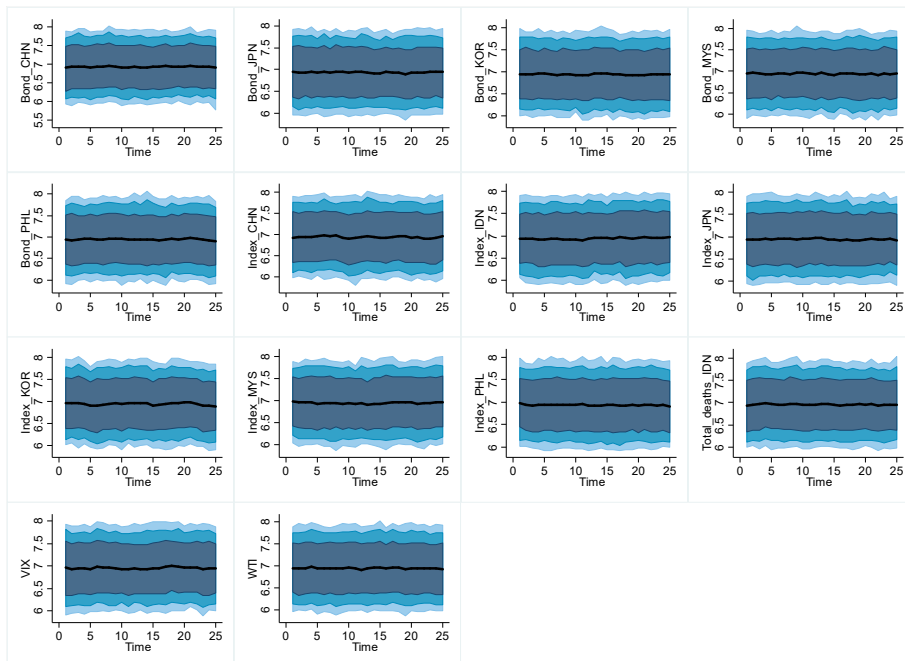


Σχήμα 26: Χρηματιστήριο Ινδονησίας, υψηλή μεταβλητότητα

Και οι δείκτες του χρηματιστηρίου της Ινδονησίας παραμένουν ακλόνητοι.



Σχήμα 27: Ομόλογα Ινδονησίας, χαμηλή μεταβλητότητα



Σχήμα 28: Ομόλογα Ινδονησίας, υψηλή μεταβλητότητα

Για τις αποδόσεις των ομολόγων, υπάρχει μεγαλύτερη μεταβλητότητα στην αντίστοιχη κατάσταση αλλά όχι μεγάλες αποκλίσεις από τις αρχικές τιμές.





## 5. ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρέχεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων που λάβαμε καθόλη την διάρκεια της παρούσας εργασίας.

Αρχικά, παρατηρούμε τη διάκριση των Πινάκων 1, 2 καθώς ο πρώτος αναφέρεται σε αποδόσεις ενώ ο δεύτερος αφορά τους θανάτους της Covid-19. Παρατηρούμε στον Πίνακα 1, πως οι μέσοι όροι όλων των τιμών των μετοχών κυμαίνονται στο μηδέν με αντίστοιχα μικρές τυπικές αποκλίσεις της τάξης του ενός εκατοστού, ενώ παρόμοια κινούνται και οι δείκτες WTI και VIX, αλλά με μεγαλύτερες τυπικές αποκλίσεις της τάξης των πέντε εκατοστών. Από την άλλη, οι μέσες τιμές των αποδόσεων των ομολόγων εμφανίζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις με τη μικρότερη τιμή να είναι αυτή της Ιαπωνίας με μηδενικό μέσο όρο και τη μικρότερη τυπική απόκλιση που αγγίζει τη μισή μονάδα, ενώ η Ινδονησία έχει τη μεγαλύτερη μέση τιμή που πλησιάζει τις επτά μονάδες με τυπική απόκλιση ακριβώς άνω της μισής μονάδας. Οι υπόλοιπες χώρες, Νότια Κορέα, Μαλαισία, Κίνα και Φιλιππίνες βρίσκονται ανάμεσα με αύξουσα τιμή αντίστοιχη της σειράς που αναφέρονται. Όσον αφορά τις τιμές για τους ημερήσιους συνολικούς θανάτους που οφείλονταν στην covid-19, βλέπουμε πως η μικρότερη τιμή παρουσιάζεται στη Μαλαισία στις διακόσιες δώδεκα μονάδες ενώ αισθητά μεγαλύτερη είναι η αντίστοιχη τιμή για την Ινδονησία που ξεπερνά τις εννέα χιλιάδες μονάδες.

Σύμφωνα με την ανάλυσή μας, το δίκτυο έχει μια κυκλική δομή αφού όλες οι οικονομίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Οι οικονομίες της Κίνας και της Ιαπωνίας απεικονίζονται ως οι μεγαλύτερες οικονομίες στο δίκτυο βάσει κεντρικότητας. Μεγαλύτερη εξάρτηση λοιπόν, φαίνεται να υπάρχει μεταξύ της Κίνας και της Ιαπωνίας, το οποίο μοιάζει και λογικό καθώς είναι οι δύο ισχυρές-επικρατούσες οικονομίες στο παράδειγμά μας, ενώ υψηλή εξάρτηση είναι και αυτή της Κίνας - Νότιας Κορέας. Από την άλλη μεριά, κάποιες σχεδόν μηδαμινές εξαρτήσεις είναι αυτές των Κίνα – Ινδονησία, Νότια Κορέα – Φιλιππίνες και Φιλιππίνες – Μαλαισία.

Επίσης, παρατηρούμε πως υπάρχουν αρκετά στατιστικά σημαντικά μεγέθη, κυρίως σε καταστάσεις υψηλής μεταβλητότητας, που μπορούν να επηρεάσουν την εκάστοτε μεταβλητή ενώ οι παγκόσμιες μεταβλητές (Global variables), VIX, WTI και T. Deaths καθώς δεν επηρεάζονται από το καθεστώς (regime), διατηρούν τη στατιστική σημαντικότητά τους ίδια ανάμεσα στα καθεστώτα.

Παρατηρούμε, για την οικονομία της Κίνας, και ειδικότερα για τις τιμές των μετοχών, πως η κατάσταση της χαμηλής μεταβλητότητας κυριαρχεί, καθώς όταν η διαδικασία βρεθεί εκεί θα παραμείνει για μεγάλη διάρκεια. Όσον αφορά τα ομόλογα και τις αποδόσεις τους φαίνεται πως η διαδικασία αλλάζει κατάσταση συνεχώς, με αυτή της χαμηλής μεταβλητότητας να έχει μεγαλύτερη διάρκεια. Για τις αποδόσεις των μετοχών της Κίνας, όταν η διαδικασία βρίσκεται σε κατάσταση χαμηλής μεταβλητότητας, οι διαταραχές που επηρεάζουν την μεταβλητή, είναι αυτές στους δείκτες WTI και VIX, με τον πρώτο να εμφανίζεται και ως στατιστικά σημαντικός. Ενώ φαίνεται πως τα ομόλογα δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από τις υπόλοιπες μεταβλητές, ανεξαρτήτως καθεστώτος.

Για την Ιαπωνία, υπάρχει έντονη μεταβλητότητα όσον αφορά τις μετοχές, καθώς η διαδικασία περνά από τη μία κατάσταση στην άλλη με μεγάλη πιθανότητα και έτσι οι τελευταίες έχουν μικρή διάρκεια. Αντίθετα, για τις αποδόσεις των ομολόγων, όταν βρεθεί η διαδικασία σε μια κατάσταση και κυρίως σε αυτήν της χαμηλής μεταβλητότητας, θα έχει μεγάλη διάρκεια μέχρι να αλλάξει πάλι το καθεστώς. Παρατηρούμε πως οι τιμές των μετοχών δεν επηρεάζονται αισθητά από τις υπόλοιπες μεταβλητές, είτε στην κατάσταση χαμηλής είτε υψηλής μεταβλητότητας. Αντίστοιχα, και για τις τιμές των ομολόγων βλέπουμε πως οι διαταραχές στις υπόλοιπες μεταβλητές δεν είναι αρκετές ώστε να επηρεάσουν τις αποδόσεις ανεξαρτήτως καθεστώτος.

Για τη Νότια Κορέα, τα αποτελέσματα της Μαρκοβιανής Παλινδρόμησης Αλλαγής Καθεστώτος μας έδειξαν μια διαδικασία που μεταβάλλεται συχνά μεταξύ των καταστάσεων υψηλής και χαμηλής μεταβλητότητας για τις μετοχές ενώ πολύ σταθερές καταστάσεις για τα ομόλογα. Για τους δείκτες των μετοχών της Κορέας παρατηρούμε πως οι διαταραχές προκαλούν μεγαλύτερη μεταβλητότητα στο αντίστοιχο καθεστώς, αλλά όχι αρκετή ώστε να παρεκκλίνουν από την αρχική τους τιμή, υπάρχει δηλαδή σταθερότητα που πιθανότατα οφείλεται στην ισχυρή οικονομία της χώρας. Οι μεταβλητές που επηρεάζουν τα ομόλογα της Κορέας είναι κυρίως οι μετοχές και τα ομόλογα της Κίνας τα οποία προκαλούν αναταράξεις στα ομόλογα της Κορέας στην κατάσταση χαμηλής μεταβλητότητας, ενώ βλέπουμε ακόμα πως στη διαταραχή των μετοχών των Φιλιππινών, παρά το αισθητό αρχικό σοκ, η τιμή των ομολόγων επανέρχεται γρήγορα στην αρχική τιμής της.

Η διαδικασία, όσον αφορά τις μετοχές, φαίνεται να βρίσκεται συνεχώς στην κατάσταση χαμηλής μεταβλητότητας, ενώ για τα ομόλογα οι καταστάσεις εναλλάσσονται

ανά περιόδους με πιο σταθερή να είναι αυτή της χαμηλής μεταβλητότητας. Για τις τιμές των μετοχών της Μαλαισίας, υπάρχει μια μικρή διακύμανση λόγω των ομολόγων της ίδιας χώρας αλλά δεν επηρεάζονται αισθητά από κάποια μεταβλητή. Για τα ομόλογα της Μαλαισίας, παρατηρούμε πάλι κάποια μεταβλητότητα στις δύο καταστάσεις αλλά όχι κάποια μεγάλη απόκλιση από τις αρχικές τιμές.

Όσον αφορά τις Φιλιπίνες, για τις μετοχές, η διαδικασία βρίσκεται συνεχώς σε καθεστώς χαμηλής μεταβλητότητας, ενώ για τα ομόλογα η διαδικασία εναλλάσσεται με την κατάσταση χαμηλής μεταβλητότητας να είναι πιο σταθερή. Φαίνεται να μην επηρεάζεται αισθητά η τιμή του χρηματιστηρίου. Αντίστοιχα και για τα ομόλογα, παρά το γεγονός ότι έχουμε στατιστική σημαντικότητα σε αρκετές μεταβλητές, φαίνεται πως αυτά δεν παρεκκλίνουν από την αρχική τους τιμή ανεξαρτήτως καθεστώτος.

Στην περίπτωση της Ινδονησίας και τις αποδόσεις των μετοχών, η διαδικασία συνεχώς μεταβάλλεται μεταξύ των καθεστώτων με αυτά να έχουν σχεδόν την ίδια διάρκεια, ενώ για τις αποδόσεις των ομολόγων οι καταστάσεις είναι πιο σταθερές με μεγάλη διάρκεια αλλά σχεδόν ίδια μεταξύ τους. Και οι δείκτες του χρηματιστηρίου της Ινδονησίας παραμένουν ακλόνητοι. Για τις αποδόσεις των ομολόγων, υπάρχει μεγαλύτερη μεταβλητότητα στην αντίστοιχη κατάσταση αλλά όχι μεγάλες αποκλίσεις από τις αρχικές τιμές.



## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία είχε ως πρωταρχικό στόχο την εισαγωγή στη διεθνή βιβλιογραφία, μιας νέας μεθόδου εκτίμησης μακροοικονομικών υποδειγμάτων, που επιτυγχάνει να συγκεράσει δύο ήδη γνωστές μεθόδους που χρησιμοποιούνται ευρέως, αυτή της Μαρκοβιανής Παλινδρόμησης Αλλαγής Καθεστώτος (Markov-Switching Regression) και του Παγκόσμιου Πολυμεταβλητού μοντέλου Αυτοπαλινδρόμησης (Global VAR Model). Έτσι, τελικά λαμβάνουμε το Παγκόσμιο Πολυμεταβλητό μοντέλο Μαρκοβιανής Αυτοπαλινδρόμησης Αλλαγής Καθεστώτος έχοντας καταφέρει να αξιοποιήσουμε τα πλεονεκτήματα της κάθε μεθόδου σε ένα συνολικό μοντέλο.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου Μαρκοβιανής Παλινδρόμησης Αλλαγής Καθεστώτος αφορούν κυρίως το γεγονός ότι μπορεί να συλλάβει τα μη γραμμικά δυναμικά μοτίβα των χρονοσειρών διακρίνοντας την διαδικασία σε καθεστάτα, όπως για παράδειγμα περιόδους ύφεσης και ανάπτυξης μιας οικονομίας. Αυτό το γεγονός έχει ιδιαίτερη σημαντικότητα γιατί προσφέρει τη δυνατότητα να εξετάσουμε αυτές τις περιόδους ξεχωριστά και να διακρίνουμε διαφορετικές συμπεριφορές ανά κατάσταση. Από την άλλη, το Παγκόσμιο Πολυμεταβλητό Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης μπορεί να ενσωματώσει κατά την επίλυσή του όλο το σύνολο των μεταβλητών και να μελετήσει στη συνέχεια διάφορες εξαρτήσεις μεταξύ τους. Επίσης πολύ σημαντικό γεγονός καθώς η επίλυση της κάθε εξίσωσης ξεχωριστά δεν προσφέρει αυτή την δυνατότητα. Έτσι, συνδυάζοντας τις μεθόδους, συνδυάζουμε και τα πλεονεκτήματά τους ώστε να μπορέσουμε να μελετήσουμε με ακρίβεια ακόμα και τα πιο περίπλοκα μοτίβα χρηματοοικονομικών χρονοσειρών.

Κάνοντας μια πρώτη εφαρμογή της μεθοδολογίας, χρησιμοποιήσαμε χρηματοοικονομικά δεδομένα από την αγορά της ανατολικής Ασίας, συγκεκριμένα χρηματιστηριακούς δείκτες, ομόλογα παγκόσμιους δείκτες όπως VIX, WTI και θανάτους λόγω Covid-19. Τα αποτελέσματά μας έδειξαν πως σε αρκετές περιπτώσεις φαίνεται να υπάρχει ξεκάθαρος διαχωρισμός μεταξύ καθεστώτων, γεγονός που οφείλεται εν μέρει και στην πανδημία της Covid-19. Από την άλλη, παρατηρήσαμε μέσα από τις συναρτήσεις αιφνίδιων αποκρίσεων πως οι μεταβλητές μας είναι ανθεκτικές σε διαταραχές και δεν αποκλίνουν για μεγάλη χρονική περίοδο από την αρχική τους τιμή, εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις, όπως αυτή του χρηματιστηρίου της Κίνας το οποίο έδειξε μικρή πτώση

έπειτα από τις διαταραχές των παγκόσμιων μεταβλητών VIX και WTI, μάλιστα με την τελευταία να βρίσκεται και ανάμεσα στις στατιστικά σημαντικές για το χρηματιστήριο της Κίνας. Το γεγονός αυτό δεν είναι αναπάντεχο, καθώς οι αγορές και συγκεκριμένα οι μεταβλητές που χρησιμοποιούμε πιθανότατα έχουν επιπλέον παραμέτρους που τις επηρεάζουν, είτε ενδογενείς είτε εξωγενείς.

Είναι, λοιπόν, φανερό πως το μοντέλο MS – GVAR μπορεί να εφαρμοστεί για την ανάλυση κατάλληλων δεδομένων και να προσφέρει χρήσιμα αποτελέσματα. Σίγουρα, όμως η Διπλωματική Εργασία αυτή αφήνει μεγάλα περιθώρια μελλοντικών επεκτάσεων και βελτιώσεων όπως ίσως η διεύρυνση του συνόλου των δεδομένων για να λάβουμε μια καλύτερη οπτική για τα καθεστάτα και να ελαχιστοποιήσουμε την αβεβαιότητα στο μοντέλο μας ή επίσης η εισαγωγή άλλων (παγκόσμιων) μεταβλητών που ίσως έχουν σημαντική επίδραση στο μοντέλο μας.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Bates, Samuel, Valérie Angeon, and Ahmed Ainouche. 2014. “The Pentagon of Vulnerability and Resilience: A Methodological Proposal in Development Economics by Using Graph Theory.” *Economic Modelling* 42 (October): 445–53. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.07.027>.
- Bauwens, Luc, Arie Preminger, and Jeroen V. K. Rombouts. 2010. “Theory and Inference for a Markov Switching GARCH Model.” *The Econometrics Journal* 13 (2): 218–44.
- Brody, András. 1997. “The Second Eigenvalue of the Leontief Matrix.” *Economic Systems Research* 9 (3): 253–58. <https://doi.org/10.1080/09535319700000018>.
- Chauvet, Marcelle, Thomas Gotz, and Alain Hecq. n.d. “Realized Volatility and Business Cycle Fluctuations: A Mixed-Frequency VAR Approach.”
- Chudik, Alexander, and M. Hashem Pesaran. 2016. “Theory and Practice of Gvar Modelling.” *Journal of Economic Surveys* 30 (1): 165–97. <https://doi.org/10.1111/joes.12095>.
- Cosslett, Stephen R., and Lung-Fei Lee. 1985. “Serial Correlation in Latent Discrete Variable Models.” *Journal of Econometrics* 27 (1): 79–97. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(85\)90045-4](https://doi.org/10.1016/0304-4076(85)90045-4).
- Dees, Stephane, Filippo di Mauro, M. Hashem Pesaran, and L. Vanessa Smith. 2007. “Exploring the International Linkages of the Euro Area: A Global VAR Analysis.” *Journal of Applied Econometrics* 22 (1): 1–38. <https://doi.org/10.1002/jae.932>.
- Drivas, Kyriakos, Claire Economidou, Konstantinos N. Konstantakis, and Panayotis G. Michaelides. 2022. “Technological Leaders, Laggards and Spillovers: A Network GVAR Analysis.” *Open Economies Review* 33 (2): 231–69. <https://doi.org/10.1007/s11079-021-09635-5>.
- Fagiolo, Giorgio, Javier Reyes, and Stefano Schiavo. 2008. “On the Topological Properties of the World Trade Web: A Weighted Network Analysis.” *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, Applications of Physics in Financial Analysis*, 387 (15): 3868–73. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2008.01.050>.
- Fan, Ying, Suting Ren, Hongbo Cai, and Xuefeng Cui. 2014. “The State’s Role and Position in International Trade: A Complex Network Perspective.” *Economic Modelling* 39 (April): 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.02.027>.

- Freeman, Linton C. 1978. "Centrality in Social Networks Conceptual Clarification." *Social Networks* 1 (3): 215–39. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7).
- Goldfeld, Stephen M., and Richard E. Quandt. 1973. "A Markov Model for Switching Regressions." *Journal of Econometrics* 1 (1): 3–15. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(73\)90002-X](https://doi.org/10.1016/0304-4076(73)90002-X).
- Gutierrez, Luciano, Francesco Piras, and Pier Paolo Roggero. 2015. "A Global Vector Autoregression Model for the Analysis of Wheat Export Prices." *American Journal of Agricultural Economics* 97 (5): 1494–1511. <https://doi.org/10.1093/ajae/aau103>.
- Hamilton, James D. 1989. "A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle." *Econometrica* 57 (2): 357–84. <https://doi.org/10.2307/1912559>.
- . 1994. *Time Series Analysis*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv14jx6sm>.
- . 2016. "Regime Switching Models." In *The New Palgrave Dictionary of Economics*, 1–7. London: Palgrave Macmillan UK. [https://doi.org/10.1057/978-1-349-95121-5\\_2459-1](https://doi.org/10.1057/978-1-349-95121-5_2459-1).
- Junttila, Juha-Pekka, Kari Heimonen, and Ernest Owusu Boakye. 2022. "Connections between Commodity Prices and Global Macroeconomy: Evidence from Machine Learning and GVAR." SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3990065>.
- Kangogo, Moses, and Vladimir Volkov. 2022. "Detecting Signed Spillovers in Global Financial Markets: A Markov-Switching Approach." *International Review of Financial Analysis* 82 (July): 102161. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102161>.
- Kempa, Bernd, and Nazmus Sadat Khan. 2017. "Spillover Effects of Debt and Growth in the Euro Area: Evidence from a GVAR Model." *International Review of Economics & Finance* 49 (May): 102–11. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2017.01.024>.
- Kim, Chang-Jin, and Charles R. Nelson. 2017. *State-Space Models with Regime Switching: Classical and Gibbs-Sampling Approaches with Applications*. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6444.001.0001>.
- Konstantakis, Konstantinos N., Ioannis G. Melissaropoulos, Theodoros Daglis, and Panayotis G. Michaelides. 2023. "The Euro to Dollar Exchange Rate in the Covid-19 Era: Evidence from Spectral Causality and Markov-Switching Estimation."



- International Journal of Finance & Economics* 28 (2): 2037–55.  
<https://doi.org/10.1002/ijfe.2524>.
- Konstantakis, Konstantinos N., and Panayotis G. Michaelides. 2014. “Transmission of the Debt Crisis: From EU15 to USA or Vice Versa? A GVAR Approach.” *Journal of Economics and Business* 76 (November): 115–32.  
<https://doi.org/10.1016/j.jeconbus.2014.04.001>.
- Konstantakis, Konstantinos N., Panayotis G. Michaelides, Livia Chatzieleftheriou, and Arsenios-Georgios N. Prelorenzios. 2022. “Crisis and the Chinese Miracle: A Network—GVAR Model.” *Bulletin of Economic Research* 74 (3): 900–921.  
<https://doi.org/10.1111/boer.12325>.
- Konstantakis, Konstantinos N., Panayotis G. Michaelides, Efthymios G. Tsionas, and Chrysanthi Minou. 2015. “System Estimation of GVAR with Two Dominants and Network Theory: Evidence for BRICs.” *Economic Modelling* 51 (December): 604–16. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2015.08.033>.
- Konstantakis, Konstantinos N., Panayotis G. Michaelides, Panos Xidonas, and Stavroula Yfanti. 2023. “Carbon Emissions and Sustainability in Covid-19’s Waves: Evidence from a Two-State Dynamic Markov-Switching Regression (MSR) Model.” *Annals of Operations Research*, February.  
<https://doi.org/10.1007/s10479-023-05184-x>.
- Koop, Gary, and Dimitris Korobilis. 2009. “Bayesian Multivariate Time Series Methods for Empirical Macroeconomics.” Working Paper series. Rimini Centre for Economic Analysis. [https://econpapers.repec.org/paper/rimrimwps/47\\_5f09.htm](https://econpapers.repec.org/paper/rimrimwps/47_5f09.htm).
- Koop, Gary, M. Hashem Pesaran, and Simon M. Potter. 1996. “Impulse Response Analysis in Nonlinear Multivariate Models.” *Journal of Econometrics* 74 (1): 119–47. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(95\)01753-4](https://doi.org/10.1016/0304-4076(95)01753-4).
- Krolzig, Hans-Martin. 1997. “The Markov-Switching Vector Autoregressive Model.” In *Markov-Switching Vector Autoregressions: Modelling, Statistical Inference, and Application to Business Cycle Analysis*, edited by Hans-Martin Krolzig, 6–28. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Berlin, Heidelberg: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-51684-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-51684-9_2).
- Li, Hong, and Yanlin Shi. 2021. “Forecasting Mortality with International Linkages: A Global Vector-Autoregression Approach.” *Insurance: Mathematics and Economics* 100 (September): 59–75.  
<https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2021.04.006>.

- Luetkepohl, Helmut, and Aleksei Netšunajev. 2018. "The Relation between Monetary Policy and the Stock Market in Europe." *Econometrics* 6 (August): 36. <https://doi.org/10.3390/econometrics6030036>.
- Mariolis, Theodore, and Lefteris Tsoulfidis. 2014. "On Bródy's Conjecture: Theory, Facts and Figures about Instability of the US Economy." *Economic Systems Research* 26 (February). <https://doi.org/10.1080/09535314.2013.879698>.
- Michaelides, Panayotis G., Konstantinos N. Konstantakis, Christina Milioti, and Matthew G. Karlaftis. 2015. "Modelling Spillover Effects of Public Transportation Means: An Intra-Modal GVAR Approach for Athens." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 82 (October): 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.07.004>.
- Pesaran, H. Hashem, and Yongcheol Shin. 1998. "Generalized Impulse Response Analysis in Linear Multivariate Models." *Economics Letters* 58 (1): 17–29. [https://doi.org/10.1016/S0165-1765\(97\)00214-0](https://doi.org/10.1016/S0165-1765(97)00214-0).
- Pesaran, M. Hashem, Til Schuermann, and Scott M. Weiner. 2004. "Modeling Regional Interdependencies Using a Global Error-Correcting Macroeconometric Model." *Journal of Business & Economic Statistics* 22 (2): 129–62.
- Phoong, Seuk Wai, Seuk Yen Phoong, and Shi Ling Khok. 2022. "Systematic Literature Review With Bibliometric Analysis on Markov Switching Model: Methods and Applications." *SAGE Open* 12 (2): 21582440221093064. <https://doi.org/10.1177/21582440221093062>.
- Poritz, A. 1982. "Linear Predictive Hidden Markov Models and the Speech Signal." In *ICASSP '82. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 7:1291–94. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.1982.1171633>.
- Rabiner, L.R. 1989. "A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition." *Proceedings of the IEEE* 77 (2): 257–86. <https://doi.org/10.1109/5.18626>.
- Tsionas, Efthymios G., Konstantinos N. Konstantakis, and Panayotis G. Michaelides. 2016. "Bayesian GVAR with K-Endogenous Dominants & Input–Output Weights: Financial and Trade Channels in Crisis Transmission for BRICs." *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money* 42 (May): 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2016.01.001>.