



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ & ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ, ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΔΙΚΑΙΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ & ΔΙΚΑΙΟΥ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΦΥΣΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΔΑΓΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Γ. ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ

ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

Στη γυναίκα μου Μαριάννα,

που είναι στο πλευρό μου...

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου, κ. Παναγιώτη Γ. Μιχαηλίδη, Αν. Καθηγητή ΕΜΠ, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε και για την καθοδήγησή του μέσω της προσωπικής του ενασχόλησης ως Διευθυντής του Εργαστηρίου Θεωρητικής και Εφαρμοσμένης Οικονομικής και Δικαίου του Τομέα Ανθρωπιστικών, Κοινωνικών Επιστημών και Δικαίου (ΑΚΕΔ) του ΕΜΠ. Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλειο Κωνσταντούδη, Ερευνητή ΕΚΕΦΕ Δημόκριτου, για την υποστήριξή του, τον Ομ. Καθηγητή ΕΜΠ, κ. Γιάννη Μηλιό, για τη συνεργασία, καθώς και τον Μεταδιδακτορικό Ερευνητή ΕΜΠ, Δρ. Κωνσταντίνο Κωνσταντάκη, για την πολύπλευρη βοήθειά του. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ελένη Μαυρομιχαλάκη, Ομ. Καθηγήτρια του Τμήματος Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών του ΕΚΠΑ, και την κα. Μαρία Γεροντίδου, μέλος ΕΔΙΠ του ίδιου Τμήματος για τη συνεργασία. Ένα μεγάλο «ευχαριστώ» οφείλω στη μητέρα μου, η οποία στήριξε τις μέχρι τώρα επιλογές μου, στη γυναίκα μου και τους γονείς της για την ανεκτίμητη στήριξη και την ψυχολογική συμπαράσταση που μου προσέφεραν στην πορεία μου έως τώρα. Τέλος, επισημαίνεται ότι η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε με χρηματοδότηση από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας (ΕΛΚΕ) του ΕΜΠ. Κατά την περίοδο εκπόνησης της Διδακτορικής Διατριβής, προέκυψαν έξι (6) δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά, κατόπιν κρίσης, και δύο (2) άρθρα σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια, επίσης κατόπιν κρίσης, ενώ αρκετά ακόμα βρίσκονται σε διαδικασία κρίσης.

Πιο συγκεκριμένα, προέκυψαν οι εξής δημοσιεύσεις:

[1] Gerontidou M., Mavromichalaki H. and Daglis T. (2018), High-Speed Solar Wind Streams and Geomagnetic Storms During Solar Cycle 24, *Solar Physics*, 293: 131 [**Impact Factor: 2.580**]

[2] Daglis Theodoros, Konstantakis N. Konstantinos and Michaelides G. Panayotis (2019), Solar events and economic activity: Evidence from the US Telecommunication industry (1996-2014), *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 534, 120805 [**Impact Factor: 2.132, ABS list**]

[3] Daglis Theodoros, Konstantakis N. Konstantinos and Michaelides G. Panayotis, Papadakis Theodoulos-Eleftherios (2019), The forecasting ability of Solar and Space Weather Data on NASDAQ's Finance Sector Price Index Volatility, *Research in International Business and Finance*, 52, 101147 [**Impact Factor: 1.467, ABS list**]

[4] Konstantinos N. Konstantakis, Panayotis G. Michaelides, Theofanis Papageorgiou, Theodoros Daglis (2020), Modelling sectoral spillovers in the USA (1992–2015): A GVAR approach, *Journal of Economic Studies*, Vol. 47, No. 3, pp. 561-595 [**Impact Factor: 0.92, ABS list**]

[5] Daglis Theodoros, Konstantakis N. Konstantinos and Michaelides G. Panayotis (2019), Can solar and geomagnetic data help to predict French telecommunications' output (2000–2014)?, *Applied Economics Letters*, Vol. 27, No 10, 784-788 [**Impact Factor: 0.504, ABS list**]

[6] Daglis Theodoros, Konstantakis N. Konstantinos and Michaelides G. Panayotis, Solar VS Economic Activity: Is there a connection? Empirical evidence from the US telecommunications and finance industries, *Economics Bulletin*, Revise and resubmit [**Impact Factor: 0.25**]

Επίσης, προέκυψαν άρθρα στα εξής διεθνή επιστημονικά συνέδρια:

[7] Daglis Theodoros, Konstantakis N. Konstantinos, Michaelides G. Panayotis (2019), *The Impact of Solar Weather on the U.S. Telecommunications Industry: A Dynamic Time Series Approach*, 12th Chaotic Modeling and Simulation International Conference with Quantum Complexity and Nanotechnology Symposium (Chaos 2019), ISAST: International Society for the Advancement of Science and Technology, 18-22 June, Chania, Greece.

[8] Daglis Theodoros, Konstantakis N. Konstantinos, Michaelides G. Panayotis (2019), *Can Solar Data Help to Forecast NASDAQ's Finance Sector Price Index? An ARIMA - GARCH Approach*, 39th International Symposium on Forecasting (ISF), 16-19 June, Thessaloniki, Greece.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής (Δ.Δ.) είναι η διερεύνηση των ηλιακών και γεωμαγνητικών επιπτώσεων στη συνολική οικονομία, την περίοδο 1987-2014. Η ανάλυση εστιάζεται στον οικονομικό, στον χρηματοοικονομικό και στον πετρελαϊκό τομέα. Αναλυτικότερα, αξιοποιώντας το αυτοπαλίνδρομο υποδείγμα κατανεμημένων υστερήσεων, διερευνάται η επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας στον κλάδο τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ και, αντίστοιχα, η επίδραση της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας στον κλάδο τηλεπικοινωνιών της Γαλλίας. Επιπλέον, κάνοντας χρήση των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων, εξετάζεται η ταυτόχρονη επίδραση της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας στον κλάδο τηλεπικοινωνιών και χρηματοοικονομικών των ΗΠΑ. Επίσης, προτείνεται μια πρωτότυπη μεθοδολογική προσέγγιση, κατά την οποία, αξιοποιώντας τη θεωρία κόμβων και προσεγγίζοντας την εξίσωση γενικής ισορροπίας, μέσω του υποδείγματος γενικευμένων αυτοπαλίνδρομων διανυσμάτων, υπολογίζονται η άμμεση και έμμεση διάχυση της επίδρασης των ηλιακών φαινομένων στους κλάδους της οικονομίας των ΗΠΑ. Εφαρμόζοντας το αυτοπαλίνδρομο ολοκληρωμένο υπόδειγμα κινητού μέσου με υπό όρους ετεροσκεδαστικότητα, αξιολογείται η επίδραση των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στον δείκτη τιμών του Nasdaq. Τέλος, με εφαρμογή της πραγματοποιηθείσας μεταβλητότητας, εκτιμάται η επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στον πετρελαϊκό κλάδο. Όσον αφορά τα εμπειρικά αποτελέσματα της έρευνας, επιβεβαιώνεται, καταρχάς, η επίδραση των γεωμαγνητικών φαινομένων στον κλάδο τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ και της Γαλλίας. Επίσης, επιβεβαιώνεται η ταυτόχρονη επίδραση των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στον κλάδο τηλεπικοινωνιών και χρηματοοικονομικών των ΗΠΑ. Επιπλέον, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι τα ηλιακά φαινόμενα επιδρούν στον κλάδο της ενέργειας των ΗΠΑ, προκαλώντας έμμεση διάχυση της επίδρασης αυτής και στους υπόλοιπους κλάδους. Αντίστοιχα, στο ίδιο πλαίσιο, τα ηλιακά φαινόμενα επιδρούν στον χρηματοοικονομικό κλάδο των ΗΠΑ, προκαλώντας έμμεση διάχυση της επίδρασης αυτής και στους υπόλοιπους κλάδους, ενώ αναδεικνύεται και η επίδραση των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στον δείκτη τιμών του Nasdaq. Τέλος, όσον αφορά την πετρελαϊκή αγορά, επιβεβαιώνεται η επίδραση των ηλιακών φαινομένων στις τιμές πετρελαίου.

ABSTRACT

The purpose of the present doctoral thesis is the investigation of the solar and geomagnetic impacts on the total economy, for the period 1987-2014. The analysis focuses on the economic, financial and oil activities. More precisely, using the autoregressive distributed lag model, the impact of geomagnetic activity on the US telecommunications sector and the impact of solar and geomagnetic activity on the French telecommunications sector, are investigated, respectively. Additionally, applying the seemingly unrelated regressions, the simultaneous impact of solar and geomagnetic phenomena on the US telecommunication and financial sectors is estimated. Next, a novel approach is proposed, in which, using node theory and approximating the general equilibrium equation as a global vector autoregressive process, the direct and indirect spillovers of the solar activity on the various sectors of the US economy are estimated. Moreover, implementing the autoregressive integrated moving average model with conditional heteroskedasticity, the solar and geomagnetic impact on Nasdaq's finance sector price index, is investigated. Finally, making use of the realized volatility, the solar impact on the oil market prices is examined. With regard to the empirical results, the impact of geomagnetic activity on the US telecommunications sector and the impact of solar and geomagnetic activity on the French telecommunications sector, is confirmed empirically. Moreover, the simultaneous effect of the solar and geomagnetic phenomena on the US telecommunication and financial sectors is also confirmed. Furthermore, the results indicate that the solar phenomena influence the US energy sector in a direct way, as well as indirectly through the spillover effect on the other US sectors. Meanwhile, the solar phenomena are found to influence the US financial sector directly and the other sectors of the US economy, indirectly. Moreover, the impact of solar and geomagnetic phenomena on Nasdaq's finance sector price index is also confirmed. Finally, the solar impact on the oil market prices is validated.

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΙΑΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ.....	143
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ.....	229
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	268
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	273

Λίστα Πινάκων και Γραφημάτων

Πίνακες:

Πίνακας 5.1: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τον δείκτη Dst και την παραγωγή ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ.

Πίνακας 5.2: Τεστ μοναδιαίας ρίζας Phillips Perron και τεστ στασιμότητας KPSS.

Πίνακας 5.3: Τεστ αιτιότητας κατά Granger.

Πίνακας 5.4: Renault and Dufour τεστ κατά βήμα αιτιότητας, $h=2, \dots, 24$.

Πίνακας 5.5: Τα βέλτιστα AR μοντέλα με εκτός δείγματος πρόβλεψη για κάθε προβλεπτικό ορίζοντα ($h=1-12$).

Πίνακας 5.6: Τα βέλτιστα ARDL μοντέλα με εκτός δείγματος πρόβλεψη για κάθε προβλεπτικό ορίζοντα ($h=1-12$).

Πίνακας 5.7: Εκτός δείγματος προβλεπτική διαφορά AR και ARDL μοντέλων.

Πίνακας 5.8: Phillips-Perron τεστ.

Πίνακας 5.9: Τεστ συνολοκλήρωσης Johansen's για τον δείκτη Dst και τις ηλιακές κηλίδες.

Πίνακας 5.10: Renault and Dufour τεστ κατά βήμα αιτιότητας.

Πίνακας 5.11: Τα βέλτιστα AR μοντέλα.

Πίνακας 5.12: Βέλτιστα ARDL μοντέλα με δύο ανεξάρτητες μεταβλητές (δείκτης Dst και ηλιακές κηλίδες).

Πίνακας 5.13: Πίνακας συσχέτισης των καταλοίπων.

Πίνακας 5.14: Στατιστικά μέτρα προσαρμογής του μοντέλου SURE.

Πίνακας 5.15: Στατιστικά αποτελέσματα του μοντέλου SURE.

Πίνακας 5.16: Ταξινόμηση κλάδων.

Πίνακας 5.17: Ιδιοτιμές και κανονικοποιημένες ιδιοτιμές του μετασχηματισμένου ΙΟ πίνακα (2005).

Πίνακας 5.18: Μέτρα κεντρικότητας των χρονοσειρών.

Πίνακας 5.19: Έλεγχος συνολοκλήρωσης Johansen των χρονοσειρών.

Πίνακας 5.20: Ονόματα και κωδικοί των κλάδων παραγωγής.

Πίνακας 5.21: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των κλάδων παραγωγής.

Πίνακας 5.22: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των ηλιακών μεταβλητών.

Πίνακας 5.23: Τιμές της κεντρικότητας του μετασχηματισμένου πίνακα εισροών-εκροών (ΙΟ) των ΗΠΑ.

Πίνακας 5.24: P-value του τεστ μοναδιαίας ρίζας Philips Peron για τις χρονοσειρές.

Πίνακας 5.25: Τεστ συνολοκλήρωσης Johansen των χρονοσειρών.

Πίνακας 6.1: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των μεταβλητών (NASDAQ's Finance Sector Price Index, Vsw, Dst).

Πίνακας 6.2: Ταξινόμηση της ταχύτητας του ηλιακού ανέμου (Vsw) και του δείκτη Dst, με βάση ήπια, μέτρια και ακραία γεγονότα (ένταση).

Πίνακας 6.3: Σύνοψη βασικού μοντέλου ARIMA(2,1,2) - GARCH(1,1) για τα εύρωστα τυπικά σφάλματα (robust standard errors).

Πίνακας 6.4: Τιμές των κριτηρίων MAPE και RMFSE για το βασικό μοντέλο, για χρονικό ορίζοντα $h=1, \dots, 12$ εβδομάδων.

Πίνακας 6.5: Χαρακτηριστικά των μοντέλων ARIMA(2,1,2) - GARCH(1,1) με εξωγενείς μεταβλητές (Γραμμικό και μη-γραμμικό μοντέλο GARCH) για εύρωστα τυπικά σφάλματα.

Table 6.6: Τιμές των κριτηρίων MAPE και RMFSE για το εναλλακτικό (γραμμικό) μοντέλο με εξωγενείς μεταβλητές, για κάθε χρονικό ορίζοντα $h=1, \dots, 12$ εβδομάδων.

Πίνακας 6.7: Σύγκριση των μοντέλων ARIMA(2,1,2) - GARCH(1,1) με και χωρίς εξωγενείς μεταβλητές, με βάση τα κριτήρια πληροφορίας.

Πίνακας 6.8: Αλγεβρική διαφορά των κριτηρίων MAPE και RMFSE των δύο μοντέλων (βασικό και εναλλακτικό) για εκτός δείγματος πρόβλεψη, για χρονικό ορίζοντα $h=1, \dots, 12$ εβδομάδων.

Πίνακας 6.9: Ονόματα και κωδικοί των κλάδων παραγωγής.

Πίνακας 6.10: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των κλάδων παραγωγής.

Πίνακας 6.11: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των ηλιακών μεταβλητών.

Πίνακας 6.12: Τιμές κεντρικότητας (centrality) του μετασχηματισμένου πίνακα εισροών-εκροών (IO) των ΗΠΑ.

Πίνακας 6.13: P-value του τεστ μοναδιαίας ρίζας Philips Peron για τις χρονοσειρές.

Πίνακας 6.14: Τεστ συνολοκλήρωσης Johansen των χρονοσειρών.

Πίνακας 6.15: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των χρονοσειρών.

Πίνακας 6.16: Αποτελέσματα του κριτηρίου RMSFE για το βασικό, το Εναλλακτικό_1, και το Εναλλακτικό_2, μοντέλα.

Πίνακας 6.17: Αποτελέσματα του κριτηρίου MAE για το βασικό, το Εναλλακτικό_1, και το Εναλλακτικό_2, μοντέλα.

Πίνακας 6.18: Αποτελέσματα του κριτηρίου MAPE για το βασικό, το Εναλλακτικό_1, και το Εναλλακτικό_2, μοντέλα.

Πίνακας 6.19: Αποτελέσματα του κριτηρίου Theil's U για το βασικό, το Εναλλακτικό_1, και το Εναλλακτικό_2, μοντέλα.

Γραφήματα:

Γράφημα 5.1: Εκτός δείγματος πρόβλεψη των βέλτιστων ARDL (p, q) μοντέλων έναντι των πραγματικών τιμών για την παραγωγή του κλάδου τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ.

Γράφημα 5.2: Εκτός δείγματος πρόβλεψη των βέλτιστων μοντέλων ARDL (p, q) έναντι των πραγματικών (παρατηρούμενων) τιμών για την παραγωγή του κλάδου τηλεπικοινωνιών της Γαλλίας.

Γράφημα 5.3: Γραφική παράσταση του δικτύου της κλαδικής οικονομίας των ΗΠΑ.

Γράφημα 5.4: Ευστάθεια των VECXs μοντέλων.

Γράφημα 5.5: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον πρώτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

Γράφημα 5.6: GIRF εκτιμήσεις του κλάδου 1. Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L1) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C1) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

Γράφημα 5.7: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον δεύτερο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

Γράφημα 5.8: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L2) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C2) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

Γράφημα 5.9: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον τρίτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

Γράφημα 5.10: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L3) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C3) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

Γράφημα 5.11: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον τέταρτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

Γράφημα 5.12: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L4) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C4) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

Γράφημα 5.13: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον πέμπτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

Γράφημα 5.14: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L5) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C5) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

Γράφημα 5.15: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον έκτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

Γράφημα 5.16: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L6) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C6) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

Γράφημα 5.17: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον έβδομο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

Γράφημα 5.18: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L7) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C7) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

Γράφημα 5.19: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον όγδοο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

Γράφημα 5.20: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L8) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C8) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

Γράφημα 5.21: Γράφημα δικτύου της κλαδικής οικονομίας των ΗΠΑ.

Γράφημα 5.22: (Γραφήματα A1-A11): Γραφήματα ευστάθειας των μοντέλων VECM για κάθε κλάδο.

Γράφημα 5.23: Αντίδραση του κλάδου ενέργειας ως απάντηση σε διαταραχές των ηλιακών μεταβλητών (ηλιακές κηλίδες, ταχύτητα ηλιακού ανέμου και ηλιακές εκλάμψεις).

Γράφημα 5.24: Αντίδραση του κλάδου ενέργειας ως απάντηση σε σοκ των αθροιστικών ηλιακών μεταβλητών (άθροιση σοκ όλων των ηλιακών μεταβλητών μαζί).

Γράφημα 5.25: Αντίδραση παραγωγής κάθε κλάδου (A,B,C,F,G,H,I,J,K,LN) σε αθροιστική έμμεση διαταραχή των ηλιακών μεταβλητών στον κλάδο ενέργειας.

Γράφημα 6.1: Ταξινόμηση της ταχύτητας ηλιακού ανέμου (V_{sw}) με βάση τον Πίνακα 6.2.

Γράφημα 6.2: Ταξινόμηση δείκτη Dst με βάση τον Πίνακα 6.2.

Γράφημα 6.3: Γραφική παράσταση του συντελεστή κ , όπως αυτή αντλήθηκε από το ARIMA-GARCH μοντέλο με εξωγενείς μεταβλητές, σε ένα κυλιόμενο παράθυρο (rolling window) 952 παρατηρήσεων.

Γράφημα 6.4: Γραφική παράσταση του συντελεστή ω_1 , όπως αυτή αντλήθηκε από το ARIMA-GARCH μοντέλο με εξωγενείς μεταβλητές, σε ένα κυλιόμενο παράθυρο (rolling window) 952 παρατηρήσεων.

Γράφημα 6.5: Γραφική παράσταση του συντελεστή ω_2 , όπως αυτή αντλήθηκε από το ARIMA-GARCH μοντέλο με εξωγενείς μεταβλητές, σε ένα κυλιόμενο παράθυρο (rolling window) 952 παρατηρήσεων.

Γράφημα 6.6: Γράφημα δικτύου της κλαδικής οικονομίας των ΗΠΑ.

Γράφημα 6.7: (Γραφήματα A1-A11): Γραφήματα ευστάθειας των μοντέλων VECM για κάθε κλάδο.

Γράφημα 6.8: Αντίδραση του κλάδου χρηματοοικονομικών σε μοναδιαίο σοκ των ηλιακών μεταβλητών (ηλιακές κηλίδες, ταχύτητα ηλιακού ανέμου και ηλιακές εκλάμψεις).

Γράφημα 6.9: Αντίδραση του κλάδου χρηματοοικονομικών σε μοναδιαίο σοκ των αθροιστικών ηλιακών μεταβλητών (άθροιση σοκ όλων των ηλιακών μεταβλητών μαζί).

Γράφημα 6.10: Αντίδραση παραγωγής κάθε κλάδου (A,B,C,DE,F,G,H,I,J,LN) αθροιστικά ως απάντηση σε σοκ των ηλιακών μεταβλητών στον κλάδο χρηματοοικονομικών.

Γράφημα 6.11: Γραφική παράσταση πραγματοποιηθείσας μεταβλητότητας των ηλιακών εκλάμψεων.

Γράφημα 6.12: Γραφική παράσταση πραγματοποιηθείσας μεταβλητότητας του δείκτη West Texas Intermediate (WTI).

ΜΕΡΟΣ Α: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή μελετά την επίδραση των στοχαστικών φυσικών φαινομένων στην οικονομική δραστηριότητα. Τα στοχαστικά φαινόμενα είναι αυτά τα οποία εμπεριέχουν εγγενή τυχαιότητα. Έτσι, το ίδιο σύνολο τιμών και παραμέτρων με τις ίδιες αρχικές συνθήκες πιθανόν να οδηγήσουν σε ένα σύνολο διαφορετικών αποτελεσμάτων. Από την άλλη, τα ντετερμινιστικά φαινόμενα είναι αυτά στα οποία τα αποτελέσματα ενός ερμηνευτικού μοντέλου καθορίζονται πλήρως από τις τιμές των παραμέτρων και τις αρχικές συνθήκες. Τα στοχαστικά φαινόμενα και οι στοχαστικές διαδικασίες είναι πολύ πιο περίπλοκες από τις ντετερμινιστικές, αφού εμπεριέχουν τυχαιότητα. Προφανώς, ο φυσικός κόσμος αποτελείται, σε μεγάλο βαθμό, από στοχαστικότητα. Το γεγονός ότι υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση της «τυχαιότητας» των στοχαστικών δεδομένων, όπως για παράδειγμα η μοντελοποίηση και εξίσωση της στοχαστικής τυχαιότητας με αντίστοιχα ισοδύναμα ντετερμινιστικά στοιχεία (Cooper et al., 2004), δείχνει την ανάγκη αντιμετώπισης της δύσκολης φύσης της τυχαιότητας που ενυπάρχει στα στοχαστικά δεδομένα. Χαρακτηριστικά δεδομένα στοχαστικής φύσεως είναι τα δεδομένα κλίματος, τα μετεωρολογικά δεδομένα καιρού, κ.ά. (Weisheimer et al., 2014; Shutts et al., 2011). Άλλα στοχαστικά δεδομένα μπορεί να αφορούν ηλιακά δεδομένα, κοσμική ακτινοβολία, γεωμαγνητικές καταιγίδες, κτλ. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, ασχοληθήκαμε με στοχαστικά φυσικά φαινόμενα της φυσικής διαστήματος, και πιο συγκεκριμένα, με φαινόμενα ηλιακής φύσεως (ηλιακές κηλίδες, ηλιακές εκλάμψεις, ταχύτητα ηλιακού ανέμου) καθώς και γεωμαγνητικής φύσεως (γεωμαγνητικές καταιγίδες).

Από την άλλη, η οικονομία είναι μία θεμελιώδης έννοια, η οποία διαπλέκεται με όλη την οργάνωση και τη βιωσιμότητα, τόσο ενός νοικοκυριού, όσο και ενός κράτους. Η οικονομική δραστηριότητα περιλαμβάνει, χονδρικά, την παραγωγή του αγροτικού κλάδου, τη βιομηχανία και τις κατασκευές, τις επικοινωνίες, τον χρηματοοικονομικό κλάδο και τις διάφορες υπηρεσίες (Harris, 1948). Η οικονομία περιλαμβάνει δηλαδή τους διάφορους κλάδους, οι οποίοι επηρεάζουν καθημερινά την ζωή

όλων των ατόμων καθώς σχετίζεται με την υγειονομική περίθαλψη, την επικοινωνία, τη διατροφή και τις διάφορες υπηρεσίες (παιδεία, ψυχαγωγία, κτλ). Επηρεάζει όλες τις πτυχές του ατόμου, ή μιας κοινωνίας αν μιλάμε πιο μακροσκοπικά, και τις σχέσεις του με τον κόσμο, το περιβάλλον αλλά και τον ίδιο του τον εαυτό. Οι διάφοροι κλάδοι μίας οικονομίας συνεχώς αλληλεπιδρούν με αποτέλεσμα η λειτουργία και παραγωγή του ενός να επηρεάζει και τους άλλους.

Παρότι πολλοί ερευνητές, θεωρητικοί και εμπειρικοί, έχουν προσπαθήσει να μελετήσουν την οικονομική δραστηριότητα μέσα από διάφορα υποδείγματα κάνοντας χρήση πολύπλοκων μαθηματικών μοντέλων και εφαρμογών, λίγοι έχουν επιδιώξει να αναλύσουν την επίδραση των στοχαστικών φυσικών φαινομένων στην οικονομία. Αν και φαίνεται λογικό πως το φυσικό περιβάλλον μπορεί να έχει μία επίδραση στην οικονομία, το θέμα δεν έχει ιδιαίτερα «απήχηση». Ένα κλασικό πρόβλημα που αναφέρεται είναι η έλλειψη δεδομένων υψηλής συχνότητας (Eastwood et al., 2017). Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί όμως χρησιμοποιώντας ειδικές μεθόδους και φίλτρα για άντληση πληροφορίας ακόμα και μέσα από λίγες παρατηρήσεις δεδομένων. Συνεπώς, στον 21^ο αιώνα, με τη διάθεση πληροφορίας και δεδομένων στο διαδίκτυο, αλλά και με τη χρήση προγραμμάτων και προγραμματισμού με τεχνικές μεθόδους, μπορούμε να πούμε πως αυτό το πρόβλημα, σε σημαντικό βαθμό, μπορεί να ξεπεραστεί.

Παρόλο που ο αντίκτυπος των ηλιακών γεγονότων στην οικονομική δραστηριότητα φαίνεται να είναι ένα θέμα μεγάλης σημασίας, καθώς θα μπορούσε να προκαλέσει ζημιές έως και 2,7 \$ tn (Eastwood et al., 2017), πολύ περιορισμένη ερευνητική δραστηριότητα έχει αφιερωθεί στο θέμα (Lanzerotti, 2001). Με βάση τις εκτιμήσεις που έχουν γίνει, η πιθανή επίδραση των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στην οικονομία μπορεί να είναι τεράστια, με τρομακτικό κόστος σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα. Αυτό καθιστά επιτακτική την ανάλυση του φαινομένου καθώς και, εν συνεχεία, την προσπάθεια εύρεσης τρόπων αντιμετώπισής του. Ο Jevons ήταν μεταξύ των πρώτων που υποστήριζαν ότι η ηλιακή δραστηριότητα θα μπορούσε να έχει

αντίκτυπο στην οικονομική δραστηριότητα (Jevons 1878, 1879, 1882) καθώς και σε άλλα κοινωνικά φαινόμενα (Chizhevsky, 1924, 1938, 1976, Otsu et al., 2006). Σήμερα, έχει πραγματοποιηθεί κάποια ερευνητική προσπάθεια σχετικά με τις επιπτώσεις της ηλιακής δραστηριότητας, όμως μόνο σε περιορισμένους κλάδους της οικονομίας και όχι με χρήση αυστηρών μεθόδων στατιστικής και οικονομετρίας. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Bhasin και Bardhan (2012), η επίδραση αυτών των φαινομένων στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να παρεμποδίσει τα συστήματα επικοινωνίας, προκαλώντας τεράστιες ζημιές. Οι Garcia-Mata και Shaffner (1934) επιχείρησαν να αποδείξουν τη λεγόμενη "υπόθεση Jevons" σχετικά με τους κύκλους των επιχειρήσεων και τις ηλιακές κηλίδες, όμως λόγω της έλλειψης των κατάλληλων τεχνικών το 1934, η εμπειρική ανάλυση που έλαβε χώρα δεν ήταν ικανοποιητική. Επιπρόσθετα, υπάρχουν ενδείξεις πιθανών σχέσεων μεταξύ των τιμών του σιταριού και των καιρικών συνθηκών που οφείλονται στις παραλλαγές του ηλιακού κύκλου, ακόμη και στη μεσαιωνική Αγγλία (Pustilnik, 2003). Τέλος, υπάρχουν ενδείξεις ότι η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στη γεωργική οικονομία (Burrill and Dietz, 1981). Με βάση τη βιβλιογραφία, καμία έρευνα ως τώρα δεν έχει διενεργηθεί για τη διερεύνηση και ανάλυση αυτών των φαινομένων, ηλιακής και γεωμαγνητικής φύσεως, στην οικονομική δραστηριότητα με χρήση στατιστικών ή οικονομετρικών μεθόδων και τεχνικών. Η μέχρι τώρα έρευνα της επιστημονικής κοινότητας στηρίζεται είτε σε θεωρητικές μελέτες, είτε σε πολύ απλοϊκές εμπειρικές μελέτες.

Η θεματική της επίδρασης των στοχαστικών φαινομένων στην οικονομική δραστηριότητα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς ανοίγει άλλο ένα πεδίο το οποίο είχε μέχρι τώρα παραβλεφθεί από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει ως στόχο τη χρήση κατάλληλων οικονομετρικών μεθοδολογιών, για τον εμπειρικό έλεγχο της επίδρασης των στοχαστικών φυσικών φαινομένων και πιο συγκεκριμένα, του ηλίου και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, στην οικονομική δραστηριότητα. Το γεγονός ότι κάποιοι ερευνητές έχουν επιχειρήσει να

διατυπώσουν τον πιθανό μηχανισμό επιρροής της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας στην οικονομία, χωρίς όμως μία ενδελεχή στατιστική και οικονομετρική ανάλυση, καθιστούν την αξία της παρούσας διδακτορικής διατριβής ακόμα πιο μεγάλη. Για να αναλυθεί αυτό το σύνθετο και πολύπλοκο φαινόμενο, διερευνήσαμε τόσο τη μονοδιάστατη κατεύθυνση της επίδρασης μίας ή και περισσότερων φυσικών μεταβλητών σε μία οικονομική μεταβλητή, καθώς επίσης και την αλληλεπίδραση πολλαπλών οικονομικών μεταβλητών μεταξύ τους, με την εξωγενή επέμβαση μίας ή και πολλών φυσικών μεταβλητών. Οι μέθοδοι και οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν είναι στατιστικές και οικονομετρικές, ενώ έγινε κατασκευή και μιας νέας μεθόδου για την εκτίμηση της έμμεσης αλληλεπίδρασης των διαφόρων οικονομικών κλάδων μεταξύ τους, μέσα από ένα οικονομικό δίκτυο. Τα αποτελέσματα δείχνουν τον τρόπο που τα στοχαστικά φυσικά φαινόμενα επιδρούν στους διάφορους κλάδους της οικονομίας, αναδεικνύοντας και την αλληλεπίδραση των διαφόρων κλάδων της οικονομίας μεταξύ τους, λόγω της δράσης των φυσικών φαινομένων. Η παρούσα διδακτορική διατριβή εξετάζει αυτό το σύνθετο και ανεξερευνητο ζήτημα, αναδεικνύοντας παράλληλα τον ρόλο των ηλιακών μεταβλητών στο οικονομικό σύστημα, η σημασία των οποίων ως τώρα είχε παραβλεφθεί.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, μελετήθηκαν οι επιπτώσεις στην οικονομική δραστηριότητα, στη χρηματοοικονομική δραστηριότητα, καθώς και στην αγορά πετρελαίου.

Έτσι, για την οικονομική δραστηριότητα, η έρευνά μας περιλαμβάνει τα εξής: Για τα ηλιακά φαινόμενα και την οικονομική δραστηριότητα στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ, χρησιμοποιώντας τον δείκτη Dst για την ανίχνευση των γεωμαγνητικών φαινομένων, εξετάσαμε την επίδραση αυτών των φαινομένων στην παραγωγή του κλάδου τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ. Χρησιμοποιώντας την αιτιότητα κατά Granger και την κατά βήμα αιτιότητα, αναδεικνύουμε τη σχέση αιτίου-αποτελέσματος. Τα γεωμαγνητικά φαινόμενα (διαστημικός καιρός) επηρεάζουν την παραγωγή του κλάδου των τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ, και χρησιμοποιώντας μοντέλα πρόβλεψης,

δείχνουμε ότι αυτά τα φαινόμενα συνδράμουν και στην μοντελοποίηση και πρόβλεψη της παραγωγής του συγκεκριμένου κλάδου. Στο ίδιο πλαίσιο, εξετάσαμε και αναλύσαμε τη Γαλλία, χαρακτηριστική χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης που δίνει βάρος στην «κοινωνία πληροφορίας», καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ο δείκτης Dst (διαστημικού καιρού), σε συνδυασμό με τις ηλιακές κηλίδες, επηρεάζουν, μέσω της κατά βήμα αιτιότητας, την παραγωγή του κλάδου τηλεπικοινωνιών της Γαλλίας. Χρησιμοποιώντας την ίδια μοντελοποίηση, ο δείκτης γεωμαγνητικής δραστηριότητας Dst και οι ηλιακές κηλίδες, συνεισφέρουν στην πρόβλεψη της παραγωγής του κλάδου τηλεπικοινωνιών των ανωτέρω χωρών. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας δύο μοντέλα παλινδρόμησης (όπου στο ένα η εξαρτημένη μεταβλητή ήταν η παραγωγή του κλάδου τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ και στο άλλο του κλάδου των χρηματοοικονομικών υπηρεσιών), παρατηρώντας ότι υπάρχει συσχέτιση των σφαλμάτων των δύο μοντέλων, εξετάσαμε την επίδραση του γεωμαγνητικού δείκτη Dst και των ηλιακών κηλίδων στους δύο ανωτέρω κλάδους της οικονομίας των ΗΠΑ. Με αυτόν τον τρόπο, εξετάσαμε την ταυτόχρονη επίδραση του ηλιακού και διαστημικού καιρού, στον κλάδο τηλεπικοινωνιών και χρηματοοικονομικών των ΗΠΑ. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήσαμε ένα δίκτυο με τους διάφορους κλάδους της οικονομίας των ΗΠΑ και τα ηλιακά φαινόμενα (ηλιακές κηλίδες, ηλιακές εκλάμψεις και ηλιακός άνεμος). Με αυτό το μοντέλο, εντοπίσαμε την άμεση επίδραση των μεταβλητών ηλιακής φύσεως στον κλάδο ενέργειας των ΗΠΑ και, στη συνέχεια, υπολογίσαμε την επίδραση του κλάδου αυτού στους άλλους κλάδους. Με αυτό τον τρόπο, εξάγουμε την έμμεση αντίδραση των διαφόρων κλάδων των ΗΠΑ από μία διαταραχή που μπορεί να δημιουργηθεί στον κλάδο ενέργειας των ΗΠΑ, λόγω ηλιακών φαινομένων.

Στα πλαίσια της χρηματοοικονομικής δραστηριότητας, και χρησιμοποιώντας την ίδια μεθοδολογία που προαναφέραμε, αναπτύξαμε ένα δίκτυο με τους διάφορους κλάδους της οικονομίας των ΗΠΑ και τα ηλιακά φαινόμενα (ηλιακές κηλίδες, ηλιακές εκλάμψεις και ηλιακός άνεμος). Μέσω αυτού του μοντέλου, μελετήσαμε την άμεση επίδραση των μεταβλητών

ηλιακής φύσεως στον χρηματοοικονομικό κλάδο των ΗΠΑ, και στη συνέχεια υπολογίσαμε την επίδραση του κλάδου αυτού στους άλλους κλάδους. Με αυτό τον τρόπο, εξάγουμε την έμμεση αντίδραση των διαφόρων κλάδων των ΗΠΑ από μια διαταραχή που μπορεί να δημιουργηθεί στον χρηματοοικονομικό κλάδο των ΗΠΑ, λόγω ηλιακών φαινομένων. Επίσης, εξετάσαμε την επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στη μεταβλητότητα της χρηματοοικονομικής συνιστώσας του δείκτη NASDAQ. Επομένως, χρησιμοποιώντας μέτρα ηλιακής δραστηριότητας, δημιουργήσαμε μοντέλα ερμηνείας και πρόβλεψης της μεταβλητότητας της χρηματοπιστωτικής συνιστώσας του δείκτη NASDAQ.

Τέλος, εξετάσαμε και την αγορά πετρελαίου. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της πραγματοποιηθείσας μεταβλητότητας (realized volatility) για την περίπτωση του δείκτη WTI, δείξαμε ότι εκτός άλλων οικονομικών μεταβλητών (π.χ. δείκτης τιμών καταναλωτή, 10ετές ομόλογο των ΗΠΑ), και ο ηλιακός καιρός, μέσω των ηλιακών εκλάμψεων, και πιο συγκεκριμένα, μέσω της πραγματοποιηθείσας μεταβλητότητας αυτών, συνεισφέρει στην πρόβλεψη της πραγματοποιηθείσας μεταβλητότητας των τιμών πετρελαίου.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής αναδεικνύουν την επίδραση των διαφόρων φαινομένων ηλιακής και γεωμαγνητικής φύσεως, με διαφορετικό τρόπο, σε πολλούς τομείς της οικονομίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:
ΗΛΙΑΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΗ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

2.1 Βασικά χαρακτηριστικά του ήλιου

Ο ήλιος είναι ένας αστέρας με ηλικία 5 δισεκατομμύρια χρόνια, περίπου. Η σημασία του ήλιου για τη Γη είναι πολύ μεγάλη καθώς είναι ο πλησιέστερος αστέρας σε αυτήν και αποτελεί πηγή θερμότητας, φωτός, ενέργειας και ζωής για τον πλανήτη μας. Η επίδρασή του στη γήινη δραστηριότητα είναι πολύπλευρη και περιλαμβάνει θερμικά, μαγνητικά και γενικότερα ενεργειακά φαινόμενα. Ο ήλιος μέσα από την περιοδική και συνήθως ήπια συμπεριφορά του, αλλά και από τις στοχαστικές και ακραίες εκδηλώσεις του μπορεί να μας επηρεάσει από πολλές απόψεις. Για παράδειγμα, η μαγνητική ενέργεια που απελευθερώνεται μπορεί να διαταρράξει διάφορα συστήματα και να παρεμποδίσει την επικοινωνία. Επίσης, η θερμική του ενέργεια μπορεί να διαβρώσει και να καταστρέψει διάφορα υλικά ενώ τα σωματίδια και η ακτινοβολία που εκπέμπει μπορεί να έχουν αρνητική επίδραση στα έμβια όντα. Επομένως, η επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στον άνθρωπο, στην κοινωνία και στην οικονομία είναι μεγάλη, και η μελέτη των φαινομένων που σχετίζονται με τον ήλιο και την επίδρασή του σε εμάς αποτελούν σημαντικό πεδίο έρευνας.

Η απόσταση του ήλιου από τη Γη είναι $1\text{AU}=149.6 \times 10^6 \text{ km} = 23.456$ ισημερινές ακτίνες της Γης. Η φαινόμενη ακτίνα του ηλιακού δίσκου είναι $15'59'',63 = 959'',63$. Η πραγματική τιμή της ηλιακής ακτίνας είναι $696.000 \text{ km} = 6,96 \times 10^{10} \text{ cm}$ (Λασκαρίδης, 2011).

Χρησιμοποιώντας τον τρίτο νόμο του Kepler:

$$\frac{a^3}{T^2} = G \frac{(m_1+m_2)}{4\pi^2} \quad (2.1)$$

Όπου a η ακτίνα της τροχιάς περιφοράς της Γης (σώμα 2) γύρω από τον ήλιο (σώμα 1), T η περίοδος περιφοράς της γης γύρω από τον ήλιο (1 έτος), G η σταθερά βαρύτητας, m_1 η μάζα του ήλιου και m_2 η μάζα της γης. Επομένως, η μάζα του ήλιου είναι $M_0 = 1.989 \times 10^{33} \text{ gr}$ και από τη μάζα, υπολογίζεται η πυκνότητά του $\rho_0 = 1.4,9 \text{ gr cm}^{-3}$. Από αυτά τα στοιχεία, ευρίσκεται και η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια του ήλιου είναι $g_0 = 2.74 \times 10^4 \text{ cm/sec}^2$, δηλαδή 27.9 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στην επιφάνεια της γης (Λασκαρίδης, 2011).

Η κύρια πηγή ενέργειας στους αστέρες είναι η θερμοπυρηνική ενέργεια. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους φτάνει σε πολλά εκατομύρια βαθμούς, και οι πυρήνες των ατόμων μεταβάλλονται από το ένα είδος στο άλλο, με πιο σημαντική, τη μετατροπή του υδρογόνου σε ήλιο. Η μετατροπή αυτή ενέργειας συνοδεύεται από απελευθέρωση ενέργειας. Επομένως, τα σημαντικότερα στοιχεία του ήλιου είναι το υδρογόνο και το ήλιο (Asplund et al., 2006). Ο ήλιος αποτελείται από διάφορες ζώνες-περιοχές. Το εσωτερικό τμήμα του ηλίου (με ακτίνα από 0 ως 175.000 km) είναι αυτό που καλείται πυρήνας και θεωρείται πως εκτείνεται στο 25% της ολικής ακτίνας του ηλίου. Αποτελεί την περιοχή του ήλιου όπου παράγεται η μεγαλύτερη ενέργεια με τη θερμοκρασία να φτάνει ως και 1.56×10^7 °K. Η πίεση στον πυρήνα του ηλίου έχει υπολογιστεί σε 2.5×10^{11} atm (Benestad, 2006).

Κάθε αστέρας, έτσι και ο ήλιος, μπορεί να καταταγεί σε ένα διάγραμμα, το γνωστό διάγραμμα H-R. Το διάγραμμα H-R (Hertzsprung - Russell) κατατάσσει τους αστέρες σε ένα διάγραμμα με βάση τη σχέση επιφανειακή θερμοκρασία - λαμπρότητα (Hertzsprung, 1908; Russell, 1914). Οι περισσότεροι αστέρες με τον καιρό μεταβάλλουν τη φωτεινότητα και τη θερμότητά τους καθώς οι αστέρες σταδιακά συστέλλονται λόγω βαρύτητάς τους και θερμαίνονται λόγω της μετατροπής της δυναμικής τους ενέργειας σε θερμότητα και ακτινοβολία (Δανέζης και Θεοδοσίου, 2012). Έτσι, ένας πρωτοαστέρας εντοπίζεται πάνω δεξιά στο διάγραμμα H-R και σταδιακά, από ψυχρό και φωτεινό αντικείμενο, μετακινείται προς κάτω και αριστερά στο διάγραμμα H-R καθώς συστέλλεται και η φωτεινότητά του ελαττώνεται. Σε κάποια στιγμή, ο αστέρας θα συναντήσει την Κύρια Ακολουθία του διαγράμματος H-R. Σε αυτή τη φάση, οι πρωτοαστέρες μετατρέπονται σε αστέρες και τα εσωτερικά αποθέματα του αστέρα καίγονται μέσω πυρηνικών αντιδράσεων (Δανέζης και Θεοδοσίου, 2012). Έτσι, οι αστέρες ακολουθούν αυτή την ευθεία (υπάρχουν και αποκλίσεις), ακολουθώντας μία σχέση ως προς την επιφανειακή τους θερμοκρασία και τη λαμπρότητά τους (Schrijver and Zwaan, 2000). Ο ήλιος βρίσκεται κάπου στη μέση, με μέση πυκνότητα.

Επομένως, μπορούμε να πούμε πως ο ήλιος είναι ένας κοινότατος αστέρας της Κύριας Ακολουθίας.

Για να κατανοήσουμε τον τρόπο εκπομπής ακτινοβολίας του ήλιου, πρέπει πρώτα να αναφερθούμε στο μέλαν σώμα. Ως μέλαν σώμα, ορίζουμε το σώμα το οποίο απορροφά όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω του, ενώ δεν ανακλά καθόλου. Το φάσμα εκπομπής μέλανος σώματος αντιστοιχεί σε συνεχές φάσμα, το οποίο διακόπτεται από μια σειρά χαρακτηριστικών σκοτεινών γραμμών απορρόφησης. Οι γραμμές αυτές, γνωστές και ως γραμμές Fraunhofer, προέρχονται από την απορρόφηση του φωτός της φωτόσφαιρας από άτομα που βρίσκονται στις περιοχές της ατμόσφαιρας του ήλιου, τα οποία προσλαμβάνοντας ενέργεια διεγείρονται δίνοντας γραμμικό φάσμα απορρόφησης. Από την άλλη, η περιοχή της ατμόσφαιρας του ήλιου εκπέμπει γραμμικό φάσμα εκπομπής, καθώς άτομα υδρογόνου τα οποία βρίσκονται, συγκρούονται με ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα να ιονίζονται και να εκπέμπουν σε χαρακτηριστικές συχνότητες. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο κατανέμεται σε όλη σχεδόν την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δηλαδή τη ραδιοφωνική, την υπέρυθρη, την ορατή, την υπεριώδη, την περιοχή των ακτίνων Χ και την περιοχή των ακτίνων γ. Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε στρώμα του, ανάλογα της θερμοκρασίας του, εκπέμπει διαφορετικού τύπου ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Από τον ήλιο λαμβάνουμε επίσης σωματιδιακή ακτινοβολία, προερχόμενη από το στέμμα (ηλιακός άνεμος), τη χρωμόσφαιρα (εκλάμψεις), καθώς και από τον πυρήνα (ηλιακά νετρίνο).

Βασικά χαρακτηριστικά του ήλιου, από τα οποία μπορούμε να πούμε πως αποτελείται είναι ο πυρήνας, η ζώνη ακτινοβολίας, η ζώνη μεταφοράς και η ατμόσφαιρά του. Η ανάλυση του ηλίου, ως φυσική ακολουθία, τόσο χωρικά, όσο και χρονικά (εκτύλιξη στο χρόνο), είναι σκόπιμο να γίνει από το εσωτερικό προς το εξωτερικό. Επομένως, το εσωτερικό τμήμα του ήλιου είναι ο πυρήνας. Ως πυρήνα, θεωρούμε την κεντρική περιοχή του ήλιου, με ακτίνα περίπου 0.25 της ηλιακής ακτίνας και περιέχει περίπου το 10% της μάζας του ηλίου. Η θερμοκρασία σε αυτό το επίπεδο είναι της τάξεως των 1.5×10^6 °K.

Μέσω της σύντηξης του υδρογόνου σε ήλιον, παράγεται η ενέργειά του, μέσω της αντίδρασης πρωτονίου-πρωτονίου. Στις συνθήκες που επικρατούν στον πυρήνα, η ύλη (η οποία αποτελεί το 90% της μάζας του πυρήνα), βρίσκεται υπό μορφή ατομικών πυρήνων και ηλεκτρονίων που αποχωρίστηκαν από τους πυρήνες τους. Η ενέργεια σε αυτές τις περιοχές ακτινοβολείται υπό τη μορφή φωτονίων υψηλής ενέργειας, ακτίνων γ και ακτίνων X (Δανέζης και Θεοδοσίου, 2012). Η αμέσως επόμενη περιοχή (μετά τον πυρήνα) είναι η ζώνη ακτινοβολίας. Αυτή φτάνει έως και 0.85 της ηλιακής ακτίνας και οι θερμοκρασίες σε αυτόν τον χώρο κυμαίνονται από 8×10^6 $^{\circ}\text{K}$ έως 5×10^6 $^{\circ}\text{K}$, αναλόγως του βάθους. Η ενέργεια που διαδίδεται διαμέσου αυτού του στρώματος, όπως υποδηλώνει και το όνομά της, γίνεται με ακτινοβολία. Η ακτινοβολία που παράγεται στις περιοχές του πυρήνα προσπαθεί να βγει από τις εξωτερικές στιβάδες του ήλιου, και απορροφάται από τα πυκνά στρώματα ζώνης ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, αυτή η ακτινοβολία επανεκπέμπεται, με το φαινόμενο αυτό να εκτυλίσσεται ξανά και ξανά (σε κάθε εκατοστό βάθους), μέχρι να φτάσει στην επόμενη περιοχή, τη ζώνη μεταφοράς. Ως ζώνη μεταφοράς θεωρούμε τη ζώνη αμέσως μετά την ζώνη ακτινοβολίας. Η ζώνη μεταφοράς φτάνει ως την επιφάνεια του ορατού ήλιου και η θερμοκρασία σε αυτή την περιοχή κυμαίνεται από 5×10^5 $^{\circ}\text{K}$ έως 6.6×10^3 $^{\circ}\text{K}$, ανάλογα το βάθος (Δανέζης και Θεοδοσίου, 2012). Η ενέργεια σε αυτή τη ζώνη, διαδίδεται, όπως υποδεικνύει το όνομά της, με μεταφορά. Οι θερμές ρευστές μάζες από τα κατώτερα στρώματα κινούνται προς την επιφάνεια του ήλιου και από κει, μετά από ψύξη, αποβάλλουν την ενέργειά τους, ξανακυλώντας προς το εσωτερικό. Στη συνέχεια, ξαναθερμαίνονται και επαναλαμβάνουν αυτή τη διαδικασία. Με αυτό τον τρόπο, θερμότητα μεταφέρεται από το εσωτερικό και θερμό μέρος του ήλιου, προς το εξωτερικό και ψυχρό. Τέλος, κάποιοι ερευνητές θεωρούν την περιοχή αυτή του ήλιου ως ιδιαίτερα σημαντική, καθώς θεωρούν πως το μαγνητικό πεδίο του ήλιου οφείλεται σε κινήσεις φορτισμένων σωματιδίων στη ζώνη μεταφοράς (Δανέζης και Θεοδοσίου, 2012).

2.2 Ατμόσφαιρα του ήλιου

Εκτός από τον πυρήνα, ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό του ήλιου, το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στη δραστηριότητά του, είναι και η ατμόσφαιρα του ηλίου. Ως ατμόσφαιρα του ήλιου θεωρούμε το τμήμα του στο οποίο η ενέργεια σταματά να μεταδίδεται με μεταφορά και αρχίζει να μεταδίδεται με ακτινοβολία, και σε ορισμένες περιπτώσεις και με διάχυση. Η ατμόσφαιρα του ήλιου αποτελείται από τρία στρώματα. Τη φωτόσφαιρα (το μεγαλύτερο μέρος της), τη χρωμόσφαιρα και τη μεταβατική ζώνη που θεωρείται τμήμα της, και τέλος το στέμμα (Πρέκα-Παπαδήμα κá, 2009). Αυτά είναι και τα μοναδικά μέρη του άστρου που μπορούμε να παρατηρήσουμε με τηλεσκόπιο, καθώς το εσωτερικό του (πυρήνας) είναι αδιαφανές. Η παρατήρηση των διαφόρων ατμοσφαιρικών ζωνών του ηλίου γίνεται σε διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Γενικά, με τον όρο ηλιακή δραστηριότητα, εννοούμε κάθε είδος δραστηριότητας που συμβαίνει σε οποιοδήποτε στρώμα του ηλίου, όπως για παράδειγμα ηλιακές κηλίδες, προεξοχές (prominences), στεμματικές διαταραχές. Συνήθως, όμως, η ηλιακή δραστηριότητα τείνει να συνδέεται με την ύπαρξη των ηλιακών κηλίδων (Thomas and Weiss, 1992). Παρόλα αυτά, σαφώς και υπάρχουν πολλά είδη δραστηριότητας του ήλιου, τα οποία δεν σχετίζονται απαραίτητα με τις ηλιακές κηλίδες. Σε κάθε στρώμα της ηλιακής ατμόσφαιρας δημιουργούνται φαινόμενα και σχηματισμοί που απελευθερώνουν διαφορετικού τύπου ακτινοβολία. Κάποια από αυτά μπορεί να είναι κυματικής φύσεως, όπως ακτίνες Χ, ακτίνες γ, ραδιοακτινοβολία, ορατή ακτινοβολία, υπεριώδης και υπέρυθη ακτινοβολία (ηλεκτρομαγνητικό φάσμα), είτε σωματιδιακής όπως ηλεκτρόνια, πρωτόνια και πυρήνες ηλίου. Κατά κύριο λόγο, η μελέτη της ατμόσφαιρας του ηλίου βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, μιας και το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας εκπέμπεται στην ορατή περιοχή του φάσματος (Πρέκα-Παπαδήμα κá, 2009). Η ατμόσφαιρα του ήλιου είναι ένα στρώμα αποτελούμενο από αραιό αέριο, το οποίο εκτείνεται από την ορατή επιφάνεια του ηλίου μέχρι το ύψος των 5×10^6 km. Όλος ο ήλιος (και η

ατμόσφαιρά του) αποτελείται από αέριο και η κατάσταση (διάδοση ενέργειας εντός του) γίνεται με μεταφορά. Πιο συγκεκριμένα, το αέριο του ηλίου είναι το γνωστό «πλάσμα». Ο όρος πλάσμα χρησιμοποιήθηκε το 1929 από τους Tonks και Langmuir για την περιγραφή ιονισμένου αερίου μιας ηλεκτρικής εκκένωσης. Από τότε, ο όρος επικράτησε για κάθε αέριο του οποίου τουλάχιστον ένα σημαντικό ποσοστό ατόμων ή μορίων είναι ολικά ή μερικά ιονισμένο (Βλάχος, 2000). Ένα αέριο μπορεί να ιονισθεί με πολλούς τρόπους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το στέμμα αστέρων, όπως και του ηλίου (θα αναφερθούμε παρακάτω εκτενέστερα για αυτό), όπου ο ιονισμός οφείλεται σε συγκρούσεις ατόμων λόγω της θερμοκρασίας του αερίου (10^6 - 10^7 °K), δηλαδή μία περίπτωση θερμικού ιονισμού. Επομένως, στα πλαίσια περιγραφής και ανάλυσης της ατμόσφαιρας του ηλίου, για την καλύτερη κατανόηση, είναι απαραίτητη η ανάλυση κάθε ατμοσφαιρικής στρώσης και ο σχολιασμός των ιδιοτήτων των μεταβατικών ζωνών (μεταξύ των τριών στρωμάτων της ηλιακής ατμόσφαιρας). Σε κάθε στιβάδα της ατμόσφαιρας του ηλίου, παρατηρείται ένα πλήθος διαφορετικών σχηματισμών οι οποίοι παρουσιάζουν μόνιμο χαρακτήρα. Αυτοί οι σχηματισμοί, χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους ως φαινόμενα «ήρεμου ηλίου». Τα φαινόμενα αυτά, διακρίνονται ανάλογα με το στρώμα της ατμόσφαιρας στο οποίο παρουσιάζονται.

Η φωτόσφαιρα, το πρώτο στρώμα του ηλίου (εσωτερικό), είναι η ορατή επιφάνεια του ηλίου και αποτελεί ένα λεπτό στρώμα αερίου από το οποίο παίρνουμε το μεγαλύτερο μέρος του ηλιακού φωτός. Το πάχος της φωτόσφαιρας είναι μικρότερο από 500 km και η μέση θερμοκρασία της είναι περίπου 6000 °K. Οι Gray και Livingston (1997), χρησιμοποιώντας τις φασματικές αναλογίες της φασματικής γραμμής ως δείκτες της αστρικής θερμοκρασίας, έδειξαν ότι η παρατηρούμενη μεταβολή της φωτοσφαιρικής θερμοκρασίας βρίσκεται σε φάση με τον ηλιακό κύκλο (σχολιάζεται παρακάτω). Κάτω από τη φωτόσφαιρα, το αέριο είναι πιο πυκνό και πιο θερμό, με αποτέλεσμα να ακτινοβολεί περισσότερο φως, το οποίο φως όμως δεν μπορεί να διαφύγει από τον ήλιο, λόγω των εξωτερικών αέριων

στρωμάτων. Αυτή είναι η αιτία που δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε το φως από τα βαθύτερα στρώματα. Από την άλλη, πάνω από τη φωτόσφαιρα, το αέριο είναι αραιότερο με αποτέλεσμα να μην ακτινοβολείται πολύ φως, επιτρέποντας όμως στο φως των πιο κάτω στρωμάτων να περάσει.

Στη φωτόσφαιρα παρατηρείται το φαινόμενο της κοκκίασης (granulation). Φωτεινοί κόκκοι ακανόνιστου σχήματος περιβάλλονται από σκοτεινές περιοχές, καλύπτοντας τη φωτόσφαιρα. Στην πραγματικότητα, είναι τα ανώτερα τμήματα των ρευμάτων μεταφοράς τα οποία πηγάζουν από τη ζώνη μεταφοράς και διοχετεύουν προς τα πάνω θερμότερο και λαμπρότερο υλικό από αυτό των γύρω περιοχών. Το ηλιακό ρευστό που προέρχεται από τα βαθιά στρώματα της ζώνης μεταφοράς έχει μεγαλύτερη ενέργεια με αποτέλεσμα να εκτινάσσεται πάνω από τη ζώνη μεταφοράς στη φωτόσφαιρα. Αυτά τα ρεύματα μεταφοράς, αφού αποβάλλουν την ενέργεια τους, βυθίζονται και πάλι στο εσωτερικό του ήλιου. Τα σημεία βύθισης φαίνονται πιο σκοτεινά λόγω της διαφοράς τους θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα οι κόκκοι να περιβάλλονται και να διαχωρίζονται από σκοτεινές ζώνες (Πρέκα-Παπαδήμα κά, 2009). Το φαινόμενο αυτό δεν αποτελεί μία στατική διαδικασία, αλλά εξελίσσεται δυναμικά, γεγονός που σημαίνει ότι οι κόκκοι δεν εμφανίζονται πάντα στο ίδιο σημείο, ούτε έχουν ίδια διάρκεια και έκταση. Επίσης, δεν εμφανίζονται όλοι μαζί, γιατί όταν ένα ανοδικό ρεύμα φτάνει στην επιφάνεια κάποιο άλλο βυθίζεται, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μια συνεχής κίνηση των ρευμάτων αυτών, στην επιφάνεια του ήλιου. Από αυτούς τους σχηματισμούς, αντιλαμβανόμαστε ότι η επιφάνεια της φωτόσφαιρας δεν είναι επίπεδη, αφού οι κόκκοι προεξέχουν πάνω, και τα σημεία βύθισης βρίσκονται πιο χαμηλά. Σε ανώτερα στρώματα της φωτόσφαιρας και στις υποχρωμοσφαιρικές περιοχές παρατηρείται και ένα αντίστροφο φαινόμενο, το οποίο ονομάζεται αντίστροφη κοκκίαση (reversed granulation).

Παρόμοια φαινόμενα με την κοκκίαση είναι η υπερκοκκίαση και η μεσοκοκκίαση. Η υπερκοκκίαση (supergranulation) είναι ένα φαινόμενο αντίστοιχο με αυτό της κοκκίασης, όμως περιλαμβάνει ανοδικά ρεύματα που

προέρχονται από πολύ βαθύτερα στρώματα του ήλιου, συγκριτικά με αυτά που συμβαίνουν στο φαινόμενο της κοκκίασης. Επομένως, το υλικό που αναβλύζει σε αυτή την περίπτωση είναι θερμότερο και λαμπρότερο από το αντίστοιχο της κοκκίασης, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται πάνω στη φωτόσφαιρα περιοχές, πιο πλατιές και λαμπρότερες από αυτές των κόκκων. Τα ανοδικά ρεύματα μεταφοράς, τα οποία δημιουργούν το φαινόμενο της υπερκοκκίασης, προκαλούν και στη χρωμόσφαιρα φαινόμενα που είναι αντίστοιχα με αυτά της κοκκίασης, όπως το χρωμοσφαιρικό δίκτυο, τις ακίδες ή πίδακες (αναφέρονται παρακάτω), μόνο που έχουν μεγαλύτερη έκταση. Στην πραγματικότητα οι υπερκόκκοι βρίσκονται βαθιά διασκορπισμένοι στις υποχρωμοσφαιρικές περιοχές και για αυτό είναι δύσκολα ανιχνεύσιμοι σε φωτοσφαιρικό επίπεδο. Επίσης, τα ανοδικά ρεύματα μεταφοράς, προκαλούν φαινόμενα και στο στέμμα, καθώς συνδέονται με την ανάπτυξη μαγνητικών πεδίων σε αυτό, τα οποία μάλιστα διαμορφώνουν και το σχήμα του. Η κίνηση των ανοδικών ρευμάτων μεταφοράς της υπερκοκκίασης έχει ως αποτέλεσμα την απόθεση των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου προς τα όρια των υπερκόκκων, όπου αυτό συγκεντρώνεται και ενισχύεται σημαντικά. Στα σημεία αυτά έχουμε επανασύνδεση μαγνητικών δυναμικών γραμμών.

Έτσι, δημιουργείται ένα χαρακτηριστικό πλέγμα γνωστό ως το δίκτυο του μαγνητικού πεδίου (Πρέκα-Παπαδήμα κά, 2009). Το δίκτυο αυτό, φαίνεται να συμπίπτει με το χρωμοσφαιρικό δίκτυο, το φαινόμενο της επανασύνδεσης οδηγεί σε έκλυση ενέργειας. Το αποτέλεσμα της ενέργειας αυτής, είναι η επιτάχυνση υλικού προς τα πάνω, τροφοδοτώντας το στέμμα με φορτισμένα σώματα, τα οποία αναπληρώνουν μέρος του υλικού το οποίο χάνεται εξαιτίας του ηλιακού άνεμου. Η διαδικασία αυτή συμβάλλει και στη θέρμανση του στέμματος.

Από την άλλη, παρατηρείται και το φαινόμενο της μεσοκοκκίασης. Η μεσοκοκκίαση (mesogranulation) αποτελεί ένα ενδιάμεσο φαινόμενο μεταξύ κοκκίασης και υπερκοκκίασης. Η δημιουργία του δεν φαίνεται να εντοπίζεται μόνο στα ανοδικά ρεύματα της ζώνης μεταφοράς, όπως ισχύει και για τα δύο άλλα φαινόμενα που προαναφέραμε (κοκκίαση, υπερκοκκίαση),

αλλά φαίνεται να παίζει ρόλο και η επιφανειακή ροή. Επομένως, η μεσοκοκκίαση ως αποτέλεσμα των ανοδικών ρευμάτων, όπως και στις άλλες περιπτώσεις, ο μηχανισμός είναι όμοιος, όμως τα ρεύματα τώρα έχουν ένα ενδιάμεσο μέγεθος μεταξύ αυτών που δημιουργούν το φαινόμενο της κοκκίασης και αυτών που δημιουργούν το φαινόμενο της υπερκοκκίασης. Αυτά τα ρεύματα βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια και μεταφέρουν υλικό από μεγαλύτερο βάθος δημιουργώντας κόκκους μεσαίου μεγέθους. Ο άλλος μηχανισμός είναι αποτέλεσμα της επιφανειακής ροής. Οι κόκκοι στη ζώνη της φωτόσφαιρας δεν μετατοπίζονται ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, αλλά σε ομάδες. Επίσης, αυτοί άλλοτε συγκλίνουν προς το ίδιο σημείο, ενώ άλλοτε αποκλίνουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται δύο ειδών ροές, μία προς τα μέσα (inflow) και μία προς τα έξω (outflow). Στη συγκλίνουσα ροή σχηματίζεται μια φωτεινή περιοχή, ενώ στην αποκλίνουσα ροή σχηματίζεται μια σκοτεινή περιοχή (Πρέκα-Παπαδήμα κ.α., 2009).

Ένα φαινόμενο υπό έρευνα είναι οι γιγαντιαίοι κόκκοι. Αυτοί φαίνονται να περιβάλλουν τους υπερκόκκους και η δημιουργία τους αποδίδεται σε ανοδικά ρεύματα μεταφοράς τα οποία εκκινούν από τα κατώτατα στρώματα (από τον πυθμένα) της ζώνης μεταφοράς. Οι γιγαντιαίοι κόκκοι είναι ένα φαινόμενο μεγάλης κλίμακας. Επίσης, κάποιοι ερευνητές, θεωρούν πως οι γιγαντιαίοι κόκκοι ευθύνονται και για φαινόμενα ηλιακής δραστηριότητας, καθώς με την κίνηση που προκαλούν στο ηλιακό ρευστό στη φωτόσφαιρα, παρασύρουν και συστρέφουν τους βρόχους και τα αναδυόμενα μαγνητικά κορδόνια/σωλήνες. Έτσι, οδηγούν σε συσσώρευση μαγνητικής ενέργειας και σε εκδήλωση εκρηκτικών φαινομένων, δηλαδή εκλάμψεις και στεματικές εκτινάξεις μάζας (Brajša et al., 1992).

Τέλος, ένα διαφορετικό φαινόμενο που παρατηρείται στην φωτόσφαιρα, στα πλαίσια του ήρεμου ήλιου, είναι η αμαύρωση του χείλους (limb darkening). Παρατηρώντας τον ήλιο στο οπτικό φάσμα, θα δούμε τον ηλιακό δίσκο να απεικονίζεται λαμπρότερος στο κέντρο και στο χείλος λιγότερο λαμπρός. Το φαινόμενο αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι το φως στο κέντρο του ηλιακού δίσκου προέρχεται και από βαθύτερα στρώματα, που

έχουν υψηλότερη θερμοκρασία, ενώ το φως στο χείλος προέρχεται μόνο από επιφανειακά στρώματα, τα οποία έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία, επομένως και μειωμένη λαμπρότητα.

Το αμέσως επόμενο στρώμα της ατμόσφαιρας του ήλιου είναι η χρωμόσφαιρα και βρίσκεται ακριβώς πάνω από τη φωτόσφαιρα. Το πάχος της είναι περίπου 10.000 km και είναι σχεδόν αόρατο (αέριο στρώμα). Αυτό συμβαίνει γιατί ένα μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας της δεν εκπέμπεται στην ορατή περιοχή του φάσματος και, επιπλέον, επειδή είναι πολύ αμυδρότερο από τη φωτόσφαιρα (περίπου 1000 φορές), η φωτόσφαιρα επικαλύπτει τη χρωμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να μην είναι ορατή, παρά μόνο κατά τη διάρκεια ολικών εκλείψεων ηλίου, όπου η σελήνη σκεπάζει τη φωτόσφαιρα. Όταν έχουμε έκλειψη, καθίσταται δυνατό να παρατηρήσουμε το μικρό εκείνο τμήμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται στο οπτικό παράθυρο, καθώς και ακτινοβολία που προέρχεται από το αστραπιαίο φάσμα (flash spectrum).

Το φαινόμενο του αστραπιαίου φάσματος συμβαίνει στην περίπτωση όπου το φάσμα απορρόφησης γίνεται φάσμα εκπομπής. Πρόκειται για ένα στιγμιαίο φαινόμενο, το οποίο επιβεβαιώνει τον νόμο αναστροφής των φασματικών γραμμών, και αναγκάζει τη χρωμόσφαιρα να εκπέμψει στα μήκη κύματος που απορροφά. Οι γραμμές απορρόφησης του ηλιακού φάσματος οφείλονται στο κατώτερο τμήμα της χρωμόσφαιρας γνωστό και ως ανατρεπτική ή απορροφητική στιβάδα (Πρέκα-Παπαδήμα κά, 2009). Συνθήκες έκλειψης (τεχνητή έκλειψη) μπορούμε κάλλιστα να δημιουργήσουμε και με τεχνητό τρόπο, με τη χρήση ειδικών ηθμών - φίλτρων. Όταν παρατηρούμε τον ηλιακό δίσκο με αυτόν τον ειδικό ηθμό, βλέπουμε τον ήλιο με ελαφρώς μεγαλύτερες διαστάσεις, εφόσον μπορούμε να δούμε και την περιοχή της χρωμόσφαιρας, η οποία εκτείνεται πέρα από αυτή της φωτόσφαιρας. Γενικά, ανάλογα με τον ηθμό που χρησιμοποιείται, γίνεται μελέτη της χρωμόσφαιρας σε συγκεκριμένο βάθος, μιας και κάθε περιοχή της, αναλόγως του βάθους, εμφανίζει και άλλη τιμή θερμοκρασίας, επομένως εκπέμπει και απορροφά σε άλλα μήκη κύματος, με βάση τον νόμο του Wien. Το χρώμα της χρωμόσφαιρας, τότε, φαίνεται ροζ, εξαιτίας του φάσματος στο

οποίο εκπέμπει. Εξαιτίας του θερμού, μικρής πυκνότητας αερίου της χρωμόσφαιρας, το αέριο παράγει φάσμα με λαμπρές γραμμές εκπομπής του υδρογόνου. Αυτό αναμειγνύεται με τις γραμμές εκπομπής άλλων στοιχείων, για να δώσουν τελικά αυτό το χαρακτηριστικό ροζ χρώμα. Το βασικό χαρακτηριστικό της ηλιακής χρωμόσφαιρας είναι η ακραία ανομοιομορφία των χαρακτηριστικών της. Στα χαμηλότερα στρώματα παρατηρούνται πολυάριθμες γραμμές εκπομπής που αντιστοιχούν στις γραμμές απορρόφησης της φωτόσφαιρας. Σε αυξανόμενο ύψος, αυτές οι γραμμές εξασθενούν. Κάθε περιοχή της χρωμόσφαιρας, αναλόγως του βάθους εμφανίζει και άλλη τιμή θερμοκρασίας, άρα εκπέμπει και απορροφά σε διαφορετικό μήκος κύματος. Επομένως, σε κάθε μήκος κύματος βλέπουμε διαφορετικό βάθος της ζώνης, άρα και διαφορετικές λεπτομέρειες των φαινομένων της (αφού απεικονίζουμε άλλη περιοχή κάθε φορά), καθώς και τον ίδιο τον ήλιο με ελαφρώς διαφορετικές διαστάσεις. Η χρωμόσφαιρα μπορεί να παρατηρηθεί σε γραμμικό φάσμα: στο ορατό (σειρά Balmer, H α , Ca II (H, K), He II), στο μακρινό υπεριώδες (EUV) καθώς και στα ραδιοφωνικά μήκη κύματος (mm). Το χρωμοσφαιρικό δίκτυο (chromospheric network) αποτελείται από σχηματισμούς, οι οποίοι αποτελούν προέκταση της υπερκοκκίασης (η οποία αναφέρθηκε προηγουμένως). Πρόκειται για φωτεινές περιοχές οι οποίες συσσωματώνονται από ασύμμετρους δακτυλίους, οι οποίοι συνιστούν ένα σκοτεινό περίγραμμα. Οι διαστάσεις τους είναι μεγαλύτερες από αυτές των σχηματισμών της υπερκοκκίασης, αφού, καθώς τα ανοδικά ρεύματα φθάνουν στο υψηλότερο σημείο τους μέσα στη χρωμόσφαιρα, ανοίγουν (απλώνονται), με αποτέλεσμα να μεγαλώνει και το εύρος τους. Πιο αναλυτικά, το χρωμοσφαιρικό δίκτυο περιλαμβάνει τις λαμπρές ψηφίδες (bright mottles) και τις νιφάδες (focculi), λαμπροί σχηματισμοί, παρατηρούμενοι στο μήκος κύματος της γραμμής K του ιονισμένου Ca II (Πρέκα-Παπαδήμα κá, 2009).

Επιπλέον, ακόμα και η δομή της χρωμόσφαιρας δεν είναι ομοιόμορφη. Η δομή της δεν είναι επίπεδη καθώς αποτελείται από ένα σύνολο πολυάριθμων βρόχων πλάσματος. Στο άκρο του κάτω μέρους της

χρωμόσφαιρας δεν είναι ευδιάκριτες οι λεπτομέρειες της δομής της χρωμόσφαιρας, στο μέσο τμήμα της όμως οι βρόχοι είναι ορατοί σαν ξεχωριστοί σχηματισμοί και στο ανώτερο τμήμα της χρωμόσφαιρας παρατηρούνται βραχείες κατακόρυφες κατασκευές πάχους έως και 3000 χιλιομέτρων, σαν αιχμές (spicules).

Οι ακίδες ή πίδακες (spicules) είναι φωτεινοί σχηματισμοί με ινώδη μορφή και βρίσκονται στα όρια των φωτεινών σχηματισμών του χρωμοσφαιρικού δικτύου. Φωτογραφίες ειδικού τύπου, όπως τα φιλτρογράμματα ή φασματοηλιογραφήματα, λαμβάνονται από φως που εκπέμπεται από ορισμένα άτομα ή ιόντα. Από παρατήρηση και ανάλυση των σχηματισμών αυτών, προκύπτει πως είναι πολύ ταχέα και κατακόρυφα ανοδικά ρεύματα υλικού, τα οποία εκτοξεύονται από τα χαμηλά στρώματα της χρωμόσφαιρας προς τον διαπλανητικό χώρο. Η παρατήρηση των σχηματισμών αυτών, πραγματοποιείται στις φασματικές περιοχές των γραμμών του υδρογόνου (H), στη σειρά Balmer και κυρίως στην H α , μέσω φασματοηλιογραφήματος του ηλιακού χείλους, αλλά και στις γραμμές του Ca II. Υπάρχουν διάφορες εκδοχές για τις ακίδες. Μία εκ των επικρατέστερων, θεωρεί πως αποτελούν τις κορυφές των ανοδικών ρευμάτων της υπερκοκκίασης, ενώ μια άλλη (επίσης εκ των επικρατέστερων) θεωρεί πως το υλικό που δημιουργεί τους πίδακες ακολουθεί τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου του ήλιου (Πρέκα-Παπαδήμα κά, 2009). Επομένως, οι ακίδες θεωρείται πως είναι ψυχρότερες περιοχές, οι οποίες εκτείνονται μέσα στο στέμμα (ανώτερο και θερμότερο τμήμα της ατμόσφαιρας). Όταν οι ακίδες σχηματίζονται στο άκρο του ηλιακού δίσκου, παρατηρούνται να σμίγουν μεταξύ τους, ενώ όταν σχηματίζονται στο κέντρο του ηλιακού δίσκου, παρατηρούνται να ξεπετάγονται γύρω από τα όρια των υπερκόκκων (Λασκαρίδης, 2011).

Τη ζώνη της χρωμόσφαιρας διαδέχεται μία άλλη ζώνη, εύρους 1000 km περίπου, η οποία καλείται μεταβατική ζώνη (transition zone) και θεωρείται ως το άνω στρώμα της χρωμόσφαιρας, δηλαδή θεωρούμε πως ανήκει σε αυτήν. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της είναι η απότομη αύξηση της

θερμοκρασίας. Καθώς η ενέργεια του ήλιου μεταδίδεται από τα εσωτερικά στρώματα προς τα έξω, η ενέργεια μεταδίδεται από τις ψυχρότερες περιοχές της φωτόσφαιρας και της χρωμόσφαιρας προς τις θερμότερες περιοχές της μεταβατικής ζώνης και του στέμματος, δηλαδή, αντίθετα με αυτό που επικρατεί υπό κανονικές συνθήκες. Αυτό το «παράδοξο» συμβαίνει επειδή η θερμοκρασία της τάξης των 105 και 106 K αντίστοιχα, που υφίσταται στη μεταβατική ζώνη και το στέμμα, είναι κινητική θερμοκρασία όπως προκύπτει από την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Έτσι, οι περιοχές της μεταβατικής ζώνης και του στέμματος (θα αναφερθούμε παρακάτω), είναι «ενεργειακά θερμότερες» από αυτές της φωτόσφαιρας και της χρωμόσφαιρας. Στην περίπτωση της χρωμόσφαιρας και του στέμματος, η μέση ελεύθερη διαδρομή των σωματιδίων είναι πάρα πολύ μεγάλη, δηλαδή της τάξης των εκατοντάδων χιλιάδων χιλιομέτρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υφίστανται συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων. Οι ταχύτητές τους όμως, είναι τόσο υψηλές που προσδίδουν στο αέριο των ανώτερων στρωμάτων (της χρωμόσφαιρας καθώς και του στέμματος) υψηλότερη κινητική ενέργεια, δηλαδή πολύ μεγάλη εσωτερική ενέργεια. Το φως της μεταβατικής ζώνης καλύπτει την υπεριώδη περιοχή του ηλιακού φάσματος, καθώς προέρχεται από τη διέγερση στοιχείων (πχ ο άνθρακας, το οξυγόνο, το θείο και το πυρίτιο), βαρύτερων του υδρογόνου, καθώς αυτό έχει απωλέσει όλα τα ηλεκτρόνια του και δεν μπορεί να διεγερθεί περαιτέρω, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας. Η μελέτη της μεταβατικής ζώνης γίνεται στα μήκη κύματος των στοιχείων που προαναφέραμε (μονοχρωματική παρατήρηση), καθώς και στα ραδιοκύματα (Πρέκα-Παπαδήμα κá, 2009).

Έχει παρατηρηθεί πως, γενικότερα, μεταξύ των διαφόρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας του ήλιου, υπάρχει μια μεταβατική ζώνη, με διάφορες ιδιότητες (όχι μόνο της χρωμόσφαιρας). Έτσι, για παράδειγμα, η διάδοση ενέργειας με «μεταφορά» παίζει σημαντικό ρόλο σε υπο-φωτοσφαιρικά στρώματα, και παράγουν τη μη ραδιενεργή ροή ενέργειας, η οποία απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα των αστέρων ενδιάμεσης και χαμηλής μάζας (Gershberg και Knyazeva, 2005). Αυτή η ροή ενέργειας, όπως στα

ακουστικά και στα υδρομαγνητικά κύματα, αλληλεπιδρά με την ατμοσφαιρική ύλη. Η πυκνότητα της ύλης μειώνεται με το ύψος που ακολουθεί το βαρομετρικό νόμο, ενώ η πυκνότητα της μη ραδιενεργούς ροής ενέργειας μειώνεται αρκετά αργά λόγω της ασθενούς απορρόφησης και της ασθενούς απόκλισης της ροής. Έτσι, εάν ο συντελεστής απορρόφησης αλλάξει ελαφρώς, η κατάσταση σταθερότητας της ατμόσφαιρας, στην οποία η ποσότητα απορροφηθείσας μηχανικής ενέργειας πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα της εκπεμπόμενης ενέργεια ακτινοβολίας, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας της ύλης με το ύψος. Ως αποτέλεσμα αυτού, υπάρχει μια αντιστροφή θερμοκρασίας. Πάνω από τη φωτόσφαιρα, με θερμοκρασία περίπου 5700 °K, χρωμόσφαιρα με θερμοκρασία από 5000 έως 20.000 °K, μια πολύ λεπτή περιοχή μετάβασης με τη θερμοκρασία να κυμαίνεται από 20.000 έως 10⁶ °K και το στέμμα, με θερμοκρασία πάνω από 10⁶ °K. Τα θερμοκρασιακά άλματα ανάμεσα στις γειτονικές στρώσεις της ατμόσφαιρας του ηλίου οφείλονται στη διακριτότητα των καταστάσεων της ύλης, των ατόμων υδρογόνου και ηλίου, τα οποία κυριαρχούν στις θερμοδυναμικές ιδιότητες του διαστημικού πλάσματος (Gershberg και Knyazeva, 2005).

Κλειστές γειτονικές ενεργές περιοχές του ηλίου σχηματίζουν ενεργά σύμπλοκα. Συνήθως, αυτές οι δομές τοποθετούνται στον ηλιακό δίσκο με τρόπο μη τυχαίο. Έτσι, υπάρχουν προτιμώμενες περιοχές εμφάνισης οι οποίες παραμένουν για μεγάλες περιόδους, τα λεγόμενα ενεργά μήκη. Κατά τη διάρκεια του ηλιακού ελαχίστου, η δραστηριότητα γειτονικών συμπλόκων επικαλύπτονται και είναι δύσκολο να διακριθούν. Η ηλιακή ατμόσφαιρα περιλαμβάνει μια λεπτή μεταβατική περιοχή, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται από τη χρωμόσφαιρα προς το στέμμα. Το πάχος αυτής της μεταβατικής περιοχής είναι πολύ μικρότερο από την κλίμακα πίεσης ύψους, αλλά αυτή η περιοχή παρέχει ισχυρή εκπομπή υπεριώδους ακτινοβολίας. Τόσο τα φωτοσφαιρικά σημεία όσο και τα χρωμοσφαιρικά στρώματα (focculles), αλλά και η εκπομπή γραμμών πάνω από τα σημεία στην μεταβατική περιοχή εξαρτώνται από τον ηλιακό κύκλο (Gershberg και Knyazeva, 2005).

Το ανώτερο και τελευταίο στρώμα της ατμόσφαιρας του ηλίου, το πιο κοντινό προς τη γη, είναι το στέμμα. Το στέμμα εκτείνεται πάνω από τη χρωμόσφαιρα και είναι ορατό με γυμνό μάτι μόνο κατά τη διάρκεια ολικών εκλείψεων του ηλίου, πάλι όταν η σελήνη καλύπτει τη φωτόσφαιρα. Το στέμμα φέγγει με ένα γαλακτώδες φως, το οποίο είναι πιο αμυδρό και από αυτό της πανσελήνου. Η πυκνότητα και η λαμπρότητα της ζώνης αυτής κυμαίνονται μόνο γύρω στο 10% των αντίστοιχων μεγεθών της χρωμόσφαιρας, γι' αυτό και μπορούμε να την παρατηρήσουμε στο οπτικό φάσμα μόνο σε κατάσταση ολικής έκλειψης (Πρέκα-Παπαδήμα κά, 2009). Η καταγραφή του στέμματος γίνεται με τεχνητή απόκρυψη του ηλιακού δίσκου. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι μελέτης του στέμματος του ηλίου, με δύο από αυτούς να είναι ο στεμματογράφος και η συλλογή δεδομένων από διαστημόπλοια (Αντωνακόπουλος και Λασκαρίδης, 1973). Το φάσμα εκπομπής του στέμματος αποτελείται από ένα συνεχές φάσμα καθώς και με προσθήκη γραμμών εκπομπής. Το συνεχές φάσμα παράγεται από το ηλιακό φως το οποίο διαχέεται από σκόνη καθώς και ελεύθερα ηλεκτρόνια τα οποία βρίσκονται στο στέμμα. Λόγω της τεράστιας θερμοκρασίας (~1.000.000 °K), τα ηλεκτρόνια κινούνται σε τεράστιες ταχύτητες και οι μετατοπίσεις Doppler που προκαλούνται από αυτές τις κινήσεις, σβήνουν όλες τις γραμμές απορρόφησης στο ηλιακό φως και, ως αποτέλεσμα, προκαλούν το συνεχές φάσμα. Οι γραμμές εκπομπής προκαλούνται από αέρια χαμηλής πυκνότητας αλλά πολλαπλού ιονισμού.

Στο εσωτερικό του στέμματος τα φωτόνια εκπέμπονται από ιόντα, αλλά στο εξωτερικό του στέμματος τα άτομα είναι πολλές φορές ιονισμένα και η εκπομπή τους αποτελεί ένδειξη χαμηλής πυκνότητας και μεγάλης θερμοκρασίας. Επομένως, το στέμμα μπορεί να παρατηρηθεί και στο γραμμικό φάσμα. Το 97% των γραμμών εκπομπής του στέμματος προέρχονται από ιόντα μεγάλου δυναμικού ιονισμού. Το δυναμικό αυτό προκύπτει από τα απαγορευμένα άλματα μαγνητικού διπόλου ιονισμένων ατόμων, εξαιτίας της υψηλής κινητικής θερμοκρασίας και της χαμηλής πυκνότητας της ύλης που επικρατεί στην περιοχή, δηλαδή από μεταπτώσεις

ηλεκτρονίων σε χαμηλότερες στάθμες, οι οποίες έχουν πολύ μικρή πιθανότητα να πραγματοποιηθούν. Οι φασματικές γραμμές εκπομπής ιόντων υψηλού ιονισμού αξιοποιούνται στη μελέτη του στέμματος σε διαφορετικά βάθη, αφού είναι ενδεικτικές της θερμοκρασίας που επικρατεί σε κάθε περιοχή, καθώς η θερμοκρασία μεταβάλλεται με το βάθος (Πρέκα-Παπαδήμα κά, 2009). Η θερμοκρασία στο στέμμα αυξάνεται όσο κινούμαστε από μέσα προς τα έξω, με το κατώτερο-εσωτερικό τμήμα να είναι μόλις 500.000 °K, ενώ στο ανώτερο-εξωτερικό φτάνει ως και τα 2.000.000 °K. Η υψηλότερη θερμοκρασία του στέμματος, συγκριτικά με τα προαναφερθέντα στρώματα (φωτόσφαιρα, χρωμόσφαιρα), έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας εδώ και χρόνια.

Έπειτα από μελέτη των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο στέμμα, πιστεύεται ότι στη θέρμανση του στέμματος συμβάλλουν, δύο κυρίως παράγοντες. Πρώτον, η μετατροπή των μαγνητουδροδυναμικών (MHD) κυμάτων σε θερμότητα, κατά το οποίο διαδιδόμενες ταλαντώσεις πλάσματος που πηγάζουν στη φωτόσφαιρα διαδίδονται προς την ατμόσφαιρα του ήλιου, μέσω των μαγνητικών δυναμικών γραμμών, που εκκινούν κάτω από την επιφάνειά του. Οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές εξέρχονται κατά συστάδες στην ηλιακή επιφάνεια και συγκρατούνται κοντά λόγω της μαγνητικής τάσης, δημιουργώντας σωλήνες ροής που κατά μήκος τους κινούνται τα σωματίδια, δηλαδή το πλάσμα. Τότε, στο πλάσμα δημιουργούνται ταλαντώσεις λόγω των κινήσεων της φωτόσφαιρας, με αποτέλεσμα οι δυναμικές γραμμές να ταλαντώνονται εγκάρσια μαζί του, και έτσι λικνίζονται. Ο άλλος μηχανισμός πριλαμβάνει ροή ενέργειας (μηχανικής ενέργειας) μέσω ακουστικών (κρουστικών) κυμάτων πυκνότητας από ρεύματα μεταφοράς. Κατά τη διέλευση του κύματος, δεν υπάρχουν απώλειες, ενώ έχουμε απότομη μείωση πυκνότητας στα εξωτερικά και αραιότερα στρώματα. Τότε, αυξάνουν η ταχύτητα ταλάντωσης και η ταχύτητα διάδοσης του κύματος, με αποτέλεσμα να έχουμε αύξηση των συγκρούσεων. Η μεγάλη αύξηση της ταχύτητας ταλάντωσης, οδηγεί στον σχηματισμό κρουστικού κύματος (shock wave), το οποίο αποδίδει άμεσα τη μηχανική του ενέργεια

στο στέμμα, καθώς έχουμε αύξηση των συγκρούσεων, η οποία προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας (Πρέκα-Παπαδήμα κά, 2009).

Φαίνεται πως οι τύποι κυμάτων που προκαλούν τη θέρμανση του στέμματος είναι ηχητικά κύματα (SW), κρουστικά κύματα (shock waves), γρήγορα και αργά μαγνητοϋδροδυναμικά (MHD) κύματα, κύματα Alfvén, επιφανειακά κύματα, κύματα πλάσματος, και μαγνητοϋδροδυναμικοί στροβιλισμοί (magnetohydrodynamic turbulence). Αντίστοιχα, οι μηχανισμοί θέρμανσης πλάσματος θεωρούνται η διάχυση κύματος (wave dissipation) και απορρόφηση ενέργειας από συντονισμό ιόντων που βρίσκονται σε κυκλοτρονική κίνηση (ion cyclotron resonance) αλλά και μικροεκλάμψεις και νανοεκλάμψεις, θέρμανση από πίδακες ή ακίδες, θέρμανση από ηλεκτροστατικά κύματα (μικροστροβιλισμοί), θέρμανση από μαγνητοϋδροδυναμικούς στροβιλισμούς εξαιτίας της συστροφής μαγνητικών δυναμικών γραμμών (MHD turbulence - magnetic helicity), ωμική θέρμανση από ρεύματα παράλληλα προς το πεδίο (field-aligned currents), διάχυση κυμάτων, φύλλα ρεύματος και διάχυση αυτών. Η μελέτη των φαινομένων που συμβάλλουν στη θέρμανση του στέμματος, θέμα που αποτελεί ακόμα πεδίο σημαντικής έρευνας, πραγματοποιείται από τους κλάδους της Φυσικής Πλάσματος, της Φυσικής Διαστήματος και της μηχανικής των Ρευστών ή Ρευστομηχανικής (Πρέκα-Παπαδήμα κά, 2009).

Το γεγονός ότι το στρώμα αυτό δεν εκπέμπει πολύ φως αποδεικνύει πως η πυκνότητα αυτού του στρώματος της ατμόσφαιρας του ήλιου είναι πολύ μικρή. Το φάσμα ανάλυσης του ηλιακού στέμματος περιλαμβάνει το ορατό, ακτίνες X, ραδιοσυχνότητες, υπεριώδες, και άλλα φάσματα μονοχρωματικά. Στα πλαίσια του ορατού φάσματος, μπορούμε να διακρίνουμε τρεις συνιστώσες του φάσματος ανάλυσης του στέμματος. Το στέμμα K ή στέμμα ηλεκτρονίων (Kontinuum corona) που οφείλεται στη διάχυση του φωτός της φωτόσφαιρας από ελεύθερα ηλεκτρόνια, δηλαδή, δεν δημιουργείται μέσα στο ίδιο το στέμμα. Οι πολύ υψηλές ταχύτητες προκαλούν μεγάλη διεύρυνση των φασματικών γραμμών (D-F) και το φάσμα είναι συνεχές και πολωμένο. Η συνιστώσα F ή αλλιώς ψευδοστέμμα

(Fraunhofer corona) οφείλεται στην περίθλαση του φωτός του ήλιου από στερεά σωματίδια που βρίσκονται διασκορπισμένα στο μεσοδιάστημα ήλιου-γης, πάνω στο επίπεδο της εκλειπτικής. Τέλος, το στέμμα E (Emission corona), είναι το μοναδικό που παράγεται μέσα στο στέμμα. Αυτή η συνιστώσα δεν απεικονίζεται σε τεχνητή έκλειψη, καθώς δίνει γραμμικό φάσμα εκπομπής. Αυτό συμβαίνει επειδή η μάζα των ιόντων που έχουν απομείνει στο στέμμα χωρίς να έχουν χάσει όλα τα ηλεκτρόνια τους (Ca, Fe) είναι πολύ μεγάλη, επομένως, αντίστοιχα, η ταχύτητα τους είναι πολύ μικρή και δίνουν μικρό εύρος στις γραμμές εκπομπής. Μπορεί να παρατηρηθεί και μονοχρωματικά (π.χ. Green corona). Στην περιοχή των ακτίνων X, οι φασματικές γραμμές εκπομπής που προέρχονται από τις στεμματικές περιοχές είναι πολυάριθμες και έτσι μπορούμε να παρατηρήσουμε το στέμμα στο συνεχές και στο γραμμικό, χωρίς να απαιτούνται συνθήκες έκλειψης (τεχνητής ή φυσικής) (Πρέκα-Παπαδήμα κá, 2009).

Το στέμμα μπορούμε, επίσης, να το εξετάσουμε στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (RF) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο ήλιος που απεικονίζεται στις ραδιοσυχνότητες ονομάζεται Ραδιοήλιος. Επομένως ο όρος ραδιοήλιος αναφέρεται στο ποσό της ακτινοβολίας του ήλιου, το οποίο ανιχνεύεται σε μήκη κύματος τα οποία κυμαίνονται από 8 mm έως 18 km, δηλαδή στο φάσμα των ραδιοκυμάτων. Η ακτινοβολία αυτή προέρχεται από την ατμόσφαιρά του και μεταβάλλεται με το βάθος (όσο αυξάνεται το βάθος τόσο μειώνεται το μήκος κύματος). Αυτό σημαίνει πως ανάλογα με το μήκος κύματος που παρατηρούμε στα ραδιοκύματα, απεικονίζεται και διαφορετικό τμήμα της ατμόσφαιρας του ήλιου. Έτσι, για μήκος κύματος της τάξεως mm-cm ανιχνεύεται η περιοχή της χρωμόσφαιρας προς το στέμμα, ενώ για μήκη κύματος κοντά στα 10 cm ανιχνεύονται τα χαμηλότερα στρώματα του στέμματος, και τέλος, για μήκη κύματος της τάξεως των m εξετάζονται τα υψηλότερα στρώματα στέμματος. Επίσης, το γεγονός ότι ο ραδιοήλιος απεικονίζει και τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας του ήλιου, υποδηλώνει ότι θα είναι μεγαλύτερος από τον ορατό ήλιο (ο οποίος απεικονίζει κυρίως τη φωτόσφαιρά του). Η ραδιοακτινοβολία του ήλιου

διακρίνεται σε θερμική ραδιοακτινοβολία, η οποία είναι σταθερή και ανάλογη του χρόνου, και μη θερμική ραδιοακτινοβολία, η οποία είναι τριών ειδών και μεταβλητή, δηλαδή ταλάντωσης πλάσματος, πεδήσεως και σύγχροτρον (Πρέκα-Παπαδήμα κá, 2009).

Το στέμμα επίσης μπορεί να μελετηθεί στο «μακρινό» υπεριώδες (Extreme Ultra Violet/EUV). Σε αυτό το φάσμα μπορεί να γίνει είτε μονοχρωματικά, σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, είτε ακόμα και στο συνεχές. Τέλος, το στέμμα μπορεί να μελετηθεί μονοχρωματικά και σε άλλες γραμμές, όπως αυτές των στοιχείων Fe IX, Fe X, Fe XII, FeXV, He II κ.ά. Αν παρατηρήσουμε τον ηλιακό δίσκο στην οριακή περιοχή του ανάμεσα στην χρωμόσφαιρα και το στέμμα, παρατηρούμε να εμφανίζεται το αντίστροφο φαινόμενο από αυτό της αμαύρωσης χείλους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αμαύρωση κέντρου. Έτσι, παρατηρείται μια αύξηση της λαμπρότητας από το κέντρο προς την περιφέρεια (ή αντίστροφα μείωση της λαμπρότητας από την περιφέρεια προς το κέντρο). Η αιτία που συμβαίνει αυτό το φαινόμενο είναι η στιβάδα προέλευσης της απεικονιζόμενης ακτινοβολίας. Στις περιοχές του χείλους, η ακτινοβολία προέρχεται από εξωτερικές περιοχές της χρωμόσφαιρας και της βάσης του στέμματος, που είναι πολύ θερμές, άρα και πολύ λαμπρές. Αντίστοιχα, στις περιοχές του κέντρου, η ακτινοβολία προέρχεται και από πιο εσωτερικές περιοχές της χρωμόσφαιρας που είναι πιο ψυχρές, επομένως λιγότερο λαμπρές. Αξίζει να συγκρίνουμε τα δύο αυτά φαινόμενα, τα οποία μοιάζουν. Η αμαύρωση χείλους παρατηρείται στη φωτόσφαιρα, ενώ η αμαύρωση κέντρου στο χαμηλό στέμμα. Επίσης, στην αμαύρωση κέντρου ο ήλιος εμφανίζεται να έχει διπλάσια ακτίνα από αυτή του ορατού ήλιου, όπου παρατηρούμε την αμαύρωση χείλους, αφού το φαινόμενο εντοπίζεται στο χαμηλό στέμμα που εκτείνεται πολύ πιο έξω από τη φωτόσφαιρα. Το ηλιακό στέμμα σχηματίζει έντονους και μεγάλους σχηματισμούς κατά τη διάρκεια του ηλιακού κύκλου. Σε στεμματικές εικόνες παρουσιάζει σχηματισμούς, οι οποίοι οφείλονται στο εσωτερικό μαγνητικό πεδίο (Πρέκα-Παπαδήμα κá, 2009).

Κατά τη διάρκεια του μεγίστου των ηλιακών κηλίδων, οι στεμματικές δομές αλλάζουν πολύ γρήγορα, σε λιγότερο από μία ηλιακή περιστροφή και αποτελούν έναν σημαντικό παράγοντα της ηλιακής δραστηριότητας. Κατά την πτώση της ηλιακής δραστηριότητας, και ιδίως κατά το ηλιακό ελάχιστο, η ηλιακή δομή γίνεται πιο απλή και αλλάζει πολύ πιο αργά, κατά τη διάρκεια πλήρων ηλιακών περιστροφών, με αποτέλεσμα και αυτά τα φαινόμενα να περιστρέφονται μαζί με τον ήλιο. Αυτά αποτελούν τελικά την πηγή του ηλιακού ανέμου. Μεγάλες οπές στο στέμμα παρατηρούνται, με τις μεγαλύτερες να βρίσκονται κυρίως στους πόλους του ήλιου (Smith, 2008). Τυπικά, δεν ευθυγραμμίζονται με την περιστροφή του ήλιου, αλλά το γεωμετρικό τους κέντρο μετατοπίζεται από την περιστροφή μερικές δεκάδες μοίρες. Συνήθως, παρουσιάζουν μαγνητικό πεδίο αντίθετης πολικότητας στον νότιο και βόρειο πόλο του ηλίου. Επομένως, οι πολικές στεμματικές οπές αποτελούν την πηγή του ηλιακού ανέμου καθώς και των ανοικτών μαγνητικών γραμμών, προσδίδοντας ιδιαίτερες ιδιότητες στο πλάσμα. Οι οπές εμφανίζονται σκοτεινές επειδή το πλάσμα εξαντλείται σε αυτές τις περιοχές, λόγω της ροής του ηλιακού ανέμου και λόγω της απουσίας παγιδευμένων ηλεκτρονίων (Smith, 2008). Οι άκρες των πολικών αυτών οπών σημαδεύονται από στεμματικούς σχηματισμούς (πχ prominences) και κλειστών μαγνητικών βρόχων. Εκτός όμως από τους πόλους, οι στεμματικές οπές παρουσιάζονται και σε χαμηλότερα πλάτη. Και πάλι αποτελούν πηγές ηλιακού ανέμου και ανοικτών μαγνητικών πεδίων, με τις ισημερινές οπές να επιμένουν επίσης να διατηρούνται χρονικά, δίδοντας επίσης περιστρεφόμενο ηλιακό άνεμο μεγάλης σημασίας. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι στεμματικές οπές του νοτίου ημισφαιρίου έχουν το ίδιο «στίγμα» (sign) με αυτό του βορείου μαγνητικού πεδίου (Hundhausen, 1977). Επομένως, όλες οι στεμματικές οπές, πολικές και ισημερινές, προκαλούν τον μαγνητικό ισημερινό (ουδέτερη γραμμή) να αποκλίνει από το σφαιρικό σχήμα και να σχηματίζει ένα πιο «κυματιστό» σχήμα.

Σε αντίθεση με τις οπές, οι ροές (streamers), αποτελούν φωτεινές δομές, οι οποίες σχηματίζουν σχήμα «κράνους», με σφαιρικό πρότυπο σε χαμηλά

πλάτη, στενεύοντας σε υψηλότερα, με αποτέλεσμα να σχηματίζουν μια αιχμή πιο ψηλά. Η διαφορά τους από τις οπές έγκειται στο ότι έχουν διαφορετικές μαγνητικές δομές (Smith, 2008). Έτσι, τα μαγνητικά πεδία εντός τους είναι κλειστά, αποδίδοντάς τους το χαρακτηριστικό της στενότητας και φωτεινότητας, με αποτέλεσμα την παγίδευση των ηλεκτρονίων στους μαγνητικούς βρόχους. Κοντά στην περίοδο ελαχίστης δραστηριότητας του ηλίου, πολλαπλές ροές εμφανίζονται κοντά στον ισημερινό και σχηματίζουν τον στεμματικό δίσκο (coronal disk) ή στεμματική ζώνη (coronal belt) γύρω από τον ήλιο (Howard και Koomen, 1974). Από την άλλη, κατά τη διάρκεια της μέγιστης δραστηριότητας του ηλίου, ροές εμφανίζονται σε όλα τα πλάτη, ως αποτέλεσμα της αυξημένης πολυπλοκότητας και της μικρότερης κλίμακας δομής του ηλιακού μαγνητικού πεδίου.

Εκτός όμως από την κυκλική συμπεριφορά του ηλιακού μαγνητικού πεδίου, υπάρχουν πιο μικρά και τοπικά μαγνητικά φαινόμενα με πολλά και ισχυρά σημεία ύπαρξης μαγνητικών πεδίων, τα οποία συσχετίζονται με κέντρα δραστηριότητας που σχετίζονται με την δημιουργία στεμματικών εκτινάξεων μάζας (CMEs), εκλάμψεων, εκπομπών ραδιοκυμάτων, κ.α., τα οποία σχετίζονται με τη δραστηριότητα του ηλίου, ιδίως κατά την φάση της μέγιστης δραστηριότητάς του. Το ηλιοσφαιρικό μαγνητικό πεδίο σχετίζεται έντονα με τις ιδιότητες του μαγνητικού πεδίου του ηλίου καθώς και αυτές του ηλιακού ανέμου, ο οποίος το μεταφέρει στο διάστημα. Το πιο κλασικό και σημαντικό μοντέλο περιγραφής των ιδιοτήτων όλων των προαναφερθέντων είναι το μοντέλο πεδίου του Parker (Parker, 1963; 1996). Βάζοντας στην άκρη τα ηλεκτρικά πεδία, δίνει μεγαλύτερο βάρος στην μαγνητοϋδροδυναμική των κυμάτων που διαδίδονται από τον ήλιο. Η θεωρία του δεν περιλαμβάνει ρεύματα γενικότερα, γιατί αυτά προκαλούνται από πιέσεις του πλάσματος, και ηλεκτρικά ρεύματα από την σχετική κίνηση του πλάσματος και του μαγνητικού πεδίου. Επομένως, το θερμό πλάσμα που προέρχεται από το στέμμα, επιταχύνεται, φτάνοντας σε υπερηχητικές ταχύτητες (supersonic), ξεφεύγοντας από το ισχυρό βαρυτικό πεδίο του ηλίου. Το εξωτερικό στρώμα του ηλίου (στέμμα) είναι εξαιρετικά θερμό, με αποτέλεσμα ο ήλιος να μην

είναι σε θέση να το συγκρατεί. Τα άτομα των αερίων που κινούνται με τεράστιες ταχύτητες διαφεύγουν από τον ήλιο με μια συνεχή ροή, η οποία ονομάζεται ηλιακός άνεμος και περιέχει πρωτόνια και ηλεκτρόνια καθώς και βαρύτερα σωματίδια (ιονισμένα βαρέα άτομα). Η δημιουργία του ηλιακού ανέμου είναι η εσωτερική πίεση του πλάσματος και η κλίση της πίεσης, η οποία ασκεί εξωτερική δύναμη, ικανή ώστε να υπερνικηθεί η βαρύτητα. Κατά τη δημιουργία του ηλιακού ανέμου, η περιστροφή του έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό της σπείρας του Parker, ή αλλιώς σπείρα του Αρχιμήδη. Αυτό συμβαίνει επειδή η μία άκρη του ανοικτού πεδίου (του πλάσματος) ακουμπά στον περιστρεφόμενο ήλιο, ενώ η άλλη πλευρά του μεταφέρεται με τον ηλιακό άνεμο (Smith, 2008). Επομένως, οι δομές ηλιακού ανέμου σχηματίζουν σπείρες του Αρχιμήδη και οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου είναι παράλληλες στην ροή (steamline).

Σε μη περιστρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς, η ροή του ηλιακού ανέμου παρουσιάζει ακτινική συμπεριφορά αλλά το μαγνητικό πεδίο συνεχίζει να έχει τη σπείρα του Αρχιμήδη ως δομή. Οι σπειροειδείς ιδιότητες του μαγνητικού πεδίου του ηλιακού ανέμου, οι οποίες διατηρούνται σε κάθε περίπτωση, παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο για τον ίδιο τον ηλιακό άνεμο και άλλες ιδιότητές του, όσο και για ιδιότητες των πηγών του (που τον προκάλεσαν) στον ήλιο. Ο ηλιακός άνεμος (στην περίπτωση του ήλιου μας), ή αστρικός άνεμος (γενικότερα για τους αστέρες), αποτελείται από φορτισμένα σωματίδια, κυρίως από ηλεκτρόνια και πρωτόνια, τα οποία εκτοξεύονται από την ανώτερη ατμόσφαιρα ενός άστρου, όπως ο ήλιος. Σε συνθήκες ελαχίστου του ηλιακού κύκλου, η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου παρουσιάζει μέγιστο στις πολικές περιοχές των στεμματικών οπών, ενώ η πυκνότητα του ηλιακού ανέμου παρουσιάζεται μέγιστη στον ισημερινό και ελάχιστη σε μεγάλα ηλιογραφικά πλάτη. Η θερμική ενέργεια του αραιού πλάσματος του στέμματος είναι τόσο υψηλή, ώστε καταφέρνει να υπερνικήσει το πεδίο της βαρύτητας του ήλιου και διαστέλλεται στον μεσοπλανητικό χώρο με τη μορφή ανέμου.

Ο ηλιακός άνεμος, γνωστός και ως ηλιακή σωματιδιακή ακτινοβολία, αποτελείται κυρίως από ηλεκτρόνια και πρωτόνια που εκπέμπονται σχεδόν ακτινικά από το στέμμα του ήλιου με υπερηχητικές ταχύτητες. Οι στεμματικές οπές, τις οποίες προαναφέραμε, είναι τα κύρια σημεία από τα οποία εκτοξεύεται και επιταχύνεται ο ηλιακός άνεμος. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι οι στεμματικές οπές βρίσκονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ανοικτές μαγνητικές γραμμές. Ο ηλιακός άνεμος εκτοξεύεται από διαφορετικά σημεία της επιφάνειας του ήλιου με διαφορετική αρχική ταχύτητα, λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στις στρεμματικές οπές. Λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών του, αλλά και λόγω της περιστροφής του ήλιου, ο ηλιακός άνεμος φτάνει στη γη κατά ριπές ή αλλιώς κύματα ηλιακού ανέμου. Ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό του ηλιακού ανέμου είναι η ταχύτητά του, καθώς αυτή δίνει πολλά στοιχεία, μαζί με την πρωτονιακή πυκνότητα του πλάσματος, για την ένταση αλλά και τον πιθανό αντίκτυπο του ηλιακού ανέμου στον γύρω χώρο της ηλιόσφαιρας. Μάλιστα, η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου χρησιμοποιείται και για την ταξινόμησή του, αποτελώντας το σημαντικότερο ίσως χαρακτηριστικό του, μαζί με τη διάρκειά του (Gerontidou et al., 2018).

Ο ηλιακός άνεμος παίζει σημαντικό ρόλο στον διαστημικό καιρό και αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο της γης. Έτσι, μπορεί να προκαλέσει γεωμαγνητικές καταιγίδες, πολικό σέλας, παραμόρφωση γεωμαγνητικού πεδίου (πχ ουρά στο απομακρυσμένο από τον ήλιο της γης μέρος). Κατά τη διάρκεια ελαχίστου των κηλίδων (βλέπε παρακάτω για τις ηλιακές κηλίδες), το στέμμα φαίνεται κάπως πιο πεπλατυσμένο και πιο μικρό, ενώ κατά το μέγιστο, φαίνεται πιο λαμπρό και σχεδόν κυκλικό. Από αναλύσεις, φαίνεται πως το στέμμα δεν αποτελείται από ενιαίο αέριο, αλλά από ροές, το σχήμα των οποίων επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο του ήλιου (Λασκαρίδης, 2011). Ο ηλιακός άνεμος αποτελεί ένα ηλιακό φαινόμενο που συσχετίζεται ευθέως με το πρωτογενές φαινόμενο της εκτόνωσης του ηλιακού στέμματος. Το φαινόμενο αυτό γίνεται φανερό ως προέκταση του στέμματος στον διαπλανητικό χώρο, που με τον τρόπο αυτόν απλώνεται έως τα όρια της

ηλιόσφαιρας. Στον ήλιο έχουν διαπιστωθεί ταχέα ρεύματα ηλιακού ανέμου, τα οποία εκπορεύονται από τους πόλους του, από τις στεμματικές οπές (coronal holes), όπου οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου του είναι ανοιχτές, δηλαδή εξέρχονται από τον ένα πόλο του μαγνητικού πεδίου του και δεν επιστρέφουν στον άλλο. Η κίνηση των συγκεντρώσεων μαγνητικής ροής, μαζί με τη συνεχή εμφάνιση και εξαφάνιση αντιστοιχών πολικών ζευγών ροών, απελευθερώνει μια σημαντική ποσότητα ενέργειας (Verma, 2006). Βρόχοι μαγνητικών πεδίων αποτελούν τα σημεία δημιουργίας αυτών των ροών, οι οποίοι βρόχοι, συνήθως εκτείνονται μέχρι μερικές ηλιακές ακτίνες από τη φωτόσφαιρα, όπου φορτισμένα σωματίδια παγιδευμένα στα πεδία, μπορούν να ξεφύγουν.

Σε ορισμένες περιοχές της ηλιακής επιφάνειας, τα μαγνητικά πεδία δε σχηματίζουν αυτό το μοντέλο βρόχου, αλλά ξεφεύγουν αποδεσμευμένα. Οι περιοχές αυτές, που φαίνονται πιο σκοτεινές ως ψυχρότερες, ονομάζονται τρύπες του στέμματος. Οι τρύπες αυτές, έχουν μια μόνιμη οργάνωση στους πόλους του ήλιου, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα του ήλιου, οργανώνονται με βάση την ηλιακή δραστηριότητα, δηλαδή τον 11-ετή κύκλο (βλέπε παρακάτω). Το στέμμα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς εικάζεται πως από τις τρύπες του πηγάζει ο ηλιακός άνεμος, ο οποίος αλληλεπιδρά με τη γη και το γεωμαγνητικό πεδίο (Λασκαρίδης, 2011). Οι μαγνητικές διαταραχές μπορούν να δημιουργήσουν ένα είδος έκρηξης που εκτοξεύει την ηλιακή μάζα στο διάστημα. Οι εκρήξεις αυτές δημιουργούνται από την κίνηση του εσωτερικού του ήλιου που διαστρεβλώνει τα ίδια του τα μαγνητικά πεδία. Στη συνέχεια, τα μαγνητικά πεδία επανενώνονται εκρηκτικά, οδηγώντας τεράστια ποσά ενέργειας στο διάστημα. Αυτές οι στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας (CMEs) αποτελούν ένα τεράστιο σύννεφο μαγνητισμένων σωματιδίων που εκτοξεύονται στο διάστημα και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές συνέπειες στο γεωμαγνητικό περιβάλλον της Γης (Mittal et al., 2015). Τα ενεργειακά αποθέματα των στεμματικών εκτινάξεων μάζας (CMEs) περιλαμβάνουν συνεισφορές από μαγνητική ενέργεια, μαζική κινητική

ενέργεια, ενέργεια ιονισμού, δυναμική βαρυτική ενέργεια, θερμική ενέργεια καθώς και ενεργητικά σωματίδια (π.χ. Emslie et al., 2005).

Παρόλα αυτά, η μαγνητική ενέργεια θεωρείται ότι είναι η μεγαλύτερη συνιστώσα του ενεργειακού αποθέματος ενός CME (Murphy et al., 2011) και συχνά επηρεάζει τον γύρω από τον ήλιο χώρο, με διάφορους τρόπους. Η ενέργειά τους, μπορεί να χαθεί στο σύστημα μέσω της ακτινοβολίας και της θερμικής αγωγιμότητας. Το μαγνητικό πεδίο του ήλιου που συσπειρώνει το ηλιακό στέμμα, μεταφέρεται στο διάστημα από τον ηλιακό άνεμο μέσα από τις στεμματικές οπές. Ο ήλιος, σε αντίθεση με την Γη, δεν έχει απλό βόρειο και νότιο μαγνητικό πόλο. Γύρω από την περίοδο ελάχιστης δραστηριότητας, μεγάλες στεμματικές οπές καλύπτουν τους ηλιογραφικούς πόλους του ήλιου. Τα μαγνητικά πεδία που προέρχονται από αυτές τις οπές έχουν αντίθετες πολικότητες στο βορρά και στο νότο. Αυτή την περίοδο ήρεμης δραστηριότητας, ο ήλιος πλησιάζει προς μια μαγνητική διπολική δομή, όπως την αντίστοιχη των μαγνητισμένων πλανητών. Καθώς όμως η ηλιακή δραστηριότητα αυξάνεται, αυτές οι πολικές στεμματικές οπές συρρικνώνονται, έτσι ώστε να είναι πολύ λιγότερο ανοικτή η μαγνητική ροή.

Οι πολικότητες όμως στο στέμμα γίνονται πολύ πιο μικτές. Καθώς το μαγνητικό πεδίο από τις στεφανιαίες οπές μεταφέρεται με τον ηλιακό άνεμο, οι μαγνητικές πολικότητες διαχωρίζονται από μια λεγόμενη ουδέτερη γραμμή, διαχωρίζοντας τα εσωτερικά από τα εξωτερικά μαγνητικά πεδία. Η ηλιακή δραστηριότητα στην πραγματικότητα αυξάνεται ανάλογα με την πολυπλοκότητα των μαγνητικών πεδίων που προκύπτουν από τη ζώνη μεταφοράς προς την επιφάνεια του ήλιου. Η αυξημένη πολυπλοκότητα επανασχηματίζει τα μαγνητικά πεδία στο ηλιακό στέμμα. Κατά τη διάρκεια αυτής της αναδιάρθρωσης, πολύ μεγάλες και μερικές φορές εκρηκτικές ποσότητες μαγνητικής ενέργειας επανασχηματίζονται σε ξαφνική θέρμανση του στέμματος σε συγκεκριμένες περιοχές του. Κατά τη διάρκεια της ξαφνικής αυτής θέρμανσης, μεγάλες ποσότητες στεμματικού υλικού εκτοξεύονται στο διάστημα, ενσωματωμένες στον ηλιακό άνεμο. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται στεμματική εκτίναξη μάζας (coronal mass ejection ή αλλιώς

CME). Ο αριθμός αυτών των γεγονότων κυμαίνεται από κοντά στο μηδέν κατά το ηλιακό ελάχιστο έως αρκετά ανά ημέρα κοντά στο ηλιακό μέγιστο. Σε πολλές περιπτώσεις, ένα CME φαίνεται να περιέχει κλειστές μαγνητικές δομές, σε αντίθεση με τον απλό ηλιακό άνεμο που έχει ενσωματωμένα σε αυτό ανοικτά μαγνητικά πεδία. Τα CMEs, όταν κατευθύνονται προς τη Γη, φέρνουν αρκετά ζεστό πλάσμα και ισχυρό μαγνητικό πεδίο, για να προκαλέσει μεγάλες διαταραχές στο επίγειο μαγνητικό πεδίο, παράγοντας μαγνητικές καταιγίδες στη Γη. Ισχυρές μαγνητικές καταιγίδες, συμπιέζουν το μαγνητικό πεδίο της Γης και αυξάνουν την ένταση της παγιδευμένης ακτινοβολίας φορτισμένων σωματιδίων στη μαγνητόσφαιρα της Γης. Αυτά τα σωματίδια μπορούν να βλάψουν τα διαστημικά σκάφη και, έμμεσα, να επηρεάσουν ακόμη και μεγάλα τμήματα επίγειας τροφοδοσίας (πχ ηλεκτρισμό). Καθώς τα CMEs μεταδίδονται προς την εξωτερική ηλιόσφαιρα, συχνά συγχωνεύονται και σχηματίζουν αυτό που ονομάστηκε ολική συγχωνευμένη περιοχή αλληλεπίδρασης (Global Merged Interaction Region - GMIR). Μια τέτοια περιοχή αποτελεί εμπόδιο για τις εσωτερικές και εξωτερικές περιοχές της ηλιόσφαιρας (μεταξύ τους) και παρεμποδίζει σημαντικά την πρόσβαση του γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων κοντά στην γη. Τα επίπεδα έντασης των ενεργειακών σωματιδίων που βρίσκονται στην ηλιόσφαιρα εξαρτώνται σημαντικά από τον 11-ετή κύκλο ηλιακής δραστηριότητας. Αυτό συμβαίνει επειδή το επίπεδο της ηλιακής δραστηριότητας καθορίζει τον αριθμό των γεγονότων που μπορούν να παράγουν ενεργητικά σωματίδια, είτε άμεσα από τη δραστηριότητα στον ίδιο τον ήλιο (γενικότερα), είτε ειδικότερα στο στέμμα του ή ακόμα και με αλληλεπιδράσεις των CMEs και των στεμματικών περιοχών αλληλεπίδρασης (Corotating Interaction Regions - CIRs) που παράγονται από την ηλιακή ενέργεια με τον περιέχοντα πληθυσμό της ηλιόσφαιρας (Balogh and Lanzerotti, 2008).

2.3 Χαρακτηριστικά της περιοχής γύρω από τον ήλιο

Η περιοχή γύρω από τον ήλιο, η οποία επηρεάζεται από τον ηλιακό άνεμο, λέγεται ηλιόσφαιρα και εντός της επικρατεί το μαγνητικό πεδίο του ήλιου. Εντός της ηλιόσφαιρας, υπάρχουν ενεργητικά σωματίδια, τα οποία ποικίλουν ως προς την προέλευσή τους. Άλλα έχουν επιταχυνθεί στον ήλιο, άλλα στο διαπλανητικό πεδίο και άλλα στον γαλαξία. Οι πηγές τους μπορεί να είναι σταθερές ή λιγότερο σταθερές, όπως ο ηλιακός άνεμος, οι γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες ή έντονα μεταβλητές πηγές, όπως οι ηλιακές εκλάμψεις, οι στεμματικές εκτινάξεις μάζας και διαπλανητικά σοκ (Mewaldt et al., 2001).

Ο ηλιακός άνεμος δεν εκτείνεται σε «άπειρη» απόσταση από τον ήλιο, αλλά εμποδίζεται να επεκταθεί από το μεσοαστρικό αέριο. Έτσι, στο σημείο που η πίεση του ηλιακού ανέμου ισούται με την πίεση του μεσοαστρικού αερίου, ο ηλιακός άνεμος σταματά και εκεί βρίσκεται το όριο της ηλιόσφαιρας, το οποίο ονομάζεται ηλιόπαυση (Suess, 1990). Η ηλιόπαυση είναι τα όρια της περιοχής της ηλιόσφαιρας, όπου η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου είναι πολύ χαμηλή. Η ηλιόπαυση δεν έχει σταθερό σημείο τέλους, καθώς αυτό εξαρτάται κάθε φορά από τις δύο πιέσεις. Επίσης, επειδή σε κάθε εξωτερικό σημείο της επιφάνειας της ηλιόσφαιρας το μεσοαστρικό αέριο προσπίπτει με διαφορετική γωνία πρόσπτωσης, ανάλογα του ηλιογραφικού πλάτους, παρατηρείται ασυμμετρία στη μορφή της ηλιόσφαιρας μεταξύ βόρειου και νότιου ημισφαιρίου. Πρόσθετη ασυμμετρία παρατηρείται και λόγω της απουσίας δυναμικής πίεσης του μεσοαστρικού αερίου στο ένα ημισφαίριο της ηλιόσφαιρας, το οποίο βρίσκεται αντίθετα της κίνησης του μεσοαστρικού αερίου. Επίσης, η ηλιόσφαιρα, θωρακισμένη από τα μαγνητικά πεδία της, ανακλά τα φορτισμένα σωματίδια της κοσμικής ακτινοβολίας, η οποία προέρχεται από τον γαλαξία (Giacalone et al., 1997), με αποτέλεσμα να υπάρχει ένα φαινόμενο γνωστό ως «διαμόρφωση» (modulation) της κοσμικής ακτινοβολίας, όπου σε περίοδο ηλιακού μέγιστου, η κοσμική ακτινοβολία παρουσιάζει το ελάχιστό της, και το αντίστροφο (Gerontidou et al., 2018; Xystouris et al., 2014).

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί μια ιδιαίτερη περίπτωση ηλιακού ανέμου, η οποία είναι τα ταχέα ηλιακά ανεμικά ρεύματα (HSSWSs). Αυτά, όπως υποδηλώνει και το όνομά τους, έχουν μεγάλη ταχύτητα και συνήθως μεγάλη διάρκεια. Ένα HSSWS ορίζεται ως ρεύμα ηλιακού ανέμου ταχύτητας μεταξύ της υψηλότερης και της μέσης ταχύτητας πλάσματος που προηγείται και ακολουθεί, έχοντας αύξηση ταχύτητας μεγαλύτερη από 100 km s^{-1} , το οποίο διαρκεί τουλάχιστον δύο ημέρες (Mavromichalaki and Vassilaki, 1998; Xystouris et al., 2014; Gerontidou et al., 2018). Χρησιμοποιώντας μοντέλα μαγνητοϋδροδυναμικής, οι Ofman και Davila (1997a; 1997b) καθώς και οι Ofman et al. (1997), διαπίστωσαν ότι τα κύματα Alfvén με πλάτος $20\text{-}70 \text{ km s}^{-1}$ στη βάση στεφανιαίων οπών, μπορούν να παράγουν μη γραμμικά κύματα συμπίεσης υψηλού πλάτους που μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην επιτάχυνση του γρήγορου ηλιακού ανέμου. Τα μη γραμμικά κύματα εμφανίζονται ως διακυμάνσεις της πυκνότητας και της ακτινικής ταχύτητας εκροής και συμβάλλουν σημαντικά στην επιτάχυνση του ηλιακού ανέμου σε δομές ανοικτού μαγνητικού πεδίου. Ο πληθυσμός των ενεργών σωματιδίων που βρίσκονται στην ηλιόσφαιρα, δραστικά αλλάζουν από το ηλιακό ελάχιστο στο ηλιακό μέγιστο της δραστηριότητας του ήλιου.

Έτσι, τα ενεργητικά σωματίδια στην εσωτερική ηλιόσφαιρα είναι τα εξής: Γαλαξιακή κοσμική ακτινοβολία (galactic cosmic rays - GCRs), η οποία πηγάζει από το ενδοαστρικό μέσο και είναι ικανή να διεισδύσει στην ηλιόσφαιρα, η οποία αποτελείται από ενεργητικά ηλεκτρόνια και πυρήνες που επιταχύνονται από κύματα κλονισμού (σοκ) στον γαλαξία, τα οποία μπορεί να προέρχονται από υπολείμματα σουπερνόβα, παλμικά ή ενεργά γαλαξιακούς πυρήνες (Heber and Potgieter, 2008). Το αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό των κοσμικών ακτίνων είναι τα ενεργειακά τους φάσματα. Εκτός από την γαλαξιακή, υπάρχει και η ανώμαλη κοσμική ακτινοβολία (anomalous cosmic rays - ACRs), η οποία πηγάζει από ενδοαστρικά ουδέτερα άτομα, τα οποία ταξιδεύουν στην ηλιόσφαιρα, ιονίζονται από την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία και μεταφέρονται σαν ιόντα πρόσληψης (pickup) στον ηλιακό άνεμο. Αυτά, τελικά, επιταχύνονται σε μεγάλες ενέργειες (Lario

and Pick, 2008). Η άλλη κατηγορία σωματιδίων είναι τα ηλιακά ενεργητικά σωματίδια (solar energetic particles SEPs) που προέρχονται από την κοντινή στον ήλιο περιοχή και σχετίζονται με τις ηλιακές εκλάμψεις και τις στεμματικές εκρήξεις μάζας. Για παράδειγμα, μια στεμματική έκρηξης μάζας μπορεί, επεκτεινόμενη μακριά από τον ήλιο, να επανεπιταχώνει τα SEPs, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν βαθμιαία γεγονότα SEP. Αυτά τα γεγονότα, περιλαμβάνουν σωματίδια σε πολύ υψηλές ενέργειες. Άλλα σωματίδια που βρίσκονται στην ηλιόσφαιρα, είναι τα ενεργητικά σωματίδια επιταχυνόμενα από άλλα σοκ ή διαταραχές του ηλιακού ανέμου, όπως για παράδειγμα σοκ που σχηματίζονται στις περιοχές αλληλεπίδρασης του ηλιακού ανέμου (stream interaction - SIs) ή στεμματικές περιοχές αλληλεπίδρασης (CIRs).

Μια τελευταία κατηγορία, περιλαμβάνει ενεργητικά ηλεκτρόνια, τα οποία επιταχύνονται στις πλανητικές μαγνητόσφαιρες, όπως τα ηλεκτρόνια Jovian, τα οποία παρατηρούνται στην εσωτερική ηλιόσφαιρα σε ενέργειες από μερικές εκατοντάδες keV σε λιγότερα από περίπου 30 MeV (Lario and Pick, 2008). Η μελέτη τέτοιων πληθυσμών σωματιδίων, σε διαφορετικά πλάτη και υπό διαφορετικές ηλιοσφαιρικές συνθήκες, περιλαμβάνουν πληροφορία για την ολική δομή της ηλιόσφαιρας, για την περίοδο ελαχίστης και μέγιστης ηλιακής δραστηριότητας, καθώς και για τους μηχανισμούς επιτάχυνσης και προώθησης σωματιδίων στην ηλιόσφαιρα. Διαφορές στην ένταση των σωματιδίων, οι οποίες παρατηρούνται για τις περιόδους ελαχίστης και μέγιστης δραστηριότητας του ηλίου, φαίνεται να σχετίζονται όχι μόνο με το διαφορετικό επίπεδο της δραστηριότητας του ηλίου (δηλαδή την διαφορά στην ένταση των φαινομένων) αλλά και με τη διαφορετική τοπολογία της ηλιόσφαιρας (όπου αυτά εκδηλώνονται).

Εδώ και πολλά χρόνια, χρησιμοποιούνται παρατηρήσεις σε πολλαπλά μήκη κύματος για να ερευνηθεί η επιτάχυνση των ενεργών σωματιδίων στον ήλιο (Krucker et al., 1999; Pick et al., 1998; Pohjolainen et al., 2001; Maia and Pick, 2004; Lehtinen et al., 2005). Οι διαδικασίες επιτάχυνσης σχετίζονται με μεγάλης κλίμακας εκρηκτικά φαινόμενα, όπως οι εκλάμψεις, οι εκρήξεις των νηματίων (filaments), των στεμματικών εκρήξεων μάζας και των σοκ τα οποία

συχνά συμβαίνουν και ταυτόχρονα. Αυτή η σύμπτωση τονίζει τη δυσκολία της κατανόησης της σχέσης μεταξύ των ηλιακών διεργασιών και των συμβάντων ηλιακών ενεργητικών σωματιδίων (SEPs) που μετρήθηκαν στο διαπλανητικό μέσο. Κατά τον Reames (1999), εξετάζοντας τέτοια γεγονότα (SEPs), οι ηλιακές εκλάμψεις επιτάχυναν τα ενεργητικά σωματίδια στην περίπτωση ακραίων «ορμητικών» συμβάντων, ενώ στην περίπτωση βαθμιαίων σοκ προκαλούνται κυρίως από τα CME. Υπάρχουν επίσης SEP υβριδικής προέλευσης, τόσο από ηλιακές εκλάμψεις, όσο και από στεμματικές εκτινάξεις μάζας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι εύκολη η διάκριση της προέλευσης του φαινομένου (Cliver and Cane, 2003), όμως συνήθως μεγάλα γεγονότα SEP, με έντονη ισχύ, φαίνεται να συσχετίζονται και με τα δύο φαινόμενα (ηλιακές εκλάμψεις και στεμματικές εκτινάξεις μάζας). Η απελευθέρωση της στεμματικής ενέργειας και η επιτάχυνση των ηλεκτρονίων αποτελούν διαδικασίες, οι οποίες μπορούν να διαρκέσουν από μερικά λεπτά μέχρι ώρες (π.χ., Trotter, 1986, Akimov et al., 1996; Maia et al., 1999).

Ένας σημαντικός μηχανισμός για τη συσσώρευση ενεργειακών σωματιδίων στην ηλιόσφαιρα είναι η διασταυρούμενη διάχυση πεδίου, κατά την οποία έχουμε ομοιόμορφη κατανομή των σωματιδίων σε γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος (McKibben, 1972; McKibben et al., 2001). Οι Roelof et al. (1992) έκριναν ότι τα εξωτερικά σύνορα των συσσωρεύσεων σχηματίζονται με τη συγχώνευση διαφόρων διαταραχών στο πλάσμα (π.χ. τα ICMs), τα οποία ξεκίνησαν κατά τη διάρκεια περιόδων έντονης ηλιακής δραστηριότητας. Οι επαυξήσεις του μεγέθους του μαγνητικού πεδίου που σχηματίζονται σε αυτά τα όρια επηρεάζουν τη μεταφορά των σωματιδίων μέσα στο χώρο συσσώρευσης (reservoir), καθυστερώντας τη διαφυγή τους σε μεγαλύτερες ηλιοκεντρικές αποστάσεις και την αναδιανομή τους σε γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος. Οι Reames et al. (1996) θεωρούν ότι η φάση αποσύνθεσης των εκδηλώσεων SEP αποτελείται από σωματίδια που διαδίδονται μεταξύ του συγκλίνοντος μαγνητικού πεδίου κοντά στον ήλιο και σε ένα μετακινούμενο κέλυφος με έντονη σκέδαση που σχηματίστηκε κατόπιν του απομακρυσμένου ταξιδεύοντος σοκ. Μετά τον σχηματισμό, η

σουσώρευση (reservoir) διαλύεται αργά, ως αποτέλεσμα της διάχυσης, κυκλοφορίας, αδιαβατικής ψύξης και των μηχανισμών ολίσθησης που διέπουν τη διάδοση των SEP (Lario and Pick, 2008).

Η ηλιόσφαιρα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο διαστημικό περιβάλλον. Η ένταση των κοσμικών ακτίνων (γαλαξιακής προελεύσεως), διαφέρει στον χρόνο, δηλαδή μεταβάλλεται χρονικά. Οι περισσότερες βραχυπρόθεσμες μεταβολές της εντάσεως της κοσμικής ακτινοβολίας, οι οποίες παρατηρούνται τόσο στη γη όσο και σε ανιχνευτικούς δορυφόρους, σχετίζονται με την ηλιακή δραστηριότητα, για παράδειγμα στεμματικές εκτινάξεις μάζας (Cane, 2000) και η αλληλεπίδραση ρευμάτων ηλιακού ανέμου με διαφορετικές ταχύτητες, σχηματίζοντας περιστρεφόμενες περιοχές αλληλεπίδρασης πέρα από την τροχιά της γης (Richardson, 2004). Σε μεγαλύτερη χρονική κλίμακα, η ροή των κοσμικών ακτίνων παρουσιάζει μια αρνητική συσχέτιση με την 11ετή και την 22ετή κυκλική ηλιακή δραστηριότητα. Επομένως, η κοσμική ακτινοβολία, εισρέοντας στην περιοχή γύρω από τον ήλιο, είναι έντονα διαμορφωμένη στη ροή της (modulation), περνώντας από την ηλιόσφαιρα (Heber and Potgieter, 2008). Επίσης, ουδέτερα ενδοαστρικά άτομα εισβάλλοντας στην ηλιόσφαιρα, ιονίζονται από την αλληλεπίδραση με τον ηλιακό άνεμο και/ή την ηλιακή ακτινοβολία και προσλαμβάνονται από τον ηλιακό άνεμο (Heber and Potgieter, 2008). Αυτά τα σωματίδια μεταφέρονται στο ηλιοσφαιρικό σοκ τερματισμού, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση σε ενέργειες κοσμικών ακτινοβολιών (Fisk et al., 1974; Pesses et al., 1981; Lee and Fisk, 1982; Vasyliunas and Siscoe, 1976; Moraal, 2001; Roux, 2001) και αποτελούν την ανώμαλη κοσμική ακτινοβολία (ACRs).

Ήδη από το 1977 είχε αποδειχτεί ότι ο πλανήτης Δίας εκπέμπει ηλεκτρόνια αρκετών MeV στο ηλιακό σύστημα (Teegarden et al., 1974; Simpson et al., 1974). Η συνεχής ροή ηλεκτρονίων από τον Δία, εξαρτάται από την απόσταση από τον Δία, με αντιστρόφως ανάλογη σχέση ($1/r$), η οποία εξηγείται λόγω της διάχυσης που συμβαίνει από ένα συνεχώς εκπεμπόμενο σημείο (Conlon, 1978; Pyle and Simpson, 1977), το οποίο

περιορίζεται σε μια απόσταση μικρότερη από 1 αστρονομική μονάδα πίσω από τον πλανήτη. Οι έρευνες έχουν δείξει ότι αυτά τα ηλεκτρόνια, τα οποία ονομάζονται Jovian (Jovian electrons), έχουν μεταφορά (διασκορπισμένη) κάθετα στο μέσο ηλιοσφαιρικό μαγνητικό πεδίο (Chenette et al., 1974). Επίσης, ο Δίας θεωρείται πηγή και «ήσυχων» (quiet time) ηλεκτρονίων (McDonald et al., 1972; L'Heureux et al., 1972; Teegarden et al., 1974). Αυτή η μεταβλητότητα προκαλείται από τις μεταβολές των ηλιοσφαιρικών συνθηκών, όπως για παράδειγμα, τις περιστρεφόμενες περιοχές αλληλεπίδρασης (Conlon and Simpson, 1977; Conlon, 1978; Rastoin, 1995; Kissmann et al., 2004).

Στις ιδιότητες της ηλιόσφαιρας, καθοριστικό ρόλο παίζουν όμως και τα CME. Οι στεμματικές εκτινάξεις μάζας (CMEs), όπως προαναφέραμε, είναι πυκνά «σύννεφα» από πλάσμα τα οποία εκτινάσσονται από την εξωτερική ατμόσφαιρα του ηλίου, δηλαδή το στέμμα. Τα CMEs και τα διαπλανητικά αντίστοιχά τους ICMs (interplanetary CMEs), ο πιθανός μηχανισμός δημιουργίας τους, διάφορα χαρακτηριστικά τους καθώς και το αποτέλεσμα τους στον γύρω περιβάλλοντα χώρο, ιδιαίτερα στην εσωτερική ηλιόσφαιρα, έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές (Forsyth and Gosling, 2001; Gopalswamy, 2004). Ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η αφθονία του ηλιακού ανέμου σε στοιχεία, με διαχωρισμό ατόμων-ιόντων στην άνω χρωμόσφαιρα και διαχωρισμό ιόντων-ιόντων στο στέμμα, όπου και οι ενεργειακές καταστάσεις των ιόντων «παγώνουν» εσωτερικά (Geiss and Bochsler, 1986). Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό που διέπει τα CMEs είναι ότι η σύνθεση και οι ενεργειακές καταστάσεις στα CMEs «αργού» και στα αντίστοιχα «γρήγορου» ηλιακού ανέμου, είναι διαφορετικά, στο οποίο φαίνεται να παίζουν ρόλο και τα διαφορετικά μέρη του στέμματος, από το οποίο πηγάζουν τα διάφορα ήδη CME.

Έχει, επίσης, ήδη αποδειχθεί ότι τα σωματίδια με χαμηλό δυναμικό πρώτου ιοντισμού (first ionization potential - FIP) είναι εμπλουτισμένα, σε σχέση με την ηλιακή επιφάνεια, στο στέμμα, ηλιακού ανέμου και ηλιακής εκλάμψεως. Επίσης, το ήλιον και τα βαρύτερα ιόντα, ταξιδεύουν πιο γρήγορα

από το υδρογόνο (με αυξήσεις ταχύτητας που περιορίζονται από την ταχύτητα Alfvén). Επίσης, το ήλιον και τα βαρύτερα ιόντα έχουν θερμοκρασίες «παγώματος» (freeze-in) που είναι ανάλογες προς τη μάζα τους (Suess, 2008). Όλα αυτά παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιοτική φύση των ηλιακών φαινομένων που έχουν να κάνουν με τα CME και τον ηλιακό άνεμο.

Ένα άλλο, τελείως διαφορετικό, αλλά εξίσου πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του ηλιακού ανέμου, είναι η συνεισφορά των ιόντων πρόσληψης, τα οποία είναι αποτέλεσμα του ιοντισμού των ουδέτερων στοιχείων, τα οποία προέρχονται από το ενδοαστρικό μέσο, δηλαδή από κομήτες, αστρική σκόνη, πλανήτες και άλλες πηγές. Καθώς σχηματίζεται ένα νέο ιόν από τη διαδικασία του φωτοιοντισμού του ιοντισμού σύγκρουσης (photoionization of collisional ionization), ενσωματώνεται εντός του ηλιακού ανέμου, εξ' ου και ο όρος ("picked up") και μεταφέρεται κατά μήκος του μαγνητικού πεδίου HMF. Αυτά τα σωματίδια πρόσληψης, θεωρούνται ένα ισχυρό χαρακτηριστικό που διέπει όλη την ηλιόσφαιρα (Suess, 2008). Τα σωματίδια του ηλιακού ανέμου είναι συνήθως ενέργειας μερικών δεκάδων KeV ανά νουκλεόνιο. Μεταξύ αυτών των ενεργειών και μερικών δεκάδων με εκατοντάδων MeV, βρίσκονται γενικότερα, τα ενεργητικά σωματίδια ηλιοσφαιρικής προελεύσεως. Αυτά τα σωματίδια, προέρχονται από τον ήλιο και την ηλιακή δραστηριότητα, από κρουστικά κύματα (shock waves) στο στέμμα και το ενδοπλανητικό μέσο, αλλά και από πολλούς πλανήτες. Άλλα σωματίδια, όπως οι ανώμαλες κοσμικές ακτίνες (ACRs), εισέρχονται στην ηλιόσφαιρα ως ουδέτερα σωματίδια, τα οποία αργότερα ιοντίζονται και επιταχύνονται σε ενέργειες εκατοντάδων KeV/νουκλεόνιο μέχρι και μερικά MeV/νουκλεόνιο. Τέλος, η κοσμική ακτινοβολία, η οποία εισέρχεται στην ηλιόσφαιρα από το τοπικό ενδοπλανητικό μέσο, έχει σωματιδιακό πληθυσμό ενέργειας πάνω από 100 MeV, ανάλογα με τη φάση του ηλιακού κύκλου. Συνήθως, ως ενεργητικά σωματίδια αναφέρονται αυτά που είναι ηλιοσφαιρικής προελεύσεως, ενώ οι κοσμικές ακτίνες αναφέρονται σε σωματίδια, τα οποία προέρχονται εκτός της ηλιόσφαιρας.

2.4 Περιοδική δραστηριότητα ήλιου

Ο ήλιος παρουσιάζει και μία σταθερή περιοδικότητα ως προς τη δραστηριότητά του. Ο Hale (1908) μελέτησε τις ηλιακές κηλίδες και ανακάλυψε ότι υπάρχουν ισχυρά μαγνητικά πεδία εντός τους. Έτσι, μελετώντας το φαινόμενο διαχωρισμού μιας φασματικής γραμμής σε πολλές συνιστώσες εντός μαγνητικού πεδίου, το γνωστό φαινόμενο Zeeman (Zeeman, 1896; Zeeman, 1897) ανακάλυψε ισχυρό μαγνητικό πεδίο εντός των ηλιακών κηλίδων. Αυτό το ισχυρό μαγνητικό πεδίο περιορίζει τις κινήσεις του αερίου κάτω από τη φωτόσφαιρα και με αυτό τον τρόπο τα ανερχόμενα ρεύματα του θερμού αερίου δεν μπορούν να αποδώσουν τη θερμότητά τους στην επιφάνεια με αποτέλεσμα η περιοχή να ψύχεται (ελαφρώς) και έτσι την παρατηρούμε σκοτεινή, ως κηλίδα. Ο αριθμός των κηλίδων που παρατηρούνται στην επιφάνεια του ηλίου, δεν είναι σταθερός και μεταβάλλεται.

Η ηλιακή δραστηριότητα είναι κατά κύριο λόγο περιοδική, όμως περιλαμβάνει και ακραία φαινόμενα. Η περιοδική δραστηριότητα είναι γνωστή ως εντεκαετής δραστηριότητα του ηλίου, ανάλογα με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων (Xystouris et al., 2014) και αποτελεί ένα πολύπλοκο φαινόμενο που αφορά τη μαγνητική δραστηριότητα του ηλίου (Raponi, 2011). Ο μέσος κύκλος έχει μια περίοδο από το ελάχιστο στο επόμενο ελάχιστο, σχεδόν 11 ετών με μια κανονική κατανομή για αυτό το μέσο (Hathaway and Wilson, 2004). Το επίπεδο δραστηριότητας, συνήθως, είναι ασύμμετρο σε σχέση με το μέγιστο χρόνο. Συνήθως χρειάζονται 4 ή 5 χρόνια για να αυξηθεί από το ελάχιστο στο μέγιστο και 6 ή 7 έτη για να πέσει από το μέγιστο ξανά στο ελάχιστο και πάλι. Αυτή η ασυμμετρία φαίνεται ιδιαίτερα έντονη στους κύκλους μεγάλου εύρους, όπως μετράται από τον μέγιστο αριθμό των ηλιακών κηλίδων (Waldmeier, 1939) και αναφέρεται συχνά ως το «Φαινόμενο Waldmeier». Οι κύκλοι μεγάλου εύρους τιμών, συνήθως ακολουθούν κύκλους με μικρή διάρκεια και υψηλά ελάχιστα. Επίσης, οι κύκλοι μεγάλου εύρους ξεκινούν νωρίς και αυξάνονται γρήγορα προς τις μέγιστες τιμές τους (Hathaway and Suess, 2008). Αρχίζοντας νωρίς,

διακόπτουν τον προηγούμενο κύκλο και η προστιθέμενη επικάλυψη των δύο κύκλων, παράγει υψηλό ελάχιστο (Hathaway and Suess, 2008). Αν και ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων από μόνος του είναι ένας καλός δείκτης για το επίπεδο της ηλιακής δραστηριότητας, οι θέσεις των ηλιακών κηλίδων είναι επίσης σημαντικές. Έχει παρατηρηθεί ότι οι θέσεις των ηλιακών κηλίδων, με βάση το γεωγραφικό τους πλάτος στον ήλιο, σχηματίζουν ένα διάγραμμα σχήματος πεταλούδας. Επομένως, οι ηλιακές κηλίδες εμφανίζονται σε δύο ζώνες, στις δύο πλευρές του ισημερινού. Οι ζώνες αναπτύσσονται σε περίπου 30^ο από τον ισημερινό στην αρχή κάθε κύκλου.

Καθώς αυξάνεται η δραστηριότητα του ηλίου, εξαπλώνονται σε υψηλότερα και χαμηλότερα «ηλιογραφικά» πλάτη. Καθώς κάθε κύκλος εξελίσσεται, οι ζώνες ηλιακών κηλίδων μετακινούνται αργά προς τον ισημερινό, αλλά φαίνεται να «αποφεύγουν» τον ίδιο τον ισημερινό. Στη χρονική διάρκεια του ελάχιστου οι κύκλοι συχνά επικαλύπτονται, με κηλίδες του νέου ηλιακού κύκλου να εμφανίζονται στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, ενώ εξακολουθούν να υπάρχουν παλιές κηλίδες του προηγούμενου κύκλου κοντά στον ισημερινό. Οι ηλιακές κηλίδες παρουσιάζουν επίσης συστηματικές παραλλαγές με μήκος, αλλά αυτή η συμπεριφορά είναι πολύ πιο λεπτή από τη γεωγραφική συμπεριφορά που παρατηρείται στα διαγράμματα πεταλούδας. Οι ηλιακές κηλίδες συνήθως διαρκούν για μέρες και οι ενεργές περιοχές στις οποίες είναι ενσωματωμένες μπορεί να παραμείνουν για εβδομάδες ή και μήνες. Παρ' όλα αυτά, φαίνεται να υπάρχουν ενεργά μήκη ή «Φωλιές», όπου οι ενεργές περιοχές τείνουν να εμφανίζονται επανειλημμένα για χρόνια ή και δεκαετίες (Hathaway and Suess, 2008). Το φαινόμενο αυτό περιπλέκεται από τη διαφορετική περιστροφή του ήλιου, επειδή αυτές οι περιοχές παραμένουν ενεργές και τα ενεργά μήκη συνήθως μετακινούνται σε σχέση με τα μήκη που δίδονται από την ταχύτητα περιστροφής Carrington. Παρ' όλα αυτά, αν απλά παρθεί ο μέσος όρος των ηλιακών κηλίδων στο γεωγραφικό μήκος που έχουν καθοριστεί στο σύστημα Carrington, τότε φαίνεται η παρουσία σημαντικών υπερδευγερμένων θέσεων «ηλιογραφικού»

μήκους (Hathaway and Wilson, 2004, Henney και Harvey, 2002; Castenmiller et al., 1986).

Η ολική διπολική φύση του μαγνητικού πεδίου του ηλίου και η αντιστροφή του, κατά τη διάρκεια του μέγιστου, κάθε ηλιακού κύκλου, είναι το σημείο που λαμβάνει ο ηλιακός μαγνητικός κύκλος δύο κύκλους ηλιακής δραστηριότητας, περίπου 22 χρόνια. Αυτός ο μαγνητικός κύκλος ονομάζεται κύκλος Hale, ο οποίος αντιπροσωπεύει τον πραγματικό φυσικό κύκλο δραστηριότητας του ηλίου. Οι ηλιακές κηλίδες είναι ψυχρές, σκοτεινές περιοχές στην επιφάνεια του ηλίου. Το κεντρικό μέρος της κηλίδας ονομάζεται σκιά και εμφανίζεται με πιο σκούρο χρώμα από τη γειτονική περιοχή που ονομάζεται παρασκιά. Οι ηλιακές κηλίδες έχουν την τάση να σχηματίζουν ομάδες, μέχρι και 100 στο πλήθος, με χρόνο ζωής μέχρι και δύο μήνες. Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι οι κηλίδες φαίνονται σκούρες λόγω της θερμοκρασίας τους. Είναι πιο ψυχρές από τη φωτόσφαιρα, όμως και αυτές εκπέμπουν ισχυρή ακτινοβολία. Σύμφωνα με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων, υπάρχουν 4 φάσεις του ηλιακού κύκλου, αύξουσα, μέγιστη, φθίνουσα, ελάχιστη (Gerontidou et al., 2018). Ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων είναι μια μεταβλητή που σχετίζεται με πολλές μορφές δραστηριότητας του ήλιου με τις οποίες εκπέμπεται ακτινοβολία. Οι ηλιακές κηλίδες είναι περιοχές του ηλίου, οι οποίες αποτελούν και ενδείξεις της ηλιακής δραστηριότητας. Αποτελούν μία μεταβλητή με ισχυρή συσχέτιση με άλλες μεταβλητές της ηλιακής δραστηριότητας και αποτελούν (οι ίδιες) ένα καλό μέτρο της δραστηριότητας του ήλιου. Έτσι, για παράδειγμα, οι ηλιακές κηλίδες σχετίζονται με τη ροή ραδιοκυμάτων του ηλίου, με την ηλιακή φωτεινή ακτινοβολία (solar irradiance), καθώς και με κάποιες περιπτώσεις ηλιακών εκλάμψεων, όπως οι M-εκλάμψεις και οι X-εκλάμψεις (Hathaway and Suess, 2008). Επίσης, μια μικρότερη συσχέτιση υπάρχει μεταξύ ηλιακών κηλίδων και γεωμαγνητικού πεδίου, αλλά και γεωμαγνητικού πεδίου με ταχεία ηλιακά ρεύματα (HSSWSs). Στον ηλιακό-γήινο χώρο, παρατηρείται και μία αρνητική συσχέτιση μεταξύ ηλιακών κηλίδων και κοσμικής ακτινοβολίας. Η αντίθετη αυτή συσχέτιση, παρουσιάζει και μια υστέρηση της

τάξεως κάποιων μηνών ($\cong 8$), αναδεικνύοντας και το χρονικό διάστημα που χρειάζεται σε μια ηλιακή μεταβολή να εξαπλωθεί μέσω της ηλιόσφαιρας και να κυριαρχήσει στον διαστημικό χώρο.

Ο κύκλος των μαγνητικών κηλίδων συνδέεται και με έναν γενικό μαγνητικό ηλιακό κύκλο. Οι κύκλοι που είναι διαδοχικοί, παρουσιάζουν κηλίδες με διαφορετική πολικότητα. Επομένως, αν στον έναν κύκλο μια κηλίδα έχει βόρειο προσανατολισμό (βόρειο μαγνητικό πόλο), στον επόμενο κύκλο, θα έχει νότιο. Την ερμηνεία αυτού του φαινομένου έδωσε ο Babcock (1961), σύμφωνα με την οποία, το μαγνητικό πεδίο είναι σταθεροποιημένο μέσα στα ιονισμένα αέρια και η περιστροφή του ήλιου μπλέκει το πεδίο, καθώς ο ισημερινός περιστρέφεται ταχύτερα στους πόλους. Η κίνηση αυτή ονομάζεται διαφορετική περιστροφή και είναι αποτέλεσμα του ότι ο ήλιος δεν είναι στερεό σώμα, αλλά αέριο. Στα σημεία που οι μαγνητικές γραμμές ξεπηδούν από την επιφάνεια του ήλιου, εμφανίζονται ζεύγη κηλίδων (Λασκαρίδης, 2011). Όταν το πεδίο περιπλέκεται υπερβολικά, ξαναοργανώνεται πάνω σε απλές γραμμές μαγνητικού πεδίου, και η «διαφορική περιστροφή» αρχίζει να το περιπλέκει ξανά. Τότε είναι η αρχή ενός νέου ηλιακού κύκλου. Ενώ ο κύκλος των ηλιακών κηλίδων είναι 11-ετής, ο μαγνητικός κύκλος έχει διάρκεια 22 έτη. Επομένως, είναι γνωστό ότι το μαγνητικό πεδίο του ήλιου προκαλεί τη δημιουργία των ηλιακών κηλίδων. Αυτό ευθύνεται και για άλλα ακραία φαινόμενα, όπως οι εκλάμψεις και οι προεξοχές.

2.5 Ακραία ηλιακά φαινόμενα

Ένα από τα ακραία ηλιακά φαινόμενα (μη περιοδικά) είναι οι προεξοχές. Οι προεξοχές (prominences) παρατηρούνται κατά τη διάρκεια ολικών εκλείψεων ηλίου και φαίνονται σαν ερυθρές προεκβολές στο χείλος του ηλιακού δίσκου. Το χρώμα τους είναι το ίδιο με αυτό της χρωμόσφαιρας, κόκκινο, και προέρχεται από τις γραμμές εκπομπής του υδρογόνου (Λασκαρίδης, 2011). Οι προεξοχές γενικά, κατευθύνονται από το μαγνητικό πεδίο και διακρίνονται στις ήρεμες και στις κινούμενες (ενεργητικές, εκρηκτικές, κηλίδων και

μεγάλων κυμάτων). Στις προεξοχές παρατηρείται ένα ενδιαφέρον φαινόμενο. Η ύλη τους πολλές φορές κινείται από το στέμμα προς την ηλιακή επιφάνεια, επειδή ήταν ιονισμένο εξαιτίας της τεράστιας θερμοκρασίας (για αυτό και ήταν αόρατο). Όταν τα ιόντα αυτά μπουν στην περιοχή των προεξοχών όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη και η πίεση υψηλότερη, γίνονται πάλι ουδέτερα άτομα και έτσι είναι ορατά. Ο μηχανισμός που συμβαίνει είναι πως η ύλη εξατμίζεται και ανεβαίνει από τη χρωμόσφαιρα προς το στέμμα, με τη βοήθεια των ακίδων. Με την είσοδο στο στέμμα, το υλικό γίνεται ορατό. Οι προεξοχές, πάνω στην επιφάνεια του ηλίου, φαίνονται σαν σκοτεινοί, επιμήκεις σχηματισμοί, και από κει πήραν και το όνομά τους, νήματα (Λασκαρίδης, 2011).

Ένα άλλο έντονο ηλιακό φαινόμενο, είναι οι ηλιακές εκλάμψεις (flares). Οι εκλάμψεις είναι βίαιοι σχηματισμοί, και στην πραγματικότητα είναι έκρηξη της ηλιακής επιφάνειας φτάνοντας μέσα σε λίγα λεπτά στο μέγιστό τους και εξασθενώντας σε λιγότερο από ώρα (Λασκαρίδης, 2011). Στο διάστημα αυτό, εκπέμπονται τεράστια ποσά ακτινοβολίας X, υπεριώδους ακτινοβολία και ορατή ακτινοβολία, καθώς και ρεύματα από πρωτόνια υψηλής ενέργειας και ηλεκτρόνια. Ενδεικτικά, μία ηλιακή έκλαμψη μπορεί να απελευθερώσει ενέργεια ίση με 10^{25} Joules και η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει τους 500.000 °K και οι μελέτες των ακτίνων X δείχνουν ότι πιθανόν συμβαίνουν και πυρηνικές αντιδράσεις (Gershberg και Knyazeva, 2005). Είναι, πλέον, γνωστό ότι οι ηλιακές εκλάμψεις συνδέονται με το μαγνητικό πεδίο του ηλίου. Οι περισσότερες ηλιακές εκλάμψεις αναπτύσσονται κοντά σε ηλιακές κηλίδες, καθώς έχει διαπιστωθεί ότι προκαλούνται από μαγνητοϋδροδυναμικές διαδικασίες, και διαδικασίες πλάσματος, οι οποίες σχετίζονται με ισχυρά μαγνητικά πεδία ηλιακών κηλίδων. Επομένως, οι ηλιακές εκλάμψεις συνήθως συμβαίνουν σε περιοχές συσσώρευσης κηλίδων και μπορούν να δημιουργηθούν επανειλημμένα στο ίδιο σημείο. Έτσι, πολλές εκλάμψεις μπορούν να προέλθουν από την ίδια ομάδα κηλίδων. Παρόλα αυτά, περίπου το 10% των εκλάμψεων δεν παρουσιάζουν καμία συσχέτιση με

αυτές. Όλες οι εκλάμψεις δείχνουν να εμφανίζονται στις περιοχές των φωτεινών περιοχών του ηλίου (faculae).

Κατά τη διάρκεια των ηλιακών λάμψεων, τα θερμαινόμενα μεσαία στρώματα της ατμόσφαιρας του ηλίου, ακτινοβολούν έντονα σε οπτικά μήκη κύματος (Gershberg και Knyazeva, 2005). Οι εκλάμψεις συμβαίνουν κυρίως όταν αιφνίδιες συσπειρώσεις του μαγνητικού πεδίου αποθηκεύουν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας, τα οποία απελευθερώνονται αργότερα, απότομα. Έτσι, σημεία ηλιακών κηλίδων, αντίθετης πολικότητας συνδέονται στην ηλιακή ατμόσφαιρα με μαγνητικά πεδία ροής και η εμφάνιση μιας εκλάμψεως συνήθως καταγράφεται ως εμφάνιση ενός μεγάλου αριθμού φορτισμένων σωματιδίων υψηλής ενέργειας στις βάσεις των τόξων που σχηματίζονται από αυτά τα μαγνητικά πεδία ροής. Τα σωματίδια εντοπίζονται από την ισχυρή έκρηξη μη θερμικών εκπομπών ακτίνων Χ. Προχωρώντας κατά μήκος των μαγνητικών γραμμών ροής, αυτά τα σωματίδια θερμαίνουν το πλάσμα το οποίο είναι περιορισμένο εντός των μαγνητικών γραμμών του πεδίου, σε υψηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να προκαλείται μεγαλύτερη θερμική έκλαμψη. Η διέγερση βαθύτερων και πυκνότερων στρωμάτων από τα ενεργητικά σωματίδια, οδηγούν στην οπτική λάμψη (εκπομπή) της χαμηλότερης χρωμοσφαιράς. Τα σωματίδια υψηλής ενέργειας που προκύπτουν στην αρχή της ηλιακής έκλαμψης συχνά προκαλούν παραμορφώσεις, οι οποίες διαδίδονται προς τα πάνω στο ηλιακό στέμμα. Αυτές οι στρεβλώσεις εκδηλώνονται ως μη-θερμική ακτινοβολία σε εύρος μεγάλου μήκους κύματος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν διάφοροι τύποι εκπομπής ακτινοβολίας, στα πλαίσια των ηλιακών εκλάμψεων, οι οποίοι διαφέρουν στον μηχανισμό παραγωγής, τον τόπο, τον χρόνο, της πόλωσης και των χαρακτηριστικών συχνότητας με τα οποία εμφανίζονται. Επίσης, διαφορετικές κινήσεις της ύλης εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των ηλιακών εκλάμψεων. Στις ισχυρότερες ηλιακές εκλάμψεις, το αποκαλούμενο «λευκό φως» έκλαμψης, παρατηρείται όταν η έκλαμψη εκπέμπει στο οπτικό εύρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, και οι στρεβλώσεις

επεκτείνονται στη μέση φωτόσφαιρα. Κατά τη διάρκεια μιας έντονης εκλάμψης, η οπτική φωτεινότητα ενός άστρου αυξάνεται κατά πολλές φορές για δεκάδες δευτερόλεπτα και ο χαρακτήρας της ακτινοβολίας του αστέρα αλλάζει σημαντικά. Έτσι, συνεχής εκπομπή επικαλύπτει τις λεπτομέρειες απορρόφησης της περιοχής του οπτικού φάσματος. Η ένταση των γραμμών εκπομπής της χρωμόσφαιρας και της μεταβατικής περιοχής (χρωμόσφαιρας – στέμματος) που παρατηρείται στα οπτικά και υπεριώδη τμήματα του φάσματος, αυξάνεται απότομα. Οι γραμμές εκπομπής που παρατηρούνται στην οπτική περιοχή του φάσματος διευρύνονται αισθητά και η ένταση της θερμικής ραδιοκυματικής ακτινοβολίας αυξάνεται. Επομένως, αυξάνεται και η θερμοκρασία του ηλιακού στεμματικού πλάσματος. Σε μια ευρεία κλίμακα συχνοτήτων εμφανίζεται μη θερμική ακτινοβολία, η οποία διαδίδεται στο ηλιακό στέμμα. Η συνεισφορά των εκπεμπόμενων ραδιοσυχνοτήτων, στη συνολική ενέργεια των εκλάμψεων, είναι ελάχιστη, αντίστοιχα, οι συνολικές ενέργειες ακτινοβολίας στο οπτικό φάσμα και στις ακτίνες Χ, είναι συγκρίσιμες του μεγέθους της συνολικής ενέργειας, όμως η κινητική ενέργεια της ύλης που εμπλέκεται στις εκλάμψεις υπερβαίνει την αντίστοιχη ενέργεια ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, κατά τάξη μεγέθους (Gershberg και Knyazeva, 2005).

Ιδιαίτερα, οι ηλιακές εκλάμψεις έχουν μεγάλη επίδραση στη γήινη δραστηριότητα. Οι ακτίνες Χ και οι υπεριώδεις ακτίνες που εκπέμπονται από τις ηλιακές εκλάμψεις φτάνουν στη γη, αυξάνοντας τον ιονισμό της ανώτερης ατμόσφαιρας της γης, με αποτέλεσμα την ανάκλαση των βραχέων ραδιοκυμάτων. Οι εκλάμψεις συχνά εκπέμπουν σωματίδια υψηλής ενέργειας, τα οποία, μέσα στον ηλιακό άνεμο, όταν φτάσουν κοντά στη γη, αλληλεπιδρούν με το μαγνητικό πεδίο της γης προκαλώντας ηλεκτρικά ρεύματα, τα οποία ρέουν στην ατμόσφαιρα της γης προς τους μαγνητικούς πόλους. Αυτά τα ρεύματα συχνά διεγείρουν τα άτομα της ανώτερης ατμόσφαιρας της γης, ένα φαινόμενο που οδηγεί σε εμφάνιση έντονης και εντυπωσιακής λάμψης στους πόλους, το γνωστό σέλας ή πολικό σέλας. Αυτό συνήθως παρατηρείται γύρω από τους γεωμαγνητικούς πόλους. Τα ηλεκτρικά

ρεύματα μπορούν να διαταράξουν το μαγνητικό πεδίο της γης και να προκαλέσουν μαγνητικές καταιγίδες.

2.6 Γεωμαγνητική δραστηριότητα

Αναλύοντας τα ηλιακά φαινόμενα, αντιλαμβανόμαστε ότι δεν είναι στατικά και περιλαμβάνουν τόσο κυκλικά φαινόμενα, όσο και ξαφνικά - ακραία φαινόμενα. Δεν πρέπει να προξενεί εντύπωση το γεγονός ότι η επίδρασή τους στο διάστημα, αλλά και στην ίδια τη γη (η οποία ανήκει σε αυτό), δεν είναι σταθερή και όχι πάντα προβλέψιμη. Επομένως, απλώς η ανάλυση των ηλιακών φαινομένων δεν ερμηνεύει πλήρως τον μηχανισμό της επίδρασής τους στη γη, αλλά πρέπει να μελετηθεί ο τρόπος αντίδρασης της γης στα ηλιακά φαινόμενα καθώς και η ίδια η αλληλεπίδραση (μηχανισμός και αποτέλεσμα) του ηλίου με τη γη. Έτσι, εισαγόμαστε στον χώρο κοντά στη γη, τη λεγόμενη μαγνητόσφαιρα. Γενικά, μαγνητόσφαιρα, ονομάζεται ο χώρος γύρω από έναν πλανήτη ή ουράνιο σώμα, ο οποίος επηρεάζεται από το μαγνητικό πεδίο του πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα, η μαγνητόσφαιρα της γης, είναι μια μεγάλη περιοχή, η οποία περιβάλλει την ατμόσφαιρα της γης. Η μαγνητόσφαιρα, αν και έχει συγκεκριμένη διαμόρφωση, τελικά καθορίζεται από την αλληλεπίδραση μεταξύ του μαγνητικού πεδίου της γης και του ηλιακού ανέμου ο οποίος φτάνει σε αυτήν από τον ήλιο.

Για τους πλανήτες στο ηλιακό σύστημα, γενικά, η αλληλεπίδραση του πλανητικού περιβάλλοντος με τον ηλιακό άνεμο, καθορίζουν το μαγνητικό περιβάλλον των πλανητών. Η αλληλεπίδραση αυτή εξαρτάται έντονα από τη φύση του μαγνητισμού του πλανητικού σώματος (άρα και για την περίπτωση της γης), καθώς και από την ουδέτερη και ιονισμένη του ατμόσφαιρα (Balogh, 2010). Ο Edmund Halley, το 1676, ήταν ο πρώτος που παρατήρησε ότι μεταβολές του μαγνητικού πεδίου της γης συνέπιπταν με την εμφάνιση σέλας (Μουσσάς, 2013). Σήμερα, για παράδειγμα, γνωρίζουμε ότι το σέλας προέρχεται από σωματίδια του ηλιακού ανέμου και της γήινης ατμόσφαιρας, τα οποία διεισδύουν και παγιδεύονται στην μαγνητόσφαιρα της γης. Αυτά τα σωματίδια, κατά τη διάρκεια γεωμαγνητικής δραστηριότητας, συγκρούονται

με άτομα των αερίων της ανώτερης ατμόσφαιρας, τα οποία τελικά διεγείρονται. Έτσι, τα τελευταία, αποδιεγειρόμενα, εκπέμπουν ακτινοβολία, η οποία ονομάζεται σέλας. Γεωμαγνητικές μετρήσεις μπορούν να εντοπίσουν διακυμάνσεις του μαγνητικού πεδίου, οι οποίες οφείλονται στη σύζευξη (coupling) μεταξύ του γήινου μαγνητικού πεδίου και των μαγνητικών γραμμών του ενδοπλανητικού πεδίου, το οποίο μεταφέρεται με τον ηλιακό άνεμο (Benestad, 2006). Υπάρχουν πολλοί δείκτες που μετρούν αυτές τις διακυμάνσεις, αντανακλώντας και διαφορετικές φυσικές παραμέτρους η καθεμιά. Εκτός αυτών των διακυμάνσεων, το γήινο μαγνητικό πεδίο έχει και από μόνο του μια μεταβλητότητα.

Η μαγνητόσφαιρα της γης έχει σχήμα πεπλατυσμένο στην πλευρά που βλέπει προς τον ήλιο, ενώ προς την άλλη μεριά μία τεράστια ουρά. Έτσι, η ουρά της μαγνητόσφαιρας της γης εκτείνεται προς τη σκοτεινή πλευρά της για πολλές ακτίνες γης. Παρότι οι μαγνητόσφαιρες σε διάφορους πλανήτες έχουν ίδια δομή, διαφέρουν ως προς το μέγεθός τους. Η έκταση της μαγνητόσφαιρας είναι συνάρτηση της πίεσης του ηλιακού ανέμου ο οποίος προσπίπτει σε αυτή, και η πίεση είναι ανάλογη της πυκνότητας του ηλιακού ανέμου η οποία φθίνει ως το τετράγωνο της ηλιοκεντρικής απόστασης και για αυτό το μέγεθος της μαγνητόσφαιρας αυξάνει όσο πάμε μακριά από τον ήλιο (Μουσσάς, 2013). Το μέγεθος της μαγνητόσφαιρας του εκάστοτε πλανήτη, αυξομοιώνεται καθώς ο πλανήτης συναντά διάφορα ρεύματα και κρουστικά κύματα από το πλάσμα του ηλιακού ανέμου, με διάφορες πιέσεις για το καθένα. Σε περιπτώσεις ισχυρών κρουστικών κυμάτων, η γήινη μαγνητόσφαιρα συρρικνώνεται στο μισό ή και λιγότερο της συνηθισμένης της ακτίνας. Η παραμόρφωση που προκαλείται στη μαγνητόσφαιρα έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή και των ζωνών Van Allen (βλέπε παρακάτω) αλλά και τη μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας η οποία φτάνει στη γη. Επίσης, άλλα αποτελέσματα είναι η μεταβολή της ιονόσφαιρας και η παροδική αλλαγή της διάρκειας της ημέρας.

Το σχήμα της μαγνητόσφαιρας έχει συγκεκριμένη διαμόρφωση. Τα μαγνητικά πεδία των πλανητών δεν εκτείνονται σε «άπειρη» απόσταση (γύρω

τους) επειδή επηρεάζονται από τον υπερηχητικό ηλιακό άνεμο. Η επίδραση του μαγνητικού πεδίου των πλανητών περιορίζεται στον «πεπερασμένο» χώρο της μαγνητόσφαιρας. Επειδή ο ηλιακός άνεμος έχει υπερηχητικές ιδιότητες, δημιουργούνται κρουστικά κύματα. Επειδή όμως η απόσταση γης - ήλιου είναι μικρή και το πλάσμα του ηλιακού ανέμου πολύ αραιό, τον ρόλο για την επίδραση στο μαγνητικό πεδίο παίζουν οι μαγνητικές ιδιότητες του πλάσματος. Στον ηλιακό άνεμο, το μαγνητικό πεδίο είναι εγκλωβισμένο και για αυτό το πλάσμα είναι μαγνητισμένο. Έτσι, η διάδοση μιας διαταραχής μεταδίδεται μέσω του μαγνητικού πεδίου, το οποίο ήταν εγκλωπιμένο στον ηλιακό άνεμο.

Σημαντικό ρόλο όμως παίζουν και τα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα της Γης. Η ανώτατη περιοχή της ατμόσφαιρας της γης ονομάζεται εξώσφαιρα και ξεκινάει από τα 600 km ύψος. Τα σωματίδια σε αυτήν τη ζώνη της ατμόσφαιρας, λόγω της θερμικής τους κίνησης, παρουσιάζουν μια ανοδική συνιστώσα στην ταχύτητά τους και είναι συχνό φαινόμενο να διαφεύγουν στο διάστημα, σε περιπτώσεις που η ενέργειά τους είναι αρκετά μεγάλη, αλλιώς ξαναπέφτουν στην ατμόσφαιρα. Τα στοιχεία υδρογόνο και ήλιον φεύγουν εύκολα γενικά και αναπληρώνονται από διάφορες πηγές, όπως είναι η διάσπαση του ύδατος καθώς και ορισμένες ραδιενεργές διασπάσεις. Όταν τα άτομα αυτά εξέρχονται από την ατμόσφαιρα, επειδή είναι ηλεκτρικά φορτισμένα, ακολουθούν τις μαγνητικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου της γης. Αν η γραμμή που ακολουθούν είναι κοντά στους πόλους, τα σωματίδια οδηγούνται γρήγορα προς τα έξω και αδυνατούν να επιστρέψουν πίσω στη γη. Αυτά τα σωματίδια ονομάζονται πολικός άνεμος (Μουσσάς, 2013). Τα σωματίδια, τα οποία ξεκινούν από μαγνητικά πλάτη πιο κοντά στον ισημερινό, έχουν θετική πιθανότητα να ξαναγυρίσουν στην ατμόσφαιρα. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μία περιοχή γύρω από τη γη που περιβάλλεται από κλειστές δυναμικές γραμμές, οι οποίες συγκροτούν ένα πληθυσμό από πλάσμα, ιόντα και ηλεκτρόνια. Αυτός ο χώρος ονομάζεται πλασμόσφαιρα.

Για την περίπτωση του διαστημικού καιρού, ιδιαίτερη σημασία έχουν η πλασμόσφαιρα, η μαγνητόσφαιρα, οι ζώνες Van Allen και το ρεύμα δακτυλίου. Η πλασμόσφαιρα είναι μια κρύα, πυκνή, εσωτερική περιοχή της μαγνητόσφαιρας, στην οποία βρίσκεται μια συνεχής ροή ιονοσφαιρικού πλάσματος, το οποίο κινείται κατά μήκος των γεωμαγνητικών δυναμικών γραμμών (Goldstein, 2006). Η πλασμάσφαιρα αποτελείται από H^+ (περίπου 80%), He^+ (10-20%) και O^+ (λίγα έως μερικά ποσοστά, ανάλογα με τη γεωμαγνητική δραστηριότητα), όπως επισημαίνεται από τους Lemaire and Gringauz (1998). Η πλασμόσφαιρα περιέχει ύλη, η οποία εισέρχεται από την πλευρά της μέρας της ιονόσφαιρας. Η πλευρά της ιονόσφαιρας προς τον ήλιο (μέρα), διαρρέει κατά μήκος των γραμμών του μαγνητικού πεδίου και σιγά-σιγά γεμίζει τους σωλήνες ροής (flux tubes) που βρίσκονται στην πλευρά της, με ψυχρό ιονοσφαιρικό πλάσμα. Προκαλείται από την επανασύνδεση της μαγνητόπαυσης (το όριο της μαγνητόσφαιρας), όπου ισχυρές ηλιακές μεταβολές διαταράσσουν τα εξωτερικά στρώματα της πλασμόσφαιρας. Η διάβρωση προκαλεί το εξωτερικό όριο της πλασμόσφαιρας, την πλασμόπαυση, να κινηθεί προς τα μέσα, στην πλευρά που δεν βλέπει προς τον ήλιο (νύχτα), αλλά και προς τα έξω, στην πλευρά που βλέπει προς τον ήλιο (μέρα), με αποτέλεσμα να σχηματίζει «λοφίσματα», δηλαδή σχηματισμούς πυκνού πλάσματος οι οποίοι εκτείνονται στην εξωτερική μαγνητόσφαιρα (Goldstein, 2006). Η σύζευξη μεταξύ της εσωτερικής μαγνητόσφαιρας και της ιονόσφαιρας μπορεί να τροποποιήσει σημαντικά το πεδίο μεταφοράς, είτε ενισχύοντας τις ροές προς την πλευρά της μέρας και κοντά στην πλευρά της νύχτας, είτε προστατεύοντάς τες στην πλευρά της νύχτας.

Η πλασματοσφαιρική διαμόρφωση παίζει καθοριστικό ρόλο στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα. Οι κυματο-σωματιδιακές αλληλεπιδράσεις εντός της πλασμόσφαιρας, μπορούν να προκαλέσουν σκεδασμό και απώλεια θερμότερων πλασμάτων που βρίσκονται στον χώρο, όπως για παράδειγμα αυτά που βρίσκονται στο ρεύμα δακτυλίου και στις ζώνες ακτινοβολίας (ζώνες Van Allen). Σε συνδυασμό με την περιστροφή προς τα ανατολικά του

μαγνητικού πεδίου της γης, η πλήρωση στην πλευρά της μέρας παράγει έναν κώνο ψυχρού πλάσματος ιονοσφαιρικής προέλευσης. Κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων ήρεμων γεωμαγνητικών συνθηκών, όταν η πλήρωση της ιονόσφαιρας είναι το κυρίαρχο αποτέλεσμα, η πλασμόσφαιρα μπορεί να γίνει αρκετά μεγάλη και δεν έχει διακριτό εξωτερικό όριο (Goldstein et al., 2003b). Από τις πρώτες κιόλας μετρήσεις της πλασματόσφαιρας, βρέθηκε μία περιοχή «καλώς οριοθετημένη», η οποία ονομάζεται πλασμόπαυση. Οι γεωμαγνητικές διαταραχές μετακινούν τη μαγνητόπαυση προς τα μέσα, σε μικρότερες τιμές ακτίνας L (Carpenter, 1970; Chappell et al., 1970), και η μέση πλασμόσφαιρα γίνεται μεγαλύτερη για την μαγνητική πλευρά προς την πλευρά της «δύσης», από ότι για την αντίστοιχη προς την «ανατολή» (Carpenter, 1967). Η διάδοση θερμότητας στην πλευρά της μέρας διαβρώνει τα εξωτερικά στρώματα της πλασμόσφαιρας, αφαιρώντας πλάσμα και δημιουργώντας ένα απότομο όριο πλασμόπαυσης, του οποίου η τιμή L είναι αντιστρόφως ανάλογη της δραστηριότητας του γεωμαγνητικού πεδίου.

Κατά τη διάρκεια περιόδων γεωμαγνητικής διαταραχής, η ηλιακή μεταβολή του πλάσματος παίζει καθοριστικό ρόλο στη πλασματοσφαιρική δυναμική. Ίσως η πιο θεμελιώδης αιτία της εσωτερικής μαγνητοσφαιρικής μετατροπής, είναι η επανασύνδεση της μαγνητόπαυσης στην πλευρά της ημέρας. Η μαγνητόπαυση είναι το όριο μεταξύ του γεωμαγνητικού πεδίου και του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου (IMF). Όταν το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο στη μαγνητόπαυση είναι προσανατολισμένο απέναντι (νότια) από το γεωμαγνητικό πεδίο, αυτά τα αντίθετα κατευθυνόμενα πεδία μπορούν να υποστούν επανασύνδεση, μια διαδικασία η οποία προκαλεί τη σύνδεση των γραμμών γεωμαγνητικών πεδίων. Οι γραμμές του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου, οι οποίες στη συνέχεια μετακινούνται αντίθετα (μαζί με τις επικρατούσες ηλιακές ροές ανέμου) στην μαγνητοσφαιρική ουρά (μαγνητόσφαιρα), έχει σαν αποτέλεσμα οι ηλιακές ροές να μεταφέρονται στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα (Dungey, 1961). Το πλασμοσφαιρικό αποτέλεσμα μιας ενίσχυσης του γεωμαγνητικού φαινομένου

εξαρτάται από το μέγεθος της αύξησης της μεταφοράς που προαναφέραμε και της κατάστασης της πλασμόσφαιρας κατά την εκδήλωση της ενισχυμένης μεταφοράς. Τα πιο δραματικά γεγονότα διάβρωσης της πλασμόσφαιρας περιλαμβάνουν εξαιρετικά μεγάλες ενισχύσεις μεταφοράς, τα οποία εκτυλίσσονται μετά από διαστήματα έντονων γεωμαγνητικών συνθηκών. Εάν η αύξηση της μεταφοράς είναι ήπια, και η πλασμόσφαιρα έχει πολύ πρόσφατα διαβρωθεί, ελάχιστη ή καθόλου διάβρωση πιθανόν να συμβεί (Goldstein, 2006). Η υπο-καταιγίδα, είναι μια κρίσιμη μαγνητοσφαιρική διαδικασία, η οποία πιστεύεται ότι συμβαίνει όταν η περίσσεια μαγνητικής ροής στην μαγνητοουρά ξαφνικά απελευθερώνεται (Baker et al., 1996). Έτσι, το ολικό γήινο μαγνητικό πεδίο επανασχηματίζεται από μια γεωμετρία σχήματος τύπου «ουράς» (αποθηκευμένης μαγνητικής ροής και υψηλής μαγνητικής τάσης) σε μια πιο διπολική γεωμετρία (απελευθέρωση μαγνητικής έντασης). Αυτή η μαγνητική διπόλωση προκαλεί γρήγορη κίνηση του ηλιακού ανέμου με γεωμαγνητικό τρόπο, με αποτέλεσμα να προκαλείται ένα ολικό γήινο ηλεκτρικό πεδίο (Aggson et al., 1983) το οποίο μεταφέρει το πλάσμα προς τη γη. Η παραμόρφωση της πλασμόπαυσης βρέθηκε ισχυρά συσχετισμένη τόσο με την εμφάνιση σέλας κατά τη διάρκεια υπο-καταιγίδων, όσο και με την ενίσχυση παραμόρφωσης ρεύματος δακτυλίου (Goldstein et al., 2005b). Αυτή η συσχέτιση συνεπάγεται ότι οι υπο-καταιγίδες είναι η αιτία της παραμόρφωσης της πλασμόπαυσης (και του ρεύματος δακτυλίου), και επίσης υποδεικνύει ισχυρή σύζευξη μεταξύ διαφορετικών πληθυσμών πλάσματος.

Σημαντικό ρόλο στις μαγνητικές καταιγίδες παίζουν και οι ζώνες Van Allen. Οι ζώνες ακτινοβολίας ή αλλιώς ζώνες παγίδευσης σωματιδίων, γνωστές και ως ζώνες "Van Allen" είναι μαγνητοσφαιρικές περιοχές, οι οποίες περιέχουν μαγνητικώς παγιδευμένα ιόντα υψηλής ενέργειας και σχετικιστικά ηλεκτρόνια (Van Allen and Frank, 1959). Έχουν δακτυλιοειδές σχήμα και το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι τα πολύ ενεργητικά σωματίδια (υψηλής ενέργειας), τα οποία, αλληλεπιδρούν με τα μόρια της ατμόσφαιρας. Τα ενεργητικά αυτά σωματίδια παράγονται είτε από την κοσμική ακτινοβολία,

είτε από τον ηλιακό άνεμο. Εντός των ζωνών Van Allen, η ολίσθηση των πρωτονίων γίνεται προς τη δύση, ενώ των ηλεκτρονίων προς την ανατολή (White, 1966). Τα σχετικιστικά ηλεκτρόνια χωρίζονται σε δύο ζώνες, μια εσωτερική ζώνη και μία εξωτερική. Ενώ η εσωτερική ζώνη είναι σχετικά σταθερή, ανεπηρέαστη από όλες πλην των ισχυρών γεωμαγνητικών καταιγίδων, η εξωτερική ζώνη είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε κάθε γεωμαγνητικές συνθήκες. Οι δύο ζώνες διαχωρίζονται κανονικά από μια περιοχή γνωστή ως «σχισμή», χωρίς ρελατιβιστικά ηλεκτρόνια. Κατά τη διάρκεια έντονων καταιγίδων, η εξωτερική ζώνη, μπορεί να κινηθεί προς τα μέσα και να διεισδύσει (κάποιες φορές γεμίζει πλήρως) στην υποδοχή (Baker et al., 1994). Σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό της «σχισμής» παίζει και η πλασμόσφαιρα, ιδίως η πλασμόπαυση (Thorne et al., 1973). Αλληλεπιδράσεις διάχυτων κυμάτων-σωματιδίων (μεταξύ κυμάτων και σωματίδια της ζώνης ακτινοβολίας), μέσα στη πλασμόσφαιρα, είναι η αιτία απώλειας ηλεκτρονίων, τα οποία διατηρούν την περιοχή της σχισμής. Επομένως, η εξωτερική έκταση της πλασμόσφαιρας, κατά μέσο όρο, συμπίπτει με την εσωτερική έκταση της εξωτερικής ζώνης (Russell and Thorne, 1970; Baker et al., 2004; Goldstein et al., 2005c). Οι έντονες καταιγίδες προκαλούν σοβαρές διαταραχές, με αποτέλεσμα η πλασμόπαυση να κινείται μέσα στο εσωτερικό της σχισμής. Επομένως, η σχισμή γεμίζει με νέα ενεργητικά ρελατιβιστικά ηλεκτρόνια.

Τα παγιδευμένα ενεργητικά σωματίδια στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα θεωρούνται η πρώτη συνιστώσα του μαγνητοσφαιρικού πλάσματος και του διαστημικού πλάσματος. Η ανακάλυψη έγινε μέσω των μετρήσεων με σωλήνες Geiger-Mueller της ομάδας του James Van Allen (Van Allen et al., 1958). Ο Van Allen ερμήνευσε σωστά τις μετρήσεις ως αποτέλεσμα της έντονης ακτινοβολίας που εκπέμπονται (Van Allen, 1959). Τα θεμέλια, όμως, της σύγχρονης μαγνητοσφαιρικής έρευνας είχαν ήδη γίνει στη δεκαετία του 1930 από τους Charman και Ferraro (1930, 1931), στην προσπάθειά τους να εξηγήσουν τις μεγάλες διαταραχές στο μαγνητικό πεδίο της Γης που αρχίζουν σχεδόν ταυτόχρονα σε όλη τη Γη. Έτσι, οι Charman και Ferraro (1930, 1931) θεώρησαν ότι εκτυλίσσεται μια παροδική ροή

εκπεμπόμενων ηλιακών ιόντων και ηλεκτρονίων, τα οποία φτάνοντας στη Γη διαρρέουν στη μαγνητόσφαιρά της. Τα φορτισμένα σωματίδια που παρασύρονται στη Γη δημιουργούν ένα ρεύμα, του οποίου το πεδίο αντιτάσσεται στο κύριο γεωμαγνητικό πεδίο. Η θεωρία τους έχει απήχηση ακόμα και σήμερα με τη μόνη διαφορά ότι πλέον γνωρίζουμε πως το ρεύμα αυτό δεν είναι παροδικό, αλλά συνεχές, ιονισμένου αερίου (πλάσμα), το οποίο προέρχεται από τον ήλιο.

Με βάση το έργο του Moos (1910), ο Charman (1919) κατέδειξε τις συνολικές συνέπειες των γεωμαγνητικών καταιγίδων και ορίστηκε η χρονική διακύμανση της οριζόντιας συνιστώσας του γεωμαγνητικού πεδίου ως «Dst variation». Αυτός είναι και ο ορισμός του δείκτη Dst. Έτσι, οι γεωμαγνητικές καταιγίδες, θεωρούνται πως έχουν αρχή, μέση και τέλος, με αποτέλεσμα να μπορούμε να σχεδιάζουμε τη γραφική παράσταση των μετρήσιμων επιδράσεων του ρεύματος δακτυλίου στην επιφάνεια της Γης. Το γήινο ρεύμα δακτυλίου (ring current) είναι ένα ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει σπειροειδώς γύρω από τη Γη, με κέντρο το ισημερινό επίπεδο και σε υψόμετρα από ~ 10.000 έως 60.000 χλμ. Επαυξήσεις σε αυτό το ρεύμα είναι υπεύθυνες για την ολική συρρίκνωση του μαγνητικού πεδίου της γης και παίζουν σημαντικό ρόλο στις γεωμαγνητικές καταιγίδες (Daglis, 2006).

Οι μαγνητικές καταιγίδες έχουν σοβαρές επιπτώσεις στα τεχνολογικά συστήματα, όπως οι διαταραχές ή μόνιμη ζημιά σε δορυφόρους τηλεπικοινωνιών και πλοήγησης, τηλεπικοινωνιακά καλώδια, και τα ηλεκτρικά δίκτυα. Οι κύριοι φορείς του ρεύματος δακτυλίου είναι θετικά ιόντα, με ενέργειες από ~ 1 keV σε μερικές εκατοντάδες keV, οι οποίες παγιδεύονται από το γεωμαγνητικό πεδίο και υφίστανται αζιμουθιακή μετατόπιση. Το ρεύμα δακτυλίου, ή αλλιώς δακτυλιοειδές ρεύμα, σχηματίζεται με την έγχυση ιόντων που προέρχονται από τον ηλιακό άνεμο και τη γήινη ιονόσφαιρα στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα. Η διαδικασία της έγχυσης περιλαμβάνει ηλεκτρικά πεδία που σχετίζονται με ενισχυμένη μαγνητοσφαιρική μεταφορά και/ή μαγνητοσφαιρικές υποκαταιγίδες. Το ρεύμα του δακτυλίου μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σπειροειδές ηλεκτρικό

ρεύμα που ρέει δυτικά γύρω από τη Γη με μεταβλητή πυκνότητα σε γεωκεντρικές αποστάσεις. Παρόλο που όλα τα γεωμαγνητικά παγιδευμένα φορτισμένα σωματίδια στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα συμβάλλουν σε αυτό το ρεύμα, στην πραγματικότητα, τα ιόντα μέσης ενέργειας εύρους ~ 10 keV έως μερικές εκατοντάδες keV ουσιαστικά συμβάλλουν στη συνολική πυκνότητα ρεύματος. Τα ηλεκτρόνια συμβάλλουν ελάχιστα στο ρεύμα του δακτυλίου λόγω της αμελητέας ενεργειακής τους πυκνότητας (Baumjohann, 1993).

Οι Daglis et al. (2003) έδειξαν ότι στις περιπτώσεις έντονης και ελάχιστης ηλιακής δραστηριότητας, παρουσιάζεται έντονη ασυμμετρία ρεύματος δακτυλίου. Κατά τη διάρκεια και των δύο περιπτώσεων, το ρεύμα του δακτυλίου από εξαιρετικά ασύμμετρο στην κύρια φάση μετατράπηκε σε σταδιακά λιγότερο ασύμμετρο στη φάση ανάκαμψης και στην αργή φάση ανάκτησης ασθενέστερο αλλά συμμετρικό. Η ασυμμετρία του ρεύματος του δακτυλίου είναι άμεση συνέπεια του χαρακτήρα των ιόντων κατά τη διάρκεια εξέλιξης του φαινομένου των γεωμαγνητικών καταιγίδων. Έτσι, κατά τη διάρκεια της κύριας φάσης, και σε μεγάλο μέρος της φάσης πρόωμης ανάκαμψης, το ηλεκτρικό πεδίο μεταφοράς είναι ισχυρό και η μαγνητοσφαιρική διαμόρφωση επιτρέπει στην πλειοψηφία των ιόντων του δακτυλιοειδούς ρεύματος να κινούνται κατά μήκος των ανοιχτών μαγνητικών διαδρομών, παρασυρόμενων στην πλευρά της μαγνητόπαυσης που βλέπει προς τον ήλιο. Οι τοπολογικές αλλαγές του δακτυλιοειδούς ρεύματος είναι σημαντικές για την μεγέθυνση και τη σμίκρυνση του συμμετρικού - μερικού δακτυλίου. Οι παρατηρούμενοι πληθυσμοί στο εξωτερικό όριο μετακινούνται μέσα και διαμέσου της εσωτερικής μαγνητόσφαιρας, ακολουθώντας τις διαδρομές ολίσθησης, οι οποίες ελέγχονται από το ηλεκτρικό πεδίο μεγάλης κλίμακας. Κατά τη διάρκεια της κύριας φάσης ανάπτυξης του ρεύματος δακτυλίου, τα ιόντα που χάνονται είναι περισσότερα από αυτά που αντισταθμίζονται από νέα σωματίδια που συλλέγονται.

Ωστόσο, καθώς η μαγνητική δραστηριότητα υποχωρεί, το ηλεκτρικό πεδίο αποδυναμώνεται και η πυκνότητα του φύλλου πλάσματος μειώνεται. Αυτά τα δύο συμβάντα παράγουν ένα ρεύμα δακτυλίου σε φάση αποδιέγερσης (Daglis, 2006). Τα πράγματα όμως μπορεί να διαφέρουν από καταιγίδα σε καταιγίδα. Για παράδειγμα, οι Mitchell et al. (2001) ανέδειξαν μια διαφορά μεταξύ δύο μαγνητικών καταιγίδων (μία έντονη και μία ασθενής). Στην περίπτωση της ισχυρής καταιγίδας, τα ιόντα του δακτυλιοειδούς ρεύματος παρασύρονταν σε κλειστές δυναμικές γραμμές, ενώ στην περίπτωση της ασθενούς γεωμαγνητικής καταιγίδας, τα ιόντα ήταν πιο πολύ εξαρτώμενα από ανοικτές δυναμικές γραμμές. Συνοψίζοντας, το ρεύμα του δακτυλίου, στην ανάπτυξη, την εξέλιξη και τη φθορά του, είναι το συλλογικό αποτέλεσμα του ηλιακών, διαπλανητικών, μαγνητοσφαιρικών και ιονοσφαιρικών παραγόντων (Daglis, 2006).

Ιόντα που προέρχονται από τον ηλιακό άνεμο και την ιονόσφαιρα μεταφέρονται μέσω της μαγνητο-συχράς και του φύλλου πλάσματος (Mobius et al., 1987, Baker et al., 1996) αλλά και απευθείας από την ιονόσφαιρα (Kaye et al., 1981, Daglis et al., 1991, Grande et al., 1992; Daglis et al., 1994) στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα κατά τη διάρκεια επαύξεσης της μεταγωγής και κατά τη διάρκεια των γεωμαγνητικών υπο-καταιγίδων. Υπάρχουν δύο σημαντικοί τρόποι με τους οποίους οι υπο-καταιγίδες επηρεάζουν την ενίσχυση του δακτυλιοειδούς ρεύματος. Με βάση τον πρώτο τρόπο, οι υπο-καταιγίδες ενισχύουν την ιονοσφαιρική εκροή (Daglis et al., 1994, Daglis and Axford, 1996) με αποτέλεσμα να αυξάνει η πυκνότητα του φύλλου πλάσματος (Nose et al., 2005). Οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι το υψηλής πυκνότητας φύλλο πλάσματος μπορεί να είναι η σημαντικότερη παράμετρος, η οποία μπορεί να μετατρέψει μια μέτρια γεωμαγνητική καταιγίδα σε έντονη. Με άλλα λόγια, η ιονοσφαιρική εκροή μπορεί να τροποποιήσει σημαντικά τη γεω-αποτελεσματικότητα του νότιου ενδοπλανητικού μαγνητικού πεδίου (IMF), μέσω του πλάσματος (Daglis et al., 2003). Ο δεύτερος μηχανισμός περιλαμβάνει τα επαγόμενα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στην ενεργοποίηση των σωματιδίων που υπάρχουν στο

δακτυλοειδές ρεύμα, κατά τη διάρκεια εκτόλισης γεωμαγνητικών καταιγίδων (Daglis and Kamide, 2003, Daglis et al., 1998; Metallinou et al., 2005). Σημαντικό ρόλο φαίνεται να παίζουν τα ιόντα υδρογόνου και οξυγόνου (H^+ και O^+ αντίστοιχα). Έτσι, η συμπερίληψη ηλεκτρικών πεδίων που προκαλούνται από ηλεκτρικά πεδία υπο-καταιγίδων, τα H^+ και O^+ ιόντα που προέρχονται από την πολική ιονόσφαιρα (σέλαος) και το φύλλο πλάσματος, καθιστούν την επιτάχυνση των ιόντων πολύ αποτελεσματικότερη. Επομένως, η μαζική εκροή και η στοχευμένη επιτάχυνση των ιόντων O^+ στην ιονόσφαιρα, είναι πολύ μεγάλη κατά τη διάρκεια έντονων γεωμαγνητικών καταιγίδων. Ενδεικτικά, το οξυγόνο σε αναλογία με την πυκνότητα ενέργειας πρωτονίων μπορεί να φτάσει ως και 400% (Daglis, 1997; Daglis et al., 1999).

Η πλασμόσφαιρα και το ρεύμα δακτυλίου συχνά είναι περίπου χωρικά συμπληρωματικά, αλλά τα δύο αέρια πλάσματα επικαλύπτονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή η επικάλυψη μπορεί να οδηγήσει σε σμίκρυνση του ρεύματος δακτυλίου. Η ανάμειξη των θερμών ιόντων του ρεύματος δακτυλίου με το ψυχρό, πυκνό πλασματοσφαιρικό πλάσμα ευνοούν την ανάπτυξη ηλεκτρομαγνητικών κυκλοτρονικών ιόντων (Gary et al., 1995), τα οποία μπορούν να διασκορπίσουν τα ιόντα του δακτυλοειδούς ρεύματος στην ιονόσφαιρα. Όταν το ρεύμα δακτυλίου συναντήσει την πλασμόσφαιρα, μπορεί να υποστεί διάσπαση και να διασκορπίσει τα σωματίδιά του στην ιονόσφαιρα, δημιουργώντας αισθητή παρουσία σέλαος (Spasojevic et al., 2004). Η αλληλεπικάλυψη μεταξύ της πλασμόσφαιρας και του ρεύματος δακτυλίου είναι μια ασταθής κατάσταση, έτσι ώστε σε αρκετά μεγάλα χρονικά διαστήματα, η πλασμόσφαιρα και το ρεύμα του δακτυλίου πρέπει να είναι χωρικά συμπληρωματικά.

Η σύζευξη ατμόσφαιρας, ιονόσφαιρας, μαγνητόσφαιρας παίζει σημαντικό ρόλο για τη διαμόρφωση σωματιδιακών πληθυσμών της μαγνητόσφαιρας. Το πλάσμα εισέρχεται εύκολα από την πλευρά της μαγνητόσφαιρας που βλέπει προς τον ήλιο, εισρέοντας από δυναμικές γραμμές κοντά στους πόλους. Στο εσωτερικό της μαγνητόσφαιρας, τα φορτισμένα σωματίδια ακολουθούν τροχιές, οι οποίες καθορίζονται από τη

διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου γύρω από το οποίο διαγράφουν ελικοειδή κίνηση (O'Brien, McPherron, 2000). Ακολουθώντας αυτές τις τροχιές, φτάνουν σε περιοχές όπου το μαγνητικό πεδίο αυξάνεται αρκετά, με αποτέλεσμα τα σωματία αυτά να ανακλώνται. Η βαθμίδα του μαγνητικού πεδίου αναγκάζει τα σωματία να αποκτήσουν πρόσθετη ταχύτητα ολίσθησης, η οποία αναγκάζει τα θετικά σωματία και κυρίως τα πρωτόνια, να κινούνται προς τη δύση (όπως προαναφέραμε), και τα ηλεκτρόνια προς την ανατολή. Η καμπυλότητα των γραμμών ροής δίνει στα σωματία άλλη μια ταχύτητα ολίσθησης με παρόμοιο τρόπο και αποτέλεσμα. Αυτή η συνιστώσα, η οποία προέρχεται από την καμπυλότητα των δυναμικών γραμμών, είναι αποτέλεσμα της κεντρομόλου δύναμης, η οποία εξασκείται από τις δυναμικές γραμμές οι οποίες αναγκάζουν τα σωματία να ακολουθούν την καμπύλη των δυναμικών γραμμών πέρα από την ελικοειδή κίνηση (Μουσσάς, 2013).

Όταν μαγνητικό πεδίο εναποτίθεται από τον ηλιακό άνεμο, το οποίο έχει μια συνιστώσα με κατεύθυνση από βορρά προς νότο, αυτό το μαγνητικό πεδίο αλληλεπιδρά με ορισμένο τρόπο, ώστε οι δυναμικές του γραμμές να ενώνονται με αυτές του γεωμαγνητικού πεδίου. Όταν ο ηλιακός άνεμος κινείται, παρασέρνει τις μαγνητικές γραμμές του μαζί του, και μαζί και οι ενώσεις του γεωμαγνητικού πεδίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το γεωμαγνητικό πεδίο να διαταράσσεται, ιδιαίτερα όταν λαμβάνει χώρα μεταβολή στον προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου από βορρά προς νότο· σε αυτήν την περίπτωση, η μεταβολή αυτή συνοδεύεται από διαταραχή πυκνότητας και ταχύτητας του ηλιακού ανέμου, με αποτέλεσμα τα φαινόμενα των γεωμαγνητικών μεταβολών να είναι πολύ ισχυρά (Μουσσάς, 2013). Ιδιαίτερα, κατά τη διάρκεια γεωμαγνητικών διαταραχών, τα παγιδευμένα σωματίδια εντός της μαγνητόσφαιρας, κυρίως ηλεκτρόνια και πρωτόνια, αλληλεπιδρούν με την ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να εκπέμπεται φως (το προαναφερθέν σέλας). Όταν το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο, που είναι ενσωματωμένο στον ηλιακό άνεμο, αντιτίθεται στο εγγενές μαγνητικό πεδίο της Γης, συμβαίνει μια μεταφορά ενέργειας στην επίγεια μαγνητόσφαιρα. Αν αυτή η κατάσταση παραμείνει για αρκετές ώρες, ολόκληρη η μαγνητόσφαιρα

διαταράσσεται, κατάσταση που ονομάζεται γεωμαγνητική καταιγίδα (Gonzalez et al., 1994).

Οι γεωμαγνητικές καταιγίδες παράγουν μια σειρά διακριτών φυσικών επιδράσεων στο περιβάλλον πλησίον της Γης, όπως η επιτάχυνση των φορτισμένων σωματιδίων στο διάστημα, η εντατικοποίηση των ηλεκτρικών ρευμάτων στο χώρο και στο έδαφος, η δημιουργία σέλας και μαγνητικές διαταραχές στο γήινο περιβάλλον (Daglis et al., 2003). Λεπτομερέστερα, τα ηλιακά ακραία γεγονότα προκαλούν την παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου της Γης και της πλασμόσφαιρας (Baker et al., 2005). Έτσι, με την παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου της γης, εκπέμπονται ενεργητικά σωματίδια, κυρίως πρωτόνια και ηλεκτρόνια (Asikainen et al., 2005). Κατά τη διάρκεια μιας γεωμαγνητικής καταιγίδας, η εισροή ηλιακής ενέργειας στη μαγνητόσφαιρα ενισχύεται σημαντικά (Asikainen et al., 2005). Η επιτάχυνση των σωματιδίων κατά τη διάρκεια των γεωμαγνητικών καταιγίδων μπορεί να προσδώσει υπερθερμικές και πολύ ενεργές ιδιότητες στα σωματίδια. Μια τυπική γεωμαγνητική καταιγίδα περιλαμβάνει ενίσχυση του δακτυλιοειδούς ρεύματος, το οποίο αυξάνεται προοδευτικά και στη συνέχεια επανέρχεται σε κατάσταση ηρεμίας πιο αργά (Kamide et al., 1997). Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις όπου μπορεί να λάβουν χώρα υπο-καταιγίδες, γεγονός που μπορεί επίσης να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη δυναμική των καταιγίδων μέσω της επιτάχυνσης των ενεργειακών σωματιδίων του δακτυλιοειδούς ρεύματος (Daglis et al., 2003). Σύμφωνα με αυτό, η επίδραση των υπο-καταιγίδων στη γη είναι παρόμοια με αυτή των καταιγίδων. Η επίδραση των γεωμαγνητικών φαινομένων είναι πιο έντονη στους πόλους παρά στον ισημερινό (Sigaeva et al., 2009).

Οι κύριοι παράγοντες που δημιουργούν αρνητικές επιπτώσεις στον διαστημικό καιρό είναι οι ηλιακές εκλάμψεις, οι επαυξήσεις των ακτίνων Χ, οι εκτοξεύσεις της μάζας στέμματος και τα μαγνητικά τους αποτελέσματα, καθώς και οι εκρήξεις της ηλιακής ραδιενέργειας (Tulunay and Bradley, 2004). Όλοι οι παραπάνω παράγοντες είναι σε θέση να δημιουργήσουν διαστημικές καταιγίδες, όταν εντατικοποιηθούν.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν τόσο ηλιακά όσο και γεωμαγνητικά δεδομένα. Από τα ηλιακά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέτρησης των ηλιακών κηλίδων, του πλήθους των ηλιακών εκλάμψεων και της ταχύτητας του ηλιακού ανέμου. Στα πλαίσια ανάλυσης της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης γεωμαγνητικής δραστηριότητας, και ένας από τους σημαντικότερους είναι ο Dst (Mursula et al., 2011). Για τις ανάγκες της έρευνας και μελέτης των γεωμαγνητικών φαινομένων, έχουν αναπτυχθεί αρκετοί μαγνητικοί δείκτες που περιγράφουν αυτά τα φαινόμενα που εκτυλίσσονται κοντά στη Γη (Mursula et al., 2011). Αυτοί οι δείκτες παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τον αντίκτυπο του ηλιακού ανέμου στον διαστημικό χώρο κοντά στη γη, για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ο δείκτης Dst είναι ένας από τους σημαντικότερους ηλιακούς-χερσαίους δείκτες, ο οποίος στοχεύει στην περιγραφή της χρονικής εξέλιξης των μαγνητικών καταιγίδων και της έντασης του δακτυλιοειδούς ρεύματος (Mursula et al., 2011). Όταν τα θερμά, ενεργητικά ιόντα εισέρχονται στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα, η γεωμετρία του γεωμαγνητικού πεδίου προκαλεί τη μετακίνηση τους γύρω από τη Γη, σχηματίζοντας δυτικό δακτυλιοειδές ρεύμα (O'Brien, McPherron, 2000). Το μαγνητικό πεδίο του ρεύματος του δακτυλίου μειώνει το γεωμαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια της Γης, και αυτή η πτώση είναι που μετριέται από τον δείκτη Dst (O'Brien, McPherron, 2000). Μια τυπική καταιγίδα περιλαμβάνει ένα ουσιαστικό ρεύμα δακτυλίου που αναπτύσσεται μέσα σε λίγες ώρες και στη συνέχεια ανακάμπτει σε αρκετές ημέρες (Kamide et al., 1997). Επομένως, το μέτρο της έντασης μιας γεωμαγνητικής καταιγίδας είναι η ισχύς του δακτυλιοειδούς ρεύματος, όπως μετράται από τον δείκτη Dst. Κατά τη διάρκεια των μαγνητικών καταιγίδων, ο δείκτης Dst απεικονίζει μια μεγάλη αρνητική πτώση, αντικατοπτρίζοντας την προς τα δυτικά ολίσθηση των ενεργητικά φορτισμένων σωματιδίων που παράγονται κατά τη διάρκεια της καταιγίδας, φέρνοντας ένα ηλεκτρικό ρεύμα που κατευθύνεται προς τα δυτικά (Mursula et al., 2011). Όπως προτάθηκε από τους Temerin et al. (2006),

τα ρεύματα μεγάλης κλίμακας που επηρεάζουν το δείκτη Dst ελέγχονται καλά από παραλλαγές διαφόρων μορφών ηλιακού ανέμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Αν και ο διαστημικός καιρός αναπτύσσεται ραγδαία ως πεδίο έρευνας, η εκτίμηση του συνολικού οικονομικού κόστους του διαστημικού καιρού φαίνεται να είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο (Eastwood, 2017). Υπάρχει μεγάλη ανάγκη για ανάλυση, κατανόηση και πρόβλεψη της επίδρασης των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στην παγκόσμια οικονομία. Ένα σημαντικό γεγονός που συνέβη το 1859 και αναδεικνύει τη βαρύτητα του θέματος είναι το φαινόμενο Carrington. Κατά το ηλιακό αυτό γεγονός, το αποτέλεσμα στη Γη ήταν η καταστροφή των μετασχηματιστών και ηλεκτρικών συσκευών που υπήρχαν τότε. Αυτό αποτελεί επίσης και ένα καλό παράδειγμα που υπογραμμίζει τη σημασία αυτών των φαινομένων και τον αντίκτυπό τους στην οικονομική δραστηριότητα, καθώς το εκτιμώμενο συνολικό οικονομικό κόστος ενός φαινομένου σε επίπεδο Carrington, θα μπορούσε να φθάσει τα 2,6 τρις δολάρια στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται σε πληθυσμό που πλήττεται από 20-40 εκατομμύρια (Eastwood, 2017). Επομένως, το γεγονός ότι υπάρχουν μαθηματικά μοντέλα εκτίμησης της πιθανότητας ένας δορυφόρος να βγει εκτός λειτουργίας λόγω ενός έντονου ηλιακού φαινομένου, δεν θα πρέπει να μας προξενεί εντύπωση. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του Halloween του 2003, σαράντα επτά (47) δορυφόροι ανέφεραν ανωμαλίες, ένας (1) επιστημονικός δορυφόρος χάθηκε και δέκα (10) δορυφόροι έχασαν τη λειτουργία τους για περισσότερες από μία ημέρες (Eastwood et al., 2017). Άλλο ένα σημαντικό γεγονός που δείχνει τη σημασία των προαναφερθέντων, είναι η γεωμαγνητική καταιγίδα της 13ης Μαρτίου 1989, γνωστή ως το πιο διάσημο διαστημικό ακραίο γεγονός στη σύγχρονη ιστορία (Green et al., 2016). Όταν η γεωμαγνητική καταιγίδα βρισκόταν σε εξέλιξη, το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος του Québec παρουσίασε ισχυρές τάσεις που ήταν τόσο μεγάλες που προκάλεσαν την ενεργοποίηση του συστήματος προστασίας του δικτύου. Αυτό οδήγησε στο κλείσιμο ολόκληρου του δικτύου σε λιγότερο από δύο λεπτά. Έξι εκατομμύρια άνθρωποι επηρεάστηκαν και υπήρξε σημαντικό οικονομικό κόστος (Green et al., 2016). Όλα αυτά τα γεγονότα είναι πολύ σημαντικά για τη μέτρηση των κραδασμών στην οικονομία λόγω της ηλιακής δραστηριότητας, πράγμα που σημαίνει ότι

οι ηλιακές καταιγίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο μέτρησης του αντίκτυπου του ήλιου στην οικονομική δραστηριότητα.

Οι επιπτώσεις της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας στην οικονομική δραστηριότητα είναι ποικίλες, τόσο στο διάστημα (τηλεπικοινωνίες, δορυφόροι, κ.ά), όσο και στην επίγεια δραστηριότητα (άντληση πετρελαίου, διακοπή παροχής ρεύματος, κ.ά). Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, μπορούμε να πούμε ότι οι τομείς επιρροής των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στην οικονομία, είναι τέσσερις. Πρώτον, η επιρροή στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών, των ραδιοκυμάτων, των γεωσύγχρονων δορυφόρων (GNSS), δεύτερον, η επιρροή στους ηλεκτρικούς μετασχηματιστές και στο ηλεκτροδοτικό δίκτυο γενικότερα, τρίτον στην δραστηριότητα άντλησης πετρελαίου, και τέταρτον η έμμεση επίδραση σε όλους τους κλάδους της οικονομίας με κεντρικό «οδηγό» κλάδο τον κλάδο ενέργειας στην πρώτη περίπτωση και τον κλάδο των χρηματοοικονομικών στη δεύτερη περίπτωση.

Συνοψίζοντας, οι επιπτώσεις της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας στην οικονομία, αφορούν, κατά κύριο λόγο, τα δορυφορικά συστήματα και τις τηλεπικοινωνίες, την παροχή ρεύματος, τα διάφορα ηλεκτρονικά συστήματα και τη δραστηριότητα άντλησης πετρελαίου. Τέλος, σημαντικά είναι και τα φαινόμενα διάχυσης της επίδρασης της ηλιακής δραστηριότητας στον κλάδο της ενέργειας και, στη συνέχεια, σε όλους τους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας και, αντίστοιχα, της επίδρασης της ηλιακής δραστηριότητας στον κλάδο των χρηματοοικονομικών και, στη συνέχεια, σε όλους τους υπόλοιπους της οικονομίας. Σε ό,τι ακολουθεί, περιγράφονται αναλυτικά οι επιπτώσεις της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας στους διάφορους κλάδους.

3.1 Επιπτώσεις στους δορυφόρους και τις τηλεπικοινωνίες

Μια από τις πρώτες καταγεγραμμένες παρενέργειες του ηλιακού περιβάλλοντος στις τεχνολογίες επικοινωνίας ξεκίνησε με τα τηλεγραφικά συστήματα που βρέθηκαν να εκπέμπουν ανώμαλα σήματα λόγω του τρόπου που έρρεε το ρεύμα, εξαιτίας των ηλιακών φαινομένων, στα σύρματά τους (Lanzerotti et al., 2007). Το γεγονός ότι έντονα φαινόμενα σέλαος σε όλη την Ευρώπη, ακολουθήθηκαν από αποδιοργάνωση των τηλεγράφων, έδειξε ότι η αλληλεπίδραση ηλιακού-χερσαίου συστήματος είχε αντίκτυπο στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Η σημασία αυτών των φαινομένων οδήγησε στην ανάλυση του διαστημικού καιρού και στη δημιουργία σχετικών κέντρων πρόβλεψης.

Όπως έχουμε δει, οι κύριοι παράγοντες του διαστημικού καιρού που δημιουργούν αρνητικές επιπτώσεις στις επικοινωνίες είναι οι ηλιακές εκλάμψεις και οι εκτοξεύσεις ηλιακής μάζας και τα μαγνητικά τους αποτελέσματα (Tulunay and Bradley, 2004). Όλοι οι παραπάνω παράγοντες είναι σε θέση να δημιουργήσουν διαστημικές καταιγίδες, όταν ενισχυθούν και παραταθούν στο χρόνο. Στο πλαίσιο αυτό, οι διαστημικές καταιγίδες παράγουν μια σειρά διακριτών φυσικών επιδράσεων στο περιβάλλον πλησίον της Γης, όπως η επιτάχυνση των φορτισμένων σωματιδίων στο διάστημα, η εντατικοποίηση των ηλεκτρικών ρευμάτων στο χώρο και στο έδαφος, το σέλας, και οι παγκόσμιες μαγνητικές διαταραχές στο γήινο περιβάλλον (Daglis et al., 2003). Πιο αναλυτικά, τα ηλιακά ακραία γεγονότα προκαλούν τη στρέβλωση και παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου της Γης και της πλασμόσφαιρας (Baker et al., 2005). Κατά τη διάρκεια μιας μαγνητικής καταιγίδας, με την παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου της γης, εκπέμπονται ενεργητικά σωματίδια, κυρίως πρωτόνια και ηλεκτρόνια (Asikainen et al., 2005).

Κατά τη διάρκεια μιας γεωμαγνητικής καταιγίδας, η εισροή ηλιακής ενέργειας από τον ηλιακό άνεμο στη μαγνητόσφαιρα ενισχύεται σημαντικά (Asikainen et al., 2005). Η επιτάχυνση των σωματιδίων κατά τη διάρκεια των καταιγίδων μπορεί να προσδώσει υπερθερμικές και πολύ ενεργές ιδιότητες

στα ενεργητικά σωματίδια. Τα πολύ ενεργητικά σωματίδια μπορεί να είναι επιζήμια για δορυφορικά όργανα και υποσυστήματα (Baker et al., 2005), καθώς αυτό μπορεί να οδηγήσει στην κατάρρευση ολόκληρου του τηλεπικοινωνιακού συστήματος και σε μόνιμες βλάβες στους δορυφόρους (Daglis et al., 2003). Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις που μπορεί να λάβουν χώρα υπο-καταιγίδες και μπορεί επίσης να παίξει σημαντικό ρόλο στη δυναμική του διαστημικού καιρού, μέσω της επιτάχυνσης των ενεργητικών σωματιδίων του ρεύματος δακτυλίου (Daglis et al., 2003). Έτσι, οι γεωμαγνητικές υπο-καταιγίδες μπορούν να επηρεάσουν τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα με τον ίδιο τρόπο που κάνουν και οι γεωμαγνητικές καταιγίδες.

Επιπλέον, ο διαστημικός καιρός μπορεί να επηρεάσει τις τηλεπικοινωνίες, λόγω του κινδύνου των ταξιδιών των αεροσκαφών και της διακοπής της τεχνολογίας των συσκευών αεροσκαφών. Επίσης, μπορεί να καταστραφούν δορυφόροι ή να υπολειπθούν, να σταματήσει η λειτουργία παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης (GNSS), να παρεμποδιστεί η επικοινωνία και ιδίως η επικοινωνία εκτάκτου ανάγκης, να δημιουργηθούν προβλήματα στην επικοινωνία υψηλών συχνοτήτων (διακοπή ρεύματος), παρεμπόδιση της κινητής δορυφορικής επικοινωνίας και επίγειας εκπομπής (Cannon et al., 2013).

Όπως προαναφέραμε, ο ήλιος έχει μια περιοδικότητα 11 ετών με κύριο χαρακτηριστικό τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων (Xystouris et al., 2014), όμως μερικές φορές τα ηλιακά φαινόμενα μπορεί να είναι ακραία. Σύμφωνα με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων, υπάρχουν 4 φάσεις του ηλιακού κύκλου, αύξουσα, μέγιστη, κατιούσα, ελάχιστη (Xystouris et al., 2014). Κατά τη διάρκεια των υψηλών μαγνητικών φάσεων, ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων αυξάνεται. Οι ηλιακές κηλίδες είναι περιοχές με υψηλή μαγνητική δραστηριότητα, στην επιφάνεια του ήλιου, που συνήθως προκαλούν ακραία γεγονότα.

Οι ηλιακές εκρήξεις δημιουργούνται από την κίνηση του εσωτερικού του ήλιου, παραβιάζοντας τα δικά του μαγνητικά πεδία (τις μαγνητικές του

«γραμμές»). Στη συνέχεια, τα μαγνητικά πεδία επαναφέρονται εκρηκτικά, οδηγώντας τεράστια ποσά ενέργειας στο διάστημα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση και, στη χειρότερη περίπτωση, σε προσωρινή διακοπή ρεύματος στα σήματα πλοήγησης και επικοινωνίας. Σε μια πιο σοβαρή κατάσταση, μπορεί να καταστρέψουν τα συστήματα επικοινωνιών ή τους δορυφόρους που περιστρέφονται γύρω από τη Γη.

Ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων είναι ένας παράγοντας που σχετίζεται με πολλές από τις μορφές δραστηριότητας του ήλιου με τις οποίες εκπέμπεται ακτινοβολία, παρεμποδίζοντας τη λειτουργία γεωσύγχρονων δορυφόρων και δορυφόρων σε τροχιά γύρω από τη γη που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία (Ahluwalia, 2015). Επιπλέον, η απόδοση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας μπορεί να επηρεαστεί ή ακόμη και να παρεμποδιστεί από τις ηλιακές εκρήξεις (Eastwood et al., 2017).

Οι κύριοι παράγοντες του διαστημικού καιρού, που μπορούν να δημιουργήσουν μαγνητικές καταιγίδες στο διάστημα, όταν εντείνονται, είναι οι ηλιακές εκλάμψεις, η επαύξηση των ακτίνων X, οι εκτοξεύσεις μάζας από τη μάζα του ήλιου και οι εκρήξεις της ηλιακής ραδιενέργειας (Tulunay and Bradley, 2004). Επιπλέον, τα συστήματα παγκόσμιας πλοήγησης και αεροπορίας μπορούν να διαταραχθούν και η μαζική διέλευση μπορεί να επηρεαστεί από απώλειες ισχύος προκαλούμενες από επαγόμενα γεωμαγνητικά ρεύματα (Eastwood et al., 2017).

Ο διαστημικός καιρός μπορεί να επηρεάσει την οικονομική δραστηριότητα λόγω του κινδύνου των ταξιδιών των αεροσκαφών και της διακοπής της τεχνολογίας των συσκευών αεροσκαφών (Cannon et al., 2013) και γενικότερα προβλήματα μετάδοσης ραδιοφωνικών κυμάτων (Lanzerotti & Daglis, 2007). Μια πιο επίκαιρη ενδεχόμενη επίδραση των γεωμαγνητικών φαινομένων, όπως αναφέρεται από τους Eastwood et al. (2017), είναι για τα μηχανοκίνητα οχήματα και την οδική επιφόρτιση βάσει του παγκόσμιου δορυφορικού συστήματος πλοήγησης (GNSS).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η ηλιακή δραστηριότητα και ο διαστημικός καιρός μπορούν να επηρεάσουν, εκτός από τον κλάδο

τηλεπικοινωνιών, και τον χρηματοοικονομικό κλάδο. Έτσι, η χρήση κινητών τηλεφώνων είναι επιτακτική για πολλές πτυχές των επιχειρήσεων, ιδιαίτερα για τα ανώτερα στελέχη που πρέπει να συναντήσουν πελάτες και να οργανώσουν πολύπλοκες συναλλαγές (Green et al., 2016). Ο παγκόσμιος χαρακτήρας των επιχειρηματικών ευκαιριών προϋποθέτει εκτεταμένα ταξίδια, άμεση επικοινωνία, πολλά άτομα που εργάζονται από το σπίτι ή στο ίδιο γραφείο. Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, η λειτουργία του δικτύου κινητής τηλεφωνίας μπορεί να επηρεαστεί από την ηλιακή δραστηριότητα (Eastwood et al., 2017) οδηγώντας σε δυσλειτουργία τις επιχειρήσεις. Επίσης, η εκτέλεση και η επεξεργασία εξαιρετικά υψηλών όγκων συναλλαγών μεταξύ οργανισμών εξαρτάται απόλυτα από τα τεχνολογικά συστήματα και τον ακριβή χρονισμό. Οι αγορές, προκειμένου να λειτουργούν αποτελεσματικά, πρέπει να συγχρονίζουν έγκαιρα τις συναλλαγές. Αυτή η σφράγιση χρόνου εξαρτάται από τις συσκευές χρονισμού και όλο και περισσότερο από το GNSS. Έτσι, όπως προαναφέρθηκε, ο διαστημικός καιρός μπορεί να διαταράξει τους δορυφόρους (Cannon et al., 2013) διαταρόσσοντας τη χρονική επισφράγιση (Krausmann et al., 2014) και άρα να επηρεάσει με αυτό τον τρόπο τον χρηματοπιστωτικό κλάδο.

3.2 Επιπτώσεις σε ηλεκτρικούς μετασχηματιστές και παροχή ρεύματος

Ο ενεργειακός κλάδος επηρεάζεται έντονα από τα ηλιακά φαινόμενα. Ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων σχετίζεται με πολλές από τις μορφές δραστηριότητας του ήλιου με τις οποίες εκπέμπεται ακτινοβολία, παρεμποδίζοντας και τη λειτουργία ηλεκτρικών δικτύων και τους αγωγούς (Ahluwalia, 2015). Επιπλέον, οι ηλιακές εκλάμψεις μπορεί να οδηγήσουν σε διακοπή ηλεκτρικής δραστηριότητας ή ακόμα και σε ολική καταστροφή σε ορισμένα περιφερειακά γήινα συστήματα, ειδικά σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους (Cannon et al., 2013). Ο ηλιακός άνεμος είναι πλάσμα που εκπέμπεται από τον ήλιο, εγκλωβίζοντας μαγνητική ενέργεια στο εσωτερικό του. Η ταχύτητά του είναι το κύριο χαρακτηριστικό του, η οποία

χαρακτηρίζει κατά κύριο λόγο και την ισχύ του και χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των υψηλής ταχύτητας ηλιακών ανέμων - ρευμάτων (HSSWSs) (Gerontidou et al., 2018). Ο ηλιακός άνεμος, και ειδικά τα HSSWS, μπορεί να μερικές φορές μπορεί να οδηγήσουν σε ακραία γεγονότα, καθώς περιέχουν πολύ ενεργά σωματίδια (Xystouris et al., 2014). Αυτά, μπορούν να αποτελέσουν κινδύνους για τα τεχνολογικά συστήματα της Γης, όπως τους ηλεκτρικούς μετασχηματιστές. Με τον τρόπο αυτό, η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου μπορεί να επηρεάσει ουσιαστικά τον ενεργειακό κλάδο. Τέλος, τα επαγόμενα γεωμαγνητικά ρεύματα που σχετίζονται με γεωμαγνητικές καταιγίδες ενδέχεται να προκαλέσουν βλάβη στην ηλεκτρική φυσική υποδομή (μετασχηματιστές) ή να προκαλέσουν αστάθειες τάσης που μπορεί να οδηγήσουν σε διακοπή ρεύματος (Eastwood et al., 2017; Oughton et al., 2016), ειδικά σε μέρη μεγάλου γεωγραφικού πλάτους (Cannon et al., 2013). Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου φαινομένου αναφέρθηκε παραπάνω με την κατάρρευση του ηλεκτροδοτικού συστήματος του Quebec (Green et al., 2016).

Αξίζει να σημειωθεί, όπως και πριν, πως ένας κλάδος στον οποίο έχει ιδιαίτερη επιρροή η ενεργειακή απόδοση είναι ο κλάδος των χρηματοπιστωτικών υπηρεσιών. Ο χρηματοπιστωτικός κλάδος περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, επενδυτικές τράπεζες, επενδυτικά ταμεία, εταιρείες ασφάλισης και ακίνητης περιουσίας και δραστηριότητες συναλλαγών. Οι πελάτες μπορούν να είναι άλλοι οργανισμοί ή ιδιώτες (Green et al., 2016). Οι εταιρείες έχουν μια πολύπλοκη σειρά διαδικασιών και τεχνολογίας για να υποστηρίξουν τις δραστηριότητές τους. Οι περισσότερες από αυτές τις δραστηριότητες απαιτούν αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και χρήση του διαδικτύου. Επομένως, η ηλιακή δραστηριότητα και ο διαστημικός καιρός ενδέχεται να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία του χρηματοπιστωτικού κλάδου. Τέλος, οι οργανισμοί του χρηματοπιστωτικού κλάδου διαθέτουν σύνθετες αλυσίδες εφοδιασμού, αξιοποιώντας τις τιμές που εξαρτώνται από το χρόνο και τις πληροφορίες ειδήσεων και δεδομένων αγοράς, τεχνολογία και καλωδίωση οπτικών ινών για τη διασφάλιση συνεχόμενης παροχής

οικονομικών υπηρεσιών. Η τροφοδοσία μπορεί να παρεμποδιστεί λόγω των γεωμαγνητικών καταιγίδων (Cannon et al., 2013), οπότε διακοπές στην αγορά μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα, καθώς και βλάβη της φήμης μιας επιχείρησης με καταστροφικές οικονομικές συνέπειες (Green et al., 2016).

3.3 Επιπτώσεις στη δραστηριότητα άντλησης πετρελαίου

Η έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις του πετρελαίου στην παγκόσμια οικονομία είναι ένας σημαντικός κλάδος μελέτης. Τα αποτελέσματα μπορεί να είναι διαφορετικά ανά χώρα και κλάδο, με μία από τις εξηγήσεις για μια τέτοια απόκλιση στα αποτελέσματα να είναι η πηγή του πετρελαίου (Sek, 2019). Μερικές από τις ερμηνείες είναι οι ακαμψίες στους μισθούς, η μεγαλύτερη αξιοπιστία της νομισματικής πολιτικής, το χαμηλότερο μερίδιο του πετρελαίου στην κατανάλωση και την παραγωγή (Blanchard and Galí, 2007), η μικρότερη ελαστικότητα της καμπύλης ζήτησης πετρελαίου (Peersman and Van Robays, 2009) και η υψηλότερη αποτελεσματικότητα της ενέργειας στην παραγωγή (Alvarez et al., 2009).

Επιπλέον, η αγορά πετρελαίου επηρεάζεται έντονα από τη διαδικασία άντλησης πετρελαίου. Η ποσότητα του πετρελαίου που διατίθεται στην αγορά (το διαθέσιμο πετρέλαιο που αντλείται και επιτυχώς επεξεργάζεται και αποθηκεύεται και διανέμεται) επηρεάζει επίσης την τιμή του ιδίου. Επομένως, οι τιμές της αγοράς πετρελαίου επηρεάζονται θετικά από την πετρελαϊκή δραστηριότητα. Έτσι, η παρεμπόδιση ή η καταστροφή του συστήματος άντλησης πετρελαίου μπορεί να επηρεάσει αρνητικά και τις τιμές της αγοράς πετρελαίου. Μια ανασκόπηση 242 ατυχημάτων δεξαμενών αποθήκευσης που συνέβησαν τα τελευταία 40 χρόνια (1960-2003), δείχνουν ότι για το 85% των ατυχημάτων, η πυρκαγιά και η έκρηξη ήταν η αιτία (Chang and Lin, 2006). Μόνο το 30% προκλήθηκε από ανθρώπινα λάθη (Galvan και Gomes, 2013), γεγονός που σημαίνει ότι άλλες πιθανές συνθήκες μπορεί να έχουν παίξει σημαντικό ρόλο. Μια τέτοια περίπτωση θα μπορούσε να είναι ο ιονισμός της ατμόσφαιρας (Carpenter, 1996).

Ο μηχανισμός για την παρεμπόδιση της άντλησης πετρελαίου περιλαμβάνει δεσμευμένο φορτίο, ηλεκτρομαγνητικό παλμό, ηλεκτροστατικό παλμό και γήινα ρεύματα (Carpenter, 1996). Ο κίνδυνος αυτών των επιπτώσεων που σχετίζονται με τη φθορά είναι υψηλότερος από τον κίνδυνο άμεσης πυροδότησης (Changa and Linb, 2006). Η άντληση πετρελαίου μπορεί να επηρεαστεί από ιονισμό με έμμεσο αποτέλεσμα (Changa και Linb, 2006). Το δεσμευμένο φορτίο, ο ηλεκτρομαγνητικός παλμός, ο ηλεκτροστατικός παλμός και τα γήινα ρεύματα μπορεί να επηρεάσουν το σύστημα άντλησης πετρελαίου μέσω της πυροδότησης (Carpenter, 1996). Παρόλο που ο μηχανισμός πυροπροστασίας είναι έμμεσος (μέσω ιονισμού της ατμόσφαιρας), ο κίνδυνος των έμμεσων επιπτώσεων που σχετίζονται με τη φωτιά είναι μεγαλύτερος από τον κίνδυνο άμεσης πυροδότησης, για παράδειγμα στιγμιαία εκδήλωση κεραυνού (Changa and Linb, 2006).

Ωστόσο, η δραστηριότητα άντλησης πετρελαίου επηρεάζεται έντονα από τον ιονισμό, ο οποίος μπορεί επίσης να οφείλεται σε ηλιακά φαινόμενα. Παρότι το ζήτημα είναι πολύ σημαντικό, δεν υπάρχει καμία έρευνα σχετικά με την επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στο σύστημα άντλησης πετρελαίου. Όπως προαναφέραμε, οι ηλιακές εκλάμπεις δημιουργούνται από την κίνηση του εσωτερικού του ήλιου, παραβιάζοντας τα δικά του μαγνητικά πεδία. Τα μαγνητικά πεδία εκρηγνύονται, οδηγώντας τεράστια ποσά ενέργειας στο διάστημα. Οι ηλιακές εκλάμπεις περιέχουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας, περίπου 1000 φορές περισσότερες από αυτές του «ήρεμου ήλιου». Διαρκούν συνήθως μία ώρα (Rekunlu, 1999) αλλά σε μερικές περιπτώσεις περισσότερο. Κάποια από την ενέργεια που απελευθερώνεται από τις ηλιακές εκλάμπεις επιταχύνει τα υψηλής ενέργειας σωματίδια που μπορούν να φτάσουν στη Γη σε δεκάδες λεπτά, επηρεάζοντας την περιοχή της ατμόσφαιρας.

Οι ηλιακές εκλάμπεις μπορούν να προκαλέσουν γεωμαγνητικές καταιγίδες (Tulunay and Bradley, 2004), επηρεάζοντας την οικονομική δραστηριότητα λόγω της παρεμπόδισης των συστημάτων εδάφους, όπως συστήματα πετρελαίου, αγωγών φυσικού αερίου (Cannon et al., 2013). Κατά

τη διάρκεια ενός ακραίου ηλιακού συμβάντος, ορισμένες δραστηριότητες στη Γη, όπως η άντληση πετρελαίου ή η παροχή νερού μπορεί να διακοπεί πλήρως, κυρίως σε ψηλά και μικρά γεωγραφικά πλάτη κοντά στους πόλους (Sigaeva et al., 2009).

3.4 Έμμεση επίπτωση σε διάφορους κλάδους με άμεσο τον κλάδο της ενέργειας

Σε προηγούμενη ενότητα, αναφέραμε τον τρόπο που μπορεί να επιδράσει η ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα στον κλάδο της ενέργειας. Αυτή η επίδραση όμως έχει και έμμεσα αποτελέσματα σε όλους τους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι τα ηλιακά και γεωμαγνητικά φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στα τεχνολογικά συστήματα της Γης, όπως στους ηλεκτρικούς μετασχηματιστές. Έτσι, μπορεί να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό ο ενεργειακός κλάδος. Τα επαγόμενα γεωμαγνητικά ρεύματα που σχετίζονται με γεωμαγνητικές καταιγίδες ενδέχεται να προκαλέσουν βλάβη στην ηλεκτρική, φυσική υποδομή (μετασχηματιστές) ή να προκαλέσουν αστάθειες τάσης που μπορεί να οδηγήσουν σε διακοπή ρεύματος (Eastwood et al., 2017; Oughton et al., 2016; Cannon et al., 2013). Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου φαινομένου αναφέρθηκε παραπάνω με την κατάρρευση του ηλεκτροδοτικού συστήματος του Quebec (Green et al., 2016).

Ο ενεργειακός κλάδος όμως είναι σημαντικός για την ομαλή λειτουργία της συνολικής οικονομίας, καθώς επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα πολλούς (αν όχι όλους) τους κλάδους της οικονομίας. Η σχέση μεταξύ οικονομικής δραστηριότητας και ενέργειας είναι ένα ευρέως διερευνημένο θέμα στα οικονομικά και υπάρχουν αρκετές μελέτες σχετικά με τη σχέση μεταξύ ενέργειας και παραγωγής των διάφορων κλάδων της οικονομίας μίας χώρας (π.χ. Su, 2012; Lin και Li, 2014; Wang and McPhail, 2014; Yu et al., 2015;). Η στενή σχέση μεταξύ του ενεργειακού κλάδου και της συνολικής οικονομίας έγκειται κυρίως στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, οι

αποτυχίες στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας οδηγούν σε διακοπή ή προβλήματα γενικότερα της παραγωγής (Asakereh et al., 2010). Λόγω της τεράστιας αύξησης της ζήτησης ενέργειας τα τελευταία χρόνια, ο εξοπλισμός του συστήματος ενέργειας πρέπει να λειτουργεί με τις μέγιστες ικανότητές του (Banshwar et al., 2019). Αυτό πιθανόν να οδηγήσει σε μη προγραμματισμένες διακοπές και αποτυχία του εξοπλισμού.

Έντονη είναι η εξάρτηση των διαφόρων κλάδων από τον κλάδο ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικά παραδείγματα. Ο μεταποιητικός κλάδος χρησιμοποιεί ένα σημαντικό ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας για τις διαδικασίες μετασχηματισμού αλλά και ως μηχανική και κινητήρια δύναμη (Bergasse και Paczynski, 2013). Επιπλέον, όσον αφορά τον κλάδο των μεταφορών, η ενεργειακή ζήτηση έχει αυξηθεί και αυτό οφείλεται στα μεταφερόμενα αγαθά και τους επιβάτες που μεταφέρονται στις περιοχές (Khana et al., 2018). Οι δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών (π.χ. εκπαίδευση, εμπόριο, τουρισμός κ.λπ.), χρησιμοποιούν ενέργεια για τις ανάγκες τους (φωτισμός, μαγείρεμα, ζεστό νερό, θέρμανση, κλιματισμό, υπολογιστές, τηλεπικοινωνίες, ψυγεία και άλλες συσκευές). Τέλος, η γεωργία χρησιμοποιεί ενεργειακά εντατικές εισροές που απαιτούν σημαντική ποσότητα ενέργειας (Laronche, 2005; Bergasse και Paczynski, 2013).

Βάσει των ανωτέρω, οι διακυμάνσεις του ενεργειακού εφοδιασμού ενδέχεται να προκαλέσουν διακυμάνσεις στην παραγωγή των άλλων οικονομικών κλάδων. Έτσι, η διακοπή του εφοδιασμού με ηλεκτρική ενέργεια θα έθετε σε κατάσταση αναμονής τους διάφορους κλάδους, αναστέλλοντας τη λειτουργία τους (Bergasse και Paczynski, 2013). Επιπλέον, το μεταβαλλόμενο επίπεδο τιμών ενός κλάδου (π.χ. του κλάδου της ενέργειας) μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή και κατανάλωση ενός άλλου κλάδου (Yu et al., 2015). Ως αποτέλεσμα, οι διακυμάνσεις των τιμών της ενέργειας λόγω της αυξημένης ζήτησης ή / και ζημιών στις ενεργειακές υποδομές μπορεί, επίσης, να οδηγήσουν σε διακυμάνσεις στην παραγωγή άλλων κλάδων. Εντούτοις, ο ενεργειακός κλάδος επηρεάζεται έντονα από τα ηλιακά φαινόμενα.

5.5 Έμμεση επίπτωση σε διάφορους κλάδους με άμεσο τον χρηματοοικονομικό κλάδο

Ένας παράγοντας που δεν έχει διερευνηθεί, αλλά παίζει βασικό ρόλο στις δραστηριότητες του χρηματοπιστωτικού κλάδου είναι η ηλιακή δραστηριότητα. Η μελέτη της βιβλιογραφίας δείχνει ότι τα φαινόμενα ηλιακού καιρού μπορούν να επηρεάσουν: πρώτον, τον κλάδο των χρηματοπιστωτικών δραστηριοτήτων με άμεσο τρόπο και, δεύτερον, όλους τους άλλους κλάδους της αμερικανικής οικονομίας έμμεσα μέσω του αντίκτυπού τους στον κλάδο των χρηματοπιστωτικών δραστηριοτήτων. Επομένως, στη βιβλιογραφία υπάρχουν δύο κύριοι άξονες. Ο ένας αφορά στην επίδραση των ηλιακών φαινομένων στον κλάδο των χρηματοπιστωτικών δραστηριοτήτων και ο άλλος αναφέρεται στον αντίκτυπο του κλάδου των χρηματοπιστωτικών δραστηριοτήτων στους άλλους κλάδους.

Ο μηχανισμός πίσω από τη σύνδεση μεταξύ των δραστηριοτήτων στον χρηματοπιστωτικό κλάδο και τον ήλιο έχει δύο κύριους διαύλους μετάδοσης. Ο πρώτος δίαυλος μπορεί να περιγραφεί από το ακόλουθο σχήμα: τα ακραία ηλιακά συμβάντα προκαλούν δυσλειτουργίες στους δορυφόρους λόγω ιονισμού σωματιδίων. Ως αποτέλεσμα, όλες οι συναλλαγές που πραγματοποιούνται μέσω δορυφόρων, δηλαδή ασύρματων σημάτων, παρουσιάζουν διαταραχές. Επίσης, ο ιονισμός της ανώτερης ατμόσφαιρας της γης, συχνά οδηγεί σε παρεμβολή σήματος στις επικοινωνίες και οδηγεί σε καθυστερήσεις σήματος. Επομένως, και στις δύο περιπτώσεις, μπορούν να προκληθούν σοβαρές διακοπές στις επικοινωνίες (Eastwood et al., 2017). Τώρα, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι περισσότερες πωλήσεις και αγορές στις χρηματοπιστωτικές αγορές πρέπει να πραγματοποιηθούν αμέσως και σε συγκεκριμένες τιμές, οι πιθανές καθυστερήσεις στις συναλλαγές θα μπορούσαν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην οικονομική δραστηριότητα.

Ο δεύτερος δίαυλος μετάδοσης είναι ο εξής: τα ακραία ηλιακά συμβάντα προκαλούν δυσλειτουργίες στο ηλεκτροδοτικό σύστημα, στους μετασχηματιστές, στις ηλεκτρικές συσκευές και γενικότερα στην παροχή

ρεύματος, που με τη σειρά τους αυτά τα συμβάντα οδηγούν σε αστάθειες τάσης προκαλώντας μέχρι και ολική διακοπή του ηλεκτροδοτικού συστήματος, όπως προαναφέραμε με το παράδειγμα του συμβάντος στο Quebec.

Πιο αναλυτικά, αναφέρουμε ότι η χρηματοπιστωτική δραστηριότητα περιλαμβάνει ένα πολύπλοκο φάσμα διαδικασιών και τεχνολογιών για την υποστήριξη των δραστηριοτήτων τους. Οι περισσότερες από αυτές τις δραστηριότητες χρειάζονται αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και χρήσης του διαδικτύου, ενώ οι ηλιακές καιρικές συνθήκες ενδέχεται να παρεμποδίσουν τις παροχές ηλεκτρικής ενέργειας (Ahluwalia, 2015) που οδηγούν σε δυσλειτουργίες στις δραστηριότητες του χρηματοπιστωτικού κλάδου. Επίσης, η εκτέλεση και η επεξεργασία εξαιρετικά υψηλών όγκων συναλλαγών μεταξύ χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων εξαρτάται απόλυτα από τα τεχνολογικά συστήματα και τον ακριβή χρόνο. Οι όγκοι των συναλλαγών ενεργοποιούνται από γεγονότα, ορισμένα αναμένονται, ενώ άλλα οδηγούνται από εταιρικές ενέργειες ή επικοινωνίες. Οι αγορές, προκειμένου να λειτουργούν αποτελεσματικά, πρέπει να συγχρονίζουν έγκαιρα αυτές τις συναλλαγές. Η χρονική σφράγιση εξαρτάται από τις συσκευές χρονισμού και όλο και περισσότερο από το GNSS (Krausmann et al., 2014). Επιπλέον, η χρήση κινητών τηλεφώνων είναι επιτακτική (Green et al., 2016).

Ο παγκόσμιος χαρακτήρας των επιχειρηματικών ευκαιριών προϋποθέτει εκτεταμένα ταξίδια μεταξύ τοποθεσιών και άμεση επικοινωνία από πολλά άτομα που εργάζονται είτε από το σπίτι ή στο γραφείο. Σε αυτό το πλαίσιο, η απόδοση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας μπορεί να επηρεαστεί από τις ηλιακές εκπομπές ραδιοσυχνοτήτων (Eastwood et al., 2017) που οδηγούν σε δυσλειτουργία των επιχειρήσεων. Η λειτουργία των δορυφόρων ή η τροφοδοσία μπορεί να παρεμποδιστεί λόγω των επιπτώσεων των έντονων ηλιακών φαινομένων (Cannon et al., 2013), οπότε η παρεμπόδιση των υπηρεσιών των αγοραπωλησιών, μπορούν, στη χειρότερη περίπτωση, να προκαλέσουν βλάβη της φήμης σε μια επιχείρηση με καταστροφικές οικονομικές συνέπειες (Green et al., 2016).

Επομένως, σχολιάστηκε ο τρόπος που μπορεί να επιδράσει η ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα στον χρηματοοικονομικό κλάδο. Αυτή η επίδραση στον χρηματοοικονομικό κλάδο, έχει και έμμεσα αποτελέσματα σε όλους τους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας. Ο αντίκτυπος των ακραίων ηλιακών φαινομένων στον χρηματοπιστωτικό κλάδο επηρεάζει και έμμεσα τους άλλους κλάδους. Αυτό οφείλεται στην εγγενή εξάρτηση άλλων κλάδων της οικονομίας από τον χρηματοπιστωτικό κλάδο μέσω της χρηματοδότησης, της παροχής ρευστότητας, της χορήγησης δανείων, κλπ. Ως εκ τούτου, τα ηλιακά φαινόμενα παρεμπόδισης της σωστής λειτουργίας του χρηματοοικονομικού κλάδου ενδέχεται να προκαλέσουν διαταραχές και σε άλλους κλάδους. Για παράδειγμα, ο κλάδος των ακινήτων, των μισθώσεων και των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων επηρεάζεται από τον κλάδο των χρηματοπιστωτικών και ασφαλιστικών δραστηριοτήτων μέσω χορήγησης δανείων, ειδικά όταν τα δάνεια είναι υψηλότερα (Cerutti et al., 2017). Επιπλέον, οι κλάδοι που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη χρηματοδότηση, κυρίως στον κλάδο των κατασκευών, πλήττονται περισσότερο από οικονομικές δραστηριότητες (Mirzaei και Grosse, 2019).

Επιπρόσθετα, ο τραπεζικός κλάδος επηρεάζεται πράγματι από τις οικονομικές επιπτώσεις (Chen et al., 2017). Η χρηματοπιστωτική ολοκλήρωση καθεαυτή και, συνεπώς, ο χρηματοπιστωτικός κλάδος, επηρεάζουν γενικά τη συνολική παραγωγή της οικονομίας (Belke and Keil, 2016). Υπάρχουν σημαντικές αλληλεπιδράσεις στην αγορά καθώς και αλληλοσυνδέσεις με σημαντικές μεταβολές της μετάδοσης από τις τράπεζες σε άλλες αγορές (Lidiema, 2018). Τόσο τα στοιχεία της κεφαλαιαγοράς (τα ομόλογα και οι χρηματιστηριακές αγορές) όσο και η χρηματαγορά (οι πιστώσεις προς τον ιδιωτικό τομέα από τις τράπεζες) έχουν θετική σχέση με το ΑΕΠ (Khalil και Chaisrisawatsuk, 2018).

Επίσης, οι τράπεζες προωθούν την ανάπτυξη των βιομηχανικών κλάδων που χρειάζονται μεγαλύτερη εξωτερική χρηματοδότηση, διευκολύνοντας την πρόσβαση σε πιστώσεις για νεότερες επιχειρήσεις. Έντονες είναι οι επιπτώσεις των γεωργικών πιστώσεων για αγροτική

ανάπτυξη (Islam et al., 2014), με αποτέλεσμα η έγκαιρη και επαρκής διαθεσιμότητα πιστώσεων να αποτελεί επιτακτική ανάγκη για τον αγροτικό κλάδο. Τέλος, η χορήγηση πιστώσεων από τις τράπεζες στους γεωργούς ενισχύει την απόδοση της γεωργικής επιχειρηματικότητας (Money, 2014).

Συνοψίζοντας, η επιρροή του χρηματοοικονομικού κλάδου στους διάφορους τομείς μιας οικονομίας είναι τεράστια. Επομένως, η επιπτώση ενός σοκ σε αυτόν τον κεντρικό και ζωτικής σημασίας κλάδο, από κάποιον εξωγενή παράγοντα, στην περίπτωση μας την ηλιακή δραστηριότητα, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις και στους υπόλοιπους κλάδους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η ετυμολογία της λέξης «οικονομετρία» παραπέμπει στη μέτρηση στο πεδίο των οικονομικών. Τα πρώτα γράμματα της λέξης υποδηλώνουν ότι η προέλευση της οικονομετρίας έχει τις ρίζες της όντως στα οικονομικά (Brooks, 2008). Στο πρώτο τεύχος του κορυφαίου περιοδικού *Econometrica*, η Οικονομετρική Εταιρεία δήλωσε ότι ο κύριος στόχος της είναι η προώθηση μελετών που αποσκοπούν στην ενοποίηση της θεωρητικής-ποιοτικής και της εμπειρικής-ποσοτικής προσέγγισης σε οικονομικά προβλήματα, παρόμοια με αυτή που έχει κυριαρχήσει στις φυσικές επιστήμες (Greene, 2002). Στην παρούσα διατριβή, οι ποσοτικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι στατιστικές και οικονομετρικές.

Η οικονομετρία μπορεί να διακριθεί μεταξύ θεωρητικής και εφαρμοσμένης. Οι θεωρητικοί οικονομήτρες αναπτύσσουν νέες τεχνικές και αναλύουν τις συνέπειες της εφαρμογής συγκεκριμένων μεθόδων. Οι εφαρμοσμένοι, από την άλλη, είναι οι χρήστες αυτών των τεχνικών και οι αναλυτές των δεδομένων. Μια οικονομετρική μελέτη ξεκινά με μια σειρά από προτάσεις σχετικά με κάποια πτυχή της οικονομίας. Η θεωρία καθορίζει ένα σύνολο μαθηματικών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, οι οποίες και θα εξεταστούν εμπειρικά. Επομένως, μια οικονομετρική ανάλυση αρχίζει με τη διατύπωση μιας θεωρητικής πρότασης. Αυτές οι θεωρητικές προτάσεις αποτελούν τη βάση μιας οικονομετρικής μελέτης. Με τη συλλογή των κατάλληλων δεδομένων μπορούμε να διερευνήσουμε κατά πόσο η θεωρία φαίνεται να είναι συνεπής με τα παρατηρούμενα «γεγονότα» (Greene, 2002).

Έτσι, μέσα από την παρούσα διατριβή, γεφυρώνεται η θεωρητική κατασκευή με τον εμπειρικό έλεγχο της θεωρίας, αλλά και σχολιάζεται ο μηχανισμός που ενυπάρχει για ένα φαινόμενο, όπως η επίδραση των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στην οικονομία.

Ένα οποιοδήποτε μοντέλο οικονομετρίας, το οποίο περιλαμβάνει εξαρτημένες και ανεξάρτητες μεταβλητές, αποτελεί μία απλοποίηση της πραγματικότητας. Ένα τέτοιο μοντέλο θα περιλαμβάνει τα κυριότερα χαρακτηριστικά της σχέσης που μας ενδιαφέρει και εξετάζουμε, αλλά πιθανόν να μην συμπεριλάβει άγνωστες επιρροές που μπορεί να υπάρχουν

αλλά θεωρούνται ασήμαντες (Greene, 2002). Επομένως, είναι επίσης απαραίτητο να ενσωματωθούν σε αυτά τα μοντέλα στοχαστικά στοιχεία από διάφορα φαινόμενα, των οποίων η δράση αν και σημαντική, έχει ως τώρα παραβλεφθεί.

Στην παρούσα διατριβή μελετήσαμε οικονομικά δεδομένα καθώς και χρηματοοικονομικά δεδομένα, δεδομένα αγοράς πετρελαίου, και δεδομένα φυσικής διαστήματος και ηλιακής φυσικής. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στις χρηματοπιστωτικές και χρηματοοικονομικές εφαρμογές είναι θεμελιώδη, ισάξια με τα αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται στις οικονομικές εφαρμογές, παρότι η φύση των δύο προσεγγίσεων μπορεί να διαφέρει και τα δεδομένα επίσης να διαφέρουν, από άποψη συχνότητας, ακρίβειας, εποχικότητας και άλλων ιδιοτήτων (Brooks, 2014).

Στα οικονομικά, και πιο συγκεκριμένα στην ανάλυση με χρήση οικονομετρικών μεθόδων, ένα συχνό πρόβλημα είναι η έλλειψη δεδομένων που είναι διαθέσιμα για έρευνα (Brooks, 2014). Κάποιες φορές τα δεδομένα βρίσκονται σε χαμηλή συχνότητα (πχ ετήσια) ή δεν υπάρχουν καθόλου. Εμείς, στην παρούσα διατριβή, για να ξεπεράσουμε αυτό το πρόβλημα, όπου είχαμε δεδομένα χαμηλής συχνότητας, χρησιμοποιώντας μεθόδους αριθμητικής ανάλυσης από τον κλάδο των μαθηματικών, αυξήσαμε την συχνότητα των δεδομένων ώστε να μπορεί να λάβει χώρα η οικονομετρική διερεύνηση. Για το σκοπό αυτό, ακολουθήσαμε τη μεθοδολογία των Pesaran et al. (2004), χρησιμοποιώντας σε κάποιες περιπτώσεις και μια εξωγενή χρονοσειρά (Industrial Production Index - IPI), η οποία βοήθησε στην αύξηση της συχνότητας της χρονοσειράς που μας ενδιέφερε.

Στην παρούσα διατριβή, τα δεδομένα για τα φυσικά φαινόμενα αντλήθηκαν από ιστοχώρους όπως ο noaa.gov και, αντίστοιχα, τα οικονομικά και χρηματοοικονομικά από ιστοχώρους όπως ο bea.gov, fred.stlouisfed.org, finance.yahoo.com.

Η ανάλυση των οικονομικών δεδομένων ενέχει αρκετές δυσκολίες (Brooks, 2014). Αυτές συνήθως συνδέονται με τον χειρισμό και την

επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων, τα οποία όμως με την πρόοδο της τεχνολογίας και την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος βελτιώνεται.

Μια χρονοσειρά είναι μια σειρά σημείων - δεδομένων με «σήμανση» (σε λίστα ή σε γράφημα) με χρονολογική σειρά. Εναλλακτικά, μια χρονολογική σειρά είναι μια ακολουθία που λαμβάνεται σε διαδοχικά ισαπέχουσες χρονικές στιγμές, ή αλλιώς μια ακολουθία δεδομένων διακριτού χρόνου. Τα δεδομένα χρονοσειρών, επομένως, όπως υποδηλώνει και το όνομά τους, είναι δεδομένα που έχουν συλλεχθεί για μία χρονική περίοδο για μία ή περισσότερες μεταβλητές. Τα δεδομένα χρονολογικών σειρών έχουν συσχετιστεί με τη συχνότητα της παρατήρησης ή τη συχνότητα συλλογής των δεδομένων, με τη συχνότητά τους να αποτελεί ένα μέτρο του διαστήματος, ή της κανονικότητας με τα οποία συλλέγονται ή καταγράφονται τα δεδομένα (Brooks, 2014).

Η ανάλυση οικονομικών χρονοσειρών απαιτεί εμπειρική ανάλυση και όπως και άλλα επιστημονικά πεδία, θέτει το θεμέλιο για παρόμοια ανάλυση και σε άλλους τομείς. Υπάρχει, ωστόσο, ένα βασικό χαρακτηριστικό που διακρίνει την ανάλυση των οικονομικών χρονοσειρών από άλλες αναλύσεις χρονοσειρών. Τόσο η οικονομική θεωρία όσο και οι εμπειρικές χρονικές σειρές περιέχουν ένα στοιχείο αβεβαιότητας. Ως αποτέλεσμα της προστιθέμενης αβεβαιότητας, η στατιστική θεωρία και οι μέθοδοι αυτές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση των οικονομικών χρονοσειρών (Tsay, 2002). Στην παρούσα διατριβή, τόσο οι οικονομικές χρονοσειρές που χρησιμοποιήθηκαν, όσο και οι χρονοσειρές των στοχαστικών φυσικών φαινομένων, περιέχουν αβεβαιότητα (στοχαστικός χαρακτήρας) και για αυτό η ανάλυση απαιτεί εξειδικευμένες οικονομετρικές μεθόδους και προσεκτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Στα πλαίσια μιας οικονομετρικής ανάλυσης χρονοσειρών, ένα από τα αρχικά βήματα αποτελεί ο έλεγχος μοναδιαίας ρίζας και ο έλεγχος στασιμότητας των χρονοσειρών που εξετάζονται. Εμείς, στην παρούσα διατριβή, για τον έλεγχο μοναδιαίας ρίζας χρησιμοποιήσαμε το κριτήριο Phillips - Perron (PP test), ενώ για τον έλεγχο στασιμότητας της χρονοσειράς,

χρησιμοποιήσαμε, αντίστοιχα, τον έλεγχο Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS test).

4.1 Phillips και Perron (PP) test (1988)

Η μέθοδος των Phillips-Perron χρησιμοποιεί τη μηδενική υπόθεση ότι η χρονοσειρά περιέχει μοναδιαία ρίζα. Οι Phillips-Perron ανέπτυξαν μια γενικευμένη μορφή της διαδικασίας των Dickey-Fuller κατά την οποία οι υστερήσεις βασίζονται στη διόρθωση των Newey-West (1994). Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη της τόσο την αυτοσυσχέτιση στα κατάλοιπα, όσο και την ετεροσκεδαστικότητα.

Η μέθοδος των Phillips-Perron περιλαμβάνει την προσαρμογή του παρακάτω μοντέλου:

$$Y_t = a + pY_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

όπου μπορούμε να αποκλείσουμε τον σταθερό όρο ή να συμπεριλάβουμε έναν όρο μακροπρόθεσμης τάσης. Όπου, Y_t η χρονοσειρά που μελετάμε. Χρησιμοποιούμε δύο στατιστικές συναρτήσεις, τη Z_p και τη Z_τ , οι οποίες υπολογίζονται ως εξής:

$$Z_p = T(\hat{\rho}_T - 1) - \frac{1}{2} \frac{n^2 \hat{\sigma}^2}{S^2_T} (\hat{\lambda}^2_T - \hat{\gamma}_{0,T}) \quad (4.2)$$

$$Z_\tau = \sqrt{\frac{\hat{\gamma}_{0,T}}{\hat{\lambda}^2_T}} \frac{\hat{\rho}_T - 1}{\hat{\sigma}} - \frac{1}{2} (\hat{\lambda}^2_T - \hat{\gamma}_{0,T}) \frac{1}{\hat{\lambda}^2_T} \frac{T\hat{\sigma}}{S_T} \quad (4.3)$$

όπου $\gamma_{j,T} = \frac{1}{T} \sum_{t=j+1}^T \hat{u}_t \hat{u}_{t-j}$, $\hat{\lambda}^2_T = \hat{\gamma}_{0,T} + 2 \sum_{j=1}^q (1 - \frac{j}{q+1}) \gamma_{j,T}$ και $S^2_T = \frac{1}{T-k} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t^2$, όπου u_t είναι τα κατάλοιπα OLS, k είναι ο αριθμός των παλινδρομητών στην παλινδρόμηση, q είναι ο αριθμός των Newey-West υστερήσεων που χρησιμοποιούμε για να υπολογίσουμε το $\hat{\lambda}^2_T$, και $\hat{\sigma}$ είναι η εκτίμηση OLS τυπικής απόκλισης του συντελεστή p στην (4.1).

Υπό τη μηδενική υπόθεση ότι $\rho = 0$, οι PP στατιστικές συναρτήσεις, Z_p και Z_τ , έχουν τις ίδιες ασυμπτωτικές κατανομές με την Augmented Dickey-

Fuller (ADF) t-στατιστική συνάρτηση και ομαλοποιημένα στατιστικά. Εάν η μηδενική υπόθεση απορριφθεί, τότε η χρονοσειρά είναι I(1).

4.2 KPSS test

Προκειμένου να εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά στασιμότητας της χρονοσειράς χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο στασιμότητας Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS test) (Kwiatkowski et al., 1992) με μηδενική υπόθεση τη στασιμότητα της χρονοσειράς. Και στις δύο περιπτώσεις, με την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας ή/και με την παρουσία μη-στασιμότητας, χρησιμοποιούμε διαφορές πρώτης τάξης, και έπειτα εφαρμόζουμε ξανά τα τεστ.

Το τεστ βασίζεται στο παρακάτω μοντέλο:

$$y_t = c_t + \delta_t + u_{1t} \quad (4.4)$$

$$c_t = c_{t-1} + u_{2t} \quad (4.5)$$

όπου δ είναι ο συντελεστής τάσης, u_{1t} είναι όρος στασιμότητας, u_{2t} είναι ανεξάρτητος όρος που ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και διασπορά σ^2 . Η μηδενική υπόθεση ορίζει $\sigma^2 = 0$, το οποίο δηλώνει ότι ο όρος του τυχαίου περιπάτου (c_t) είναι σταθερός και συμπεριφέρεται όπως η σταθερά του μοντέλου. Η μηδενική υπόθεση ότι $\sigma^2 > 0$, υποδεικνύει την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας στον τυχαίο περίπατο.

Η στατιστική συνάρτηση είναι η εξής:

$$\frac{\sum_{t=1}^T S_t^2}{s^2 T^2} \quad (4.6)$$

Όπου T είναι το μέγεθος του δείγματος, s^2 είναι η εκτιμώμενη μακροχρόνια διασπορά, και $S_t = e_1 + e_2 + \dots + e_t$, όπου τα e_i , $i = 1, 2, \dots, t$ είναι τα υπόλοιπα της παλινδρόμησης της χρονοσειράς Y_t σε έναν σταθερό όρο και στη χρονική τάση.

Αν δύο ή περισσότερες χρονοσειρές είναι $I(1)$, τότε οφείλουμε να ελέγξουμε για την πιθανή ύπαρξη μακροχρόνιας σχέσης ισορροπίας μεταξύ των χρονοσειρών. Για τον λόγο αυτό, κάνουμε χρήση του ελέγχου συνολοκλήρωσης.

4.3 Μεθοδολογία συνολοκλήρωσης Johansen

Στην περίπτωση που έχουμε μεταβλητές $I(1)$ μορφής, ελέγχουμε για συνολοκλήρωση ανάμεσα στις χρονοσειρές μας, και αν παρατηρηθεί ότι υπάρχει, τότε οι όροι διόρθωσης (error correction term), πρέπει να συμπεριληφθούν στο μοντέλο, λόγω της μακροχρόνιας σχέσης ανάμεσα στις μεταβλητές. Εφαρμόζουμε τη μέθοδο του Johansen (1988) που επιτρέπει να συμπεριλάβουμε περισσότερες από μία σχέσεις συνολοκλήρωσης, σε αντίθεση με άλλα παρόμοια τεστ. Η μεθοδολογία στηρίζεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta y_t = m + \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} [\Gamma_i \Delta y_{t-i}] + e_p \quad (4.7)$$

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

Η ύπαρξη συνολοκλήρωσης εξαρτάται από τον βαθμό του πίνακα των συντελεστών, πράγμα που ελέγχεται με τους δύο δείκτες πιθανοφάνειας, τον δείκτη που υπολογίζει το ίχνος του πίνακα και τον δείκτη που υπολογίζει τη μέγιστη ιδιοτιμή, και δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{trace} = -T \sum_{i=r+1}^k \log(1 - \lambda_i) \\ J_{max} = -T \log(1 - \lambda_i) \end{array} \right\} \quad (4.8)$$

Όπου T είναι το μέγεθος του δείγματος και λ_i είναι η μεγαλύτερη κανονική ιδιοτιμή. Το τεστ ίχνους έχει μηδενική υπόθεση ότι $r < n$ συνολοκληρωμένα διανύσματα, ενώ το τεστ μέγιστης ιδιοτιμής, έχει τη μηδενική υπόθεση ότι $r < r+1$ συνολοκληρωμένα διανύσματα και οι κρίσιμες τιμές προέρχονται από το Johansen και Juselius (1990).

4.4 Αιτιότητα κατά Granger

Αφού εξετάσουμε τη στασιμότητα και τη συνολοκλήρωση των δεδομένων μας, χρησιμοποιούμε την αιτιότητα κατά Granger. Οι Engle και Granger, το 1987 έδειξαν, ότι έχοντας εξετάσει την έννοια της συνολοκλήρωσης μεταξύ δύο μη-στάσιμων μεταβλητών, υπολογίζεται το υπόδειγμα διόρθωσης σφαλμάτων (Error Correction Model), στο οποίο ρυθμίζεται η βραχυχρόνια συμπεριφορά των μεταβλητών, προσαρμοσμένη από τη μακροχρόνια μεταβολή τους.

Για να ελέγξουμε τη μηδενική υπόθεση, ότι η μεταβλητή X δεν προκαλεί κατά Granger, δηλαδή δεν αιτιάζεται την Y , υπολογίζουμε τις κατάλληλες χρονικές υστερήσεις της Y , με στόχο να τις συμπεριλάβουμε στο μονοπαριαγωγικό αυτοπαλίδρομο μοντέλο της Y . Όπως αναφέρεται παρακάτω, για αυτόν τον σκοπό, χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο SBIC.

Στην περίπτωση που οι χρονοσειρές είναι στάσιμες, έχουμε το εξής:

$$y_t = a_0 + \sum_{i=1}^m a_{1i} y_{t-i} + \sum_{i=1}^m a_{2i} x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4.9)$$

Ενώ, για την περίπτωση που οι χρονοσειρές μας δεν είναι στάσιμες, εφαρμόζουμε τη μέθοδο πρώτων διαφορών και έχουμε το εξής:

$$\Delta y_t = a_0 + \sum_{i=1}^m a_{1i} \Delta y_{t-i} + \sum_{i=0}^m a_{2i} \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4.10)$$

όπου Δ είναι ο τελεστής των πρώτων διαφορών, ΔY και ΔX είναι στάσιμες χρονοσειρές και ο λευκός θόρυβος ε_t είναι μια ακολουθία τυχαίων σφαλμάτων με μέση τιμή μηδέν και σταθερή διασπορά. Επίσης, ο όρος μ_{t-1} είναι η χρονική υστέρηση του σφάλματος του παρακάτω μοντέλου:

$$Y_t = c_1 + c_2 X_t + \mu_t \quad (4.11)$$

4.5 Αιτιότητα κατά βήματα (Step by step causality)

Τα τεστ αιτιότητας κατά Granger αποτυγχάνουν να αποκαλύψουν ένα πιθανό χρονικό πρότυπο μιας αιτιώδους σχέσης. Σε ένα άρθρο που παρουσιάστηκε στο *Econometrica*, οι Dufour και Renault (1998) παρουσίασαν τη μέθοδο αιτιότητας κατά βήματα (Step by step causality), ή βραχυχρόνιας αιτιότητας (*short-run causality*) βασισμένοι στην ιδέα ότι δύο χρονοσειρές X_t και Y_t θα μπορούσαν να αλληλεπιδρούν με μια αιτιώδη σχέση μέσω μίας τρίτης μεταβλητής, πχ τη Z_t . Πιο συγκεκριμένα, παρά το γεγονός ότι η X_t δε θα μπορούσε να αιτιάται την Y_t μία περίοδο μπροστά, θα μπορούσε όμως να αιτιάται την Z_t μια περίοδο μπροστά για παράδειγμα Z_{t+1} , και η Z_t θα μπορούσε να αιτιάται την Y_t δύο περιόδους μπροστά για παράδειγμα Y_{t+2} . Επομένως, $X_t \rightarrow Y_{t+2}$, όμως $X_t \nrightarrow Y_{t+1}$.

Για να εφαρμόσουμε τη μέθοδο κατά βήματα αιτιότητα, χρησιμοποιούμε το διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο VAR (p):

$$Y_t = a + \sum_{k=1}^p \pi_k Y_{t-k} + \sum_{q=0}^Q \beta_q X_{t-q} + u_t \quad (4.12)$$

Όπου: Y_t είναι ένα $(1 \times m)$ διάνυσμα μεταβλητών, a είναι ένα $(1 \times m)$ διάνυσμα σταθερών όρων; X_t είναι ένα διάνυσμα μεταβλητών και u_t είναι ένα $(1 \times m)$ διάνυσμα όρων σφάλματος, όπως $E(u_t u_s) = \sigma_{ii} I$ if $t = s$ and $E(u_t u_s) = \sigma_{ij} I$ if $t \neq s$, όπου I είναι ο ταυτοτικός πίνακας. Οι υστερήσεις στο μοντέλο αναφοράς είναι υπολογισμένες με βάση το κριτήριο πληροφορίας Schwartz-Bayes (SBIC).

Σύμφωνα με τους Dufour et al. (2006), το μοντέλο στη σχέση (4.12) αναφέρεται σε χρονικό ορίζοντα $h=1$. Προκειμένου να εξετάσουμε την ύπαρξη μη αιτιότητας σε ορίζοντα h , μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το ακόλουθο μοντέλο:

$$Y_{t+h} = a^{(h)} + \pi^{(h)}Y_{t,p} + \beta^{(h)}D_{t,q} + u_{t+h}^{(h)} \quad (4.13)$$

όπου: $Y_{t,p} = (Y_t, Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p+1})$, $\pi^{(h)} = (\pi_1^{(h)}, \dots, \pi_p^{(h)})$, $\beta^{(h)} = (\beta_1^{(h)}, \dots, \beta_q^{(h)})$,
 $u_{t+h}^{(h)} = (u_{1,t+h}^{(h)}, \dots, u_{m,t+h}^{(h)})$ για $t=1, \dots, T-h$ και $h < T$.

Η σχέση (4.13) μπορεί να γραφεί σε μορφή πίνακα ως εξής:

$$Y_{t+h} = \Gamma Z + u \quad (4.14)$$

όπου $Y_{t+h} = [Y_{1,t+h}, \dots, Y_{m,t+h}]$ είναι ένα $(1 \times m)$ διάνυσμα το οποίο ορίζει τις m - ποσοτικές μεταβλητές που εισέρχονται στο μοντέλο

$$Z = [I_T; Y_{1,t-1}, \dots, Y_{m,t-1}, \dots, Y_{m,t-p}; X_{1,t-1}, \dots, X_{1,t-q}; \dots; X_{l,t-1}, \dots, X_{l,t-q}]$$

είναι ένας $(2m+1) \times \max\{p, q+1\}$ πίνακας που περιλαμβάνει όλες τις μεταβλητές,

$\Gamma = [a_1, \dots, a_m; \pi_{1,1}, \dots, \pi_{1,p}; \dots; \pi_{m,1}, \dots, \pi_{m,p}; b_0, \dots, b_{0,q}; \dots; b_1, \dots, b_{1,q}]$ είναι ο αντίστροφος ενός $(2m+1) \times \max\{p, q+1\}$ πίνακα των συντελεστών και $u = [u_{1,t+h}, \dots, u_{m,t+h}]$ είναι ένα $(1 \times m)$ διάνυσμα ιδιοσυγκρατικών διαταραχών (idiosyncratic shocks) όπου $u \sim N(0, \Sigma)$ και έτσι ο πίνακας διακύμανσης έχει τη μορφή: $\Omega = \Sigma \otimes I$ όπου $\Sigma = (\sigma_{ij})$ και I είναι ο ταυτοτικός πίνακας, με διακρίνουσα $\det(\Omega) \neq 0$.

Για έναν δεδομένο χρονικό ορίζοντα \bar{h} , χρειάζεται να ελεγχουμε τη μηδενική υπόθεση: $H_0^{(\bar{h})}: X_{it} \rightarrow Y_{jt}/I(X_{it})$ ότι η i - μεταβλητή δεν προκαλεί σε χρονικό ορίζοντα h την j - μεταβλητή.

Στην εξίσωση (4.12) πρέπει να ελέγξουμε την υπόθεση:

$$H_{0_{D_i \rightarrow Y_{jt}/I(X_{it})}}^{(\bar{h})} : R\Gamma = r \quad (4.15)$$

όπου

$$R = [0, \dots, 0_m; 0, \dots, 0_{2m \times p}; 0, \dots, 1_i, \dots, 0_{1 \times (q+1)}]$$

Για να ελέγξουμε το χρονικό μοτίβο της αιτιότητας, εφαρμόζουμε τον ακόλουθο αλγόριθμο (Konstantakis και Michaelides, 2015).

Βήμα 1: Το επαυξημένο VAR μοντέλο όπως περιγράφεται στην εξίσωση (4.12) προσαρμόζεται ώστε να χρησιμοποιήσουμε τη GLS εκτίμηση και των Newey-West ετεροσκεδαστικότητα και αυτοσυσχέτιση σταθερή συνδιακόμανση (HAC) για χρονικό ορίζοντα $h=1$, οπότε προκύπτουν οι εκτιμήσεις $\widehat{\pi}_k, \widehat{\beta}_m$ and $\widehat{\Omega}$.

Βήμα 2: Το υπό περιορισμούς επαυξημένο μοντέλο VAR, χρησιμοποιώντας τη GLS εκτίμηση όπως περιγράφεται στην εξίσωση (4.14), προσαρμόζεται και έτσι προκύπτουν οι εκτιμήσεις $\widehat{\pi}^{(h)}$ and $\widehat{\beta}^{(h)}$.

Βήμα 3: Υπολογίζουμε τη στατιστική συνάρτηση D για να ελέγξουμε τη μη αιτιότητα στο χρονικό ορίζοντα h , εφαρμόζουμε τη μηδενική υπόθεση:

$$H_{0_{D_i \rightarrow Y_{jt}/I(X_i)}}^{(h)} : \beta_{im} = 0, m = 0, 1, \dots, M, i \in \{1, \dots, m\}$$

Θέτουμε $D_0^{(h)}$ το στατιστικό τεστ βασισμένο στα πραγματικά δεδομένα.

Βήμα 4: Υπολογίζουμε τα προσομοιημένα p-values βασισμένοι στον παρακάτω τύπο:

$$\widehat{p}_n[x] = \frac{\{1 + \sum_{n=1}^N I[D_n^{(h)} - x]\}}{(N+1)} \quad (4.16)$$

Βήμα 5: Απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση της μη αιτιότητας σε χρονικό ορίζοντα h δηλαδή $H_{0_{D_i \rightarrow Y_{jt}/I(X_i)}}^{(h)}$ σε επίπεδο α , εάν $\widehat{p}_n[D_0^{(h)}] \leq \alpha$.

4.6 Επιλογή τάξης και βαθμού υστέρησης:

Στην παρούσα διατριβή, για την επιλογή της τάξης υστέρησης, χρησιμοποιούμε το κριτήριο πληροφορίας Schwartz-Bayes (SBIC) το οποίο προτάθηκε από τον Schwarz (1978), επειδή αποτελεί βέλτιστης επιλογής κριτήριο όταν χρησιμοποιείται σε πεπερασμένα δείγματα (Breiman and

Freedman, 1983; Speed and Yu, 1992). Το κριτήριο SBIC προήλθε υπό τις υποθέσεις ότι τα δεδομένα ανήκουν στην εκθετική οικογένεια κατανομών: Για την περίπτωση μίας μεταβλητής, $N=1$:

$$\hat{k} = \ln|\sigma_\varepsilon^2| + k \ln(T) \quad (4.17)$$

όπου $k = N \times p$ ο αριθμός των παραμέτρων που υπολογίζονται για το μοντέλο, τάξης p και αριθμού διάστασης N , σ_ε^2 είναι η διακύμανση των υπολοίπων του μοντέλο και T είναι το πλήθος των παρατηρήσεων.

Για την περίπτωση πολλών μεταβλητών, $N > 1$:

$$\hat{k} = \underset{k \leq T}{\operatorname{argmin}} \left\{ -2 \frac{\ln(LL(k))}{T} + k \frac{\ln(T)}{T} \right\} \quad (4.18)$$

όπου $LL(k)$ είναι η λογαριθμική συνάρτηση πιθανοφάνειας ενός $VAR(k)$ μοντέλου, T είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων και k είναι ο αριθμός των υστερήσεων και \hat{k} είναι το επιλεγμένο βέλτιστο μήκος υστέρησης. Οι έρευνες των Breiman και Freedman (1983), Speed και Yu (1992) έχουν δείξει ότι το SBIC είναι η βέλτιστη επιλογή κριτηρίου για πεπερασμένα δείγματα.

4.7 Αυτοπαλίνδρομο μοντέλο $AR(p)$

Από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα και πιο απλά μοντέλα στην οικονομετρία είναι τα αυτοπαλίνδρομα. Μια χρονοσειρά μοντελοποιείται ως χρονικές υστερήσεις του εαυτού της.

Στην περίπτωση στάσιμης χρονοσειράς, το μοντέλο $AR(p)$ δίνεται από τον τύπο:

$$y_t = k_0 + \sum_{i=1}^p k_i y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4.19)$$

Αντίστοιχα, στην περίπτωση μη στάσιμης χρονοσειράς, έχουμε:

$$\Delta y_t = k_0 + \sum_{i=1}^p k_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4.20)$$

όπου Δ είναι ο συντελεστής πρώτων διαφορών που χρησιμοποιείται στην περίπτωση μη-στάσιμων μεταβλητών, $y_t, y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$ είναι οι παρατηρήσεις σε περιόδους $t, t-1, \dots, t-p$, p είναι ο αριθμός των υστερήσεων του AR όρου, k_i είναι οι AR παράμετροι, ε_t είναι ο διαταρακτικός όρος για την περίοδο t .

4.8 Αυτοπαλίνδρομο μοντέλο κατανεμημένων υστερήσεων ARDL(p,q)

Μια επέκταση του αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος AR(p), είναι το αυτοπαλίνδρομο κατανεμημένων υστερήσεων μοντέλο ARDL(p,q), το οποίο περιλαμβάνει τόσο υστερήσεις της εξαρτημένης μεταβλητής, όσο και χρονικές υστερήσεις της ανεξάρτητης.

Στην περίπτωση που η χρονοσειρά είναι στάσιμη, έχει την ακόλουθη γενική μορφή:

$$y_t = b_0 + \sum_{i=1}^p b_i y_{t-i} + \sum_{i=0}^q a_i x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4.21)$$

Ενώ, αντίστοιχα, στην περίπτωση μη στάσιμης χρονοσειράς:

$$\Delta y_t = b_0 + \sum_{i=1}^p b_i \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^q a_i \Delta x_{t-i} + \lambda \mu_{t-1} + v_t \quad (4.22)$$

Επιτρέποντας $p > 1$ υστερήσεις της εξαρτημένης μεταβλητής y και $q > 0$ υστερήσεις της εξηγηματικής μεταβλητής x .

4.9 Κριτήρια προβλεπτικής ικανότητας

MAE:

Το κριτήριο MAE ενός μοντέλου για κάθε χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης (h) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$MAE = \frac{1}{h} \sum_{t=0}^h |F_t - A_t| \quad (4.23)$$

Όπου: h είναι ο προβλεπτικός ορίζοντας του μοντέλου, F_t οι προβλεπόμενες τιμές του μοντέλου, και A_t είναι οι πραγματικές τιμές. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές του κριτηρίου MAE ενός μοντέλου, τόσο καλύτερη είναι η προβλεπτική του ικανότητα. Ωστόσο, ένα από τα κύρια μειονεκτήματα του MAE είναι ότι δεν είναι συγκρίσιμο σε μορφή ποσοστού.

MAPE:

Για να ξεπεράσουμε το πρόβλημα του προηγούμενου κριτηρίου (MAE), χρησιμοποιούμε το κριτήριο MAPE. Το κριτήριο MAPE ενός μοντέλου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$MAPE = \frac{100}{h} \sum_{t=0}^h \frac{|F_t - A_t|}{|A_t|} \quad (4.24)$$

Επίσης, όσο μικρότερο είναι το MAPE ενός μοντέλου, τόσο καλύτερο για την προβλεπτική του ικανότητα.

RMFSE:

Τέλος, για να εκτιμήσουμε την προβλεπτική ικανότητα των υποδειγμάτων μας θα χρησιμοποιήσουμε και το κριτήριο RMSFE. Το RMSFE είναι ένα κριτήριο προβλεπτικών σφαλμάτων και δίνεται από τον τύπο:

$$RMSFE = \sqrt{E[(Y_{T+1} - \hat{Y}_{T+1|T})^2]} \quad (4.25)$$

Επίσης, όσο μικρότερο είναι το RMSFE ενός μοντέλου, τόσο καλύτερο για την προβλεπτική του ικανότητα.

Theil's U:

Ο Theil, το 1958, πρότεινε ένα μέτρο προβλεπτικής ικανότητας, το ονομαζόμενο Theil's U. Ο τύπος, ο οποίος αντλείται από το έργο του Theil είναι ο ακόλουθος:

$$U = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2]^{\frac{1}{2}}}{[\sum_{i=1}^n A_i^2]^2} \quad (4.26)$$

όπου A_i είναι οι πραγματικές παρατηρήσεις και P_i οι προβλεπόμενες αντίστοιχα. Και πάλι, όσο μικρότερη είναι η τιμή U του μοντέλου του Theil, τόσο καλύτερη είναι η μέτρηση της ικανότητας πρόβλεψης.

4.10 Diebold Mariano τεστ

Το τεστ Diebold - Mariano προτάθηκε από τους Diebold και Mariano (1991), για την σύγκριση δύο αποτελεσμάτων πρόβλεψης.

Αρχικά, ορίζουμε τις πραγματικές τιμές ως: $\{y_t, t = 1, \dots, T\}$ και δύο τιμές πρόβλεψης: $\{\hat{y}_{1t}, t = 1, \dots, T\}$ και $\{\hat{y}_{2t}, t = 1, \dots, T\}$.

Στη συνέχεια, ορίζουμε τα σφάλματα πρόβλεψης ως:

$$e_{it} = \hat{y}_{it} - y_t, i = 1, 2 \quad (4.27)$$

Και

$$g(e_{it}) = \exp\{le_{it}\} - 1 - le_{it} \quad (4.28)$$

Η συνάρτηση g είναι μια συνάρτηση απώλειας (loss function) και 1 είναι ένας θετικός σταθερός όρος.

Η διαφορά απώλειας μεταξύ των δύο προβλεπτικών τιμών είναι:

$$d_t = g(e_{1t}) - g(e_{2t}) \quad (4.29)$$

Η μηδενική υπόθεση του τεστ Diebold - Mariano είναι η ακόλουθη:

$$H_0: E(d_t) = 0 \quad (4.30)$$

Και η αντίστοιχη εναλλακτική υπόθεση:

$$H_a: E(d_t) \neq 0 \quad (4.31)$$

Ερμηνεύοντας τις (4.30) και (4.31), συμπεραίνουμε ότι η μηδενική υπόθεση είναι ότι οι δύο προβλέψεις έχουν την ίδια ακρίβεια, ενώ η εναλλακτική υπόθεση είναι ότι οι δύο προβλέψεις έχουν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας.

Για $h > 1$ βήμα μπροστά, ο έλεγχος Diebold - Mariano χρησιμοποιεί τον ακόλουθο στατιστικό τύπο:

$$DM = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{2\pi\hat{f}_d(0)}{T}}} \quad (4.32)$$

Όπου $\hat{f}_d(0)$ είναι μια σταθερά εκτίμηση του $f_d(0)$ ορισμένη ως:

$$\hat{f}_d(0) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-(T-1)}^{T-1} I\left(\frac{k}{h-1}\right) \hat{\gamma}_d(k) \quad (4.33)$$

Και

$$\hat{\gamma}_d(k) = \frac{1}{T} \sum_{t=|k|+1}^T (d_t - \bar{d})(d_{t-|k|} - \bar{d}) \quad (4.34)$$

Και επίσης,

$$I\left(\frac{k}{h}\right) = \begin{cases} 1 & \text{for } \left|\frac{k}{h-1}\right| \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.35)$$

Για $h \geq 1$,

$$DM = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{\hat{\gamma}_d(0) + 2 \sum_{k=1}^{h-1} \hat{\gamma}_d(k)}{T}}} \quad (4.36)$$

4.11 Φαινομενικά ασυσχέτιστες παλινδρομήσεις

Το μοντέλο των φαινομενικά μη σχετιζόμενων παλινδρομήσεων (SURE) χρησιμοποιείται όταν δύο ή περισσότερες εξισώσεις παλινδρόμησης μοιράζονται τουλάχιστον μία ανεξάρτητη μεταβλητή και η συσχέτιση των καταλοίπων των δύο εξισώσεων παλινδρόμησης δεν είναι μηδενική.

$$y_i = x_i \beta_i + \varepsilon_i, i = 1, \dots, M \quad (4.37)$$

$$\varepsilon = [\varepsilon'_1, \varepsilon'_2, \dots, \varepsilon'_M]$$

$$E[\varepsilon | X_1, X_2, \dots, X_M] = 0$$

$$E[\varepsilon \varepsilon' | X_1, X_2, \dots, X_M] = \Omega$$

Υποθέτουμε ότι χρησιμοποιούνται συνολικά T παρατηρήσεις, για την εκτίμηση των παραμέτρων των M εξισώσεων. Κάθε εξίσωση περιλαμβάνει K_m παλινδρομητές (regressors), για ένα σύνολο από $K = \sum_{i=1}^M K_i$ (Greene, 2002).

Απαιτούμε $T > K_i$. Τα δεδομένα υποθέτουμε ότι συμπεριφέρονται καλά σε μεγάλα δείγματα, το οποίο σημαίνει ότι $\text{plim}_{x \rightarrow \infty} \frac{X'X}{n} = \mathbf{Q}$, ένας θετικός ορισμένος πίνακας.

Οι διαταραχές συσχετίζονται μεταξύ των παρατηρήσεων:

$$E[\varepsilon \varepsilon' | X_1, X_2, \dots, X_M] = \Omega = \begin{bmatrix} \sigma_{11} \mathbf{I} & \cdots & \sigma_{1M} \mathbf{I} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{M1} \mathbf{I} & \cdots & \sigma_{MM} \mathbf{I} \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

Σύμφωνα με τα γενικευμένα ελάχιστα τετράγωνα (GLS), κάθε εξίσωση είναι από μόνη της μια κλασική παλινδρόμηση. Το μοντέλο γενικευμένης παλινδρόμησης είναι δομημένο ως:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1 & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{X}_2 & \cdots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{X}_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_M \end{bmatrix} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (4.39)$$

Ο $M \times M$ πίνακας συνδιακύμανσης των διαταραχών είναι:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \cdots & \sigma_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{M1} & \cdots & \sigma_{MM} \end{bmatrix} \quad (4.40)$$

Οπότε, $\Omega = \Sigma \otimes \mathbf{I}$ και $\Omega^{-1} = \Sigma^{-1} \otimes \mathbf{I}$.

Δηλώνοντας τα i και j στοιχεία του Σ^{-1} ως σ^{ij} , βρίσκουμε ότι οι GLS εκτιμητές είναι:

$$\hat{\beta} = [\mathbf{X}\Omega^{-1}\mathbf{X}]^{-1}\mathbf{X}'\Omega^{-1}\mathbf{y} = [\mathbf{X}'(\Sigma^{-1} \otimes \mathbf{I})\mathbf{X}]^{-1}\mathbf{X}'(\Sigma^{-1} \otimes \mathbf{I})\mathbf{y}.$$

Επίσης,

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \sigma^{11}(\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_1) & \sigma^{12}(\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_2) & \cdots & \sigma^{1M}(\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_M) \\ \sigma^{21}(\mathbf{X}_2'\mathbf{X}_1) & \sigma^{22}(\mathbf{X}_2'\mathbf{X}_2) & \cdots & \sigma^{2M}(\mathbf{X}_2'\mathbf{X}_M) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma^{M1}(\mathbf{X}_M'\mathbf{X}_1) & \sigma^{M2}(\mathbf{X}_M'\mathbf{X}_2) & \cdots & \sigma^{MM}(\mathbf{X}_M'\mathbf{X}_M) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^M \sigma^{1j} \mathbf{X}_1' \mathbf{y}_j \\ \sum_{j=1}^M \sigma^{2j} \mathbf{X}_2' \mathbf{y}_j \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^M \sigma^{Mj} \mathbf{X}_M' \mathbf{y}_j \end{bmatrix} \quad (4.41)$$

Στην περίπτωση του μοντέλου SURE, κάθε εξίσωση είναι από μόνη της μια κλασική παλινδρόμηση. Επομένως, οι συντελεστές θα μπορούσαν να εκτιμηθούν με συνέπεια, αν όχι αποτελεσματικά, από μία εξίσωση κάθε φορά με τα συνήθη ελάχιστα τετράγωνα (Greene, 2002).

Υποθέτουμε ότι $\mathbf{X}_i = \mathbf{X}_j = \mathbf{X}$, ώστε $\mathbf{X}_i'\mathbf{X}_j = \mathbf{X}'\mathbf{X}$ για όλα τα i και j στην (5). Η αντίστροφη μήτρα στη δεξιά πλευρά γίνεται $[\Sigma^{-1} \otimes \mathbf{X}'\mathbf{X}]^{-1}$, η οποία, αντιστοίχα γίνεται $[\Sigma \otimes (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}]$. Επίσης, στη δεξιά πλευρά, ο κάθε όρος $\mathbf{X}_i'\mathbf{y}_j$ ισούται με $\mathbf{X}'\mathbf{y}_j$, το οποίο, είναι ίσο με $\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{b}_j$. Με αυτά τα αποτελέσματα, αφού μεταφέρουμε το κοινό $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ εκτός των αθροίσεων στη δεξιά πλευρά, λαμβάνουμε:

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \sigma_{11}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} & \cdots & \sigma_{1M}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{M1}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} & \cdots & \sigma_{MM}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (\mathbf{X}'\mathbf{X}) \sum_{t=1}^M \sigma^{1t} \mathbf{b}_t \\ (\mathbf{X}'\mathbf{X}) \sum_{t=1}^M \sigma^{2t} \mathbf{b}_t \\ \vdots \\ (\mathbf{X}'\mathbf{X}) \sum_{t=1}^M \sigma^{Mt} \mathbf{b}_t \end{bmatrix} \quad (4.42)$$

Τώρα, απομονώνουμε ένα από τα υποδιανύσματα, έστω το πρώτο, από το $\hat{\beta}$. Μετά τον πολλαπλασιασμό, μας μένει:

$$\hat{\beta} = \sum_{j=1}^M \sigma_{1j} \sum_{t=1}^M \sigma^{j1} \mathbf{b}_t = \mathbf{b}_1 (\sum_{j=1}^M \sigma_{1j} \sigma^{j1}) + \mathbf{b}_2 (\sum_{j=1}^M \sigma_{1j} \sigma^{j2}) + \dots + \mathbf{b}_M (\sum_{j=1}^M \sigma_{1j} \sigma^{jM}) \quad (4.43)$$

Οι όροι στις παρενθέσεις είναι τα στοιχεία της πρώτης σειράς $\Sigma\Sigma^{-1} = \mathbf{I}$, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι $\hat{\beta}_1 = \mathbf{b}_1$. Για τα υπόλοιπα υποδιανύσματα, που λαμβάνονται με τον ίδιο τρόπο, $\hat{\beta}_i = \mathbf{b}_i$, το οποίο είναι το αποτέλεσμα που θέλαμε. Επίσης, η ασυμπτωτική μήτρα συνδιακύμανσης $\hat{\beta}$ για αυτή την περίπτωση δίνεται από τον μεγάλο αντίστροφο πίνακα σε παρενθέσεις στην (4.41), η οποία θα εκτιμηθεί με:

$$\text{Cov}[\hat{\beta}_i, \hat{\beta}_j] = \hat{\sigma}_{ij} (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}, i, j = 1, \dots, M \quad (4.44)$$

Όπου $\hat{\Sigma}_{ij} = \hat{\sigma}_{ij} = \frac{1}{T} \mathbf{e}_i' \mathbf{e}_j$.

4.12 Παγκόσμιο διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο (GVAR)

Τα Αυτοπαλίνδρομα Διανυσματικά Υποδείγματα (VAR models) παρουσιάζουν ένα βασικό οικονομετρικό πρόβλημα, αυτό της πεπερασμένης διάστασης. Το πρόβλημα της πεπερασμένης διάστασης έγκειται στο γεγονός ότι οι προς εκτίμηση παράμετροι κάθε Αυτοπαλίνδρομου Διανυσματικού Υποδείγματος είναι το γινόμενο της διάστασης του διανύσματος των μεταβλητών με το βάθος των χρονικών υστερήσεων αυξημένο κατά μία μονάδα που αντιστοιχεί στο σταθερό όρο. Δηλαδή η εκτίμηση ενός Αυτοπαλίνδρομου Διανυσματικού Υποδείγματος, όπου το διάνυσμα μεταβλητών είναι διάστασης $n \times 1$ και το βάθος των χρονικών υστερήσεων του υποδείγματος είναι p απαιτεί την εκτίμηση $(n \times p + 1) \times n$ παραμέτρων. Όπως γίνεται αντιληπτό, για την εκτίμηση ενός τέτοιου όγκου παραμέτρων θα πρέπει να γίνει χρήση χρονολογικών δεδομένων επαρκώς μεγάλης διάστασης, $t \gg (n \times p + 1) \times n$ ώστε οι εκτιμητές των παραμέτρων που θα προκύψουν να ανήκουν στην κλάση των Γραμμικών Αμερόληπτων Ελαχίστης Διασποράς Εκτιμητών (Best Linear Unbiased Estimator). Σε αυτό το πλαίσιο, τα Αυτοπαλίνδρομα Διανυσματικά Υποδείγματα δε δύνανται να

ενσωματώσουν μεγάλο πλήθος μεταβλητών διαφορετικών οικονομικών μονάδων εξαιτίας της πεπερασμένης διάστασης των χρονολογικών δεδομένων που βρίσκονται στη διάθεση του εκάστοτε ερευνητή.

Η ερευνητική ανάγκη για την ύπαρξη ενός υποδείγματος ικανού να εμπεριέχει μεγάλο πλήθος μεταβλητών χωρίς την ανάγκη ύπαρξης δεδομένων μικρής χρονικής συχνότητας οδήγησε στη δημιουργία των Παγκόσμιων Αυτοπαλίνδρομων Διανυσματικών Υποδειγμάτων (GVAR models). Πιο συγκεκριμένα το GVAR παρέχει μία μέθοδο για την εκτίμηση παγκόσμιας κλίμακας οικονομικών διασυνδέσεων μεταξύ, γεωγραφικών περιοχών και οικονομιών και, επιπλέον, μπορεί να αξιολογήσει τη μετάδοση των διαταραχών ανάμεσα σε αυτές. Το υπόδειγμα GVAR εισήχθη στη διεθνή βιβλιογραφία από τους Pesaran et al. (2004) και αναπτύχθηκε μέσα από θεωρητικές συνεισφορές, όπως των Pesaran and Smith (2006), των Dées et al. (2007b) Chudik and Pesaran (2011a), (2011b) καθώς και από εμπειρικές συνεισφορές, όπως των Dées et al. (2005), (2007a), Pesaran et al. (2006), Castren et al. (2011), Pesaran et al. (2007), Bussière et al. (2012).

Το υπόδειγμα GVAR είναι κατάλληλο για την εκτίμηση των σχέσεων μεταξύ οικονομιών, ενώ η μεθοδολογία του παρέχει ένα παγκόσμιο πλαίσιο μοντελοποίησης για την ποσοτική ανάλυση των διαφόρων διαταραχών και των μηχανισμών μετάδοσης αυτών. Πρακτικά, συνιστά ένα οικονομετρικό υπόδειγμα της παγκόσμιας οικονομίας, το οποίο έχει σχεδιαστεί ειδικά για να εκφράσει ρητά τις οικονομικές αλληλεξαρτήσεις, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, το GVAR συνδυάζει τα επιμέρους υποδείγματα όλων των οικονομιών σε ένα πλήρες οικονομετρικό μοντέλο. Το γεγονός αυτό, μας επιτρέπει να το χρησιμοποιήσουμε για να διερευνήσουμε το βαθμό αλληλεξάρτησης των οικονομιών μέσω της ανάλυσης των συναρτήσεων απόκρισης (Response Function).

Το υπόδειγμα GVAR εμπεριέχει ως ενδογενείς μεταβλητές x_{it} , το διάνυσμα των μεταβλητών της κάθε οικονομικής μονάδας ενώ τα διανύσματα των μεταβλητών των υπολοίπων οικονομικών μονάδων που

εμπεριέχονται στο υπόδειγμα, οι επονομαζόμενες αλλοδαπές μεταβλητές, x_{it}^* , αντιπροσωπεύουν έναν σταθμισμένο μέσο όρο των μεταβλητών και θεωρούνται ως ασθενώς εξωγενείς στο υπόδειγμα της κάθε χώρας. Τα βάρη συνήθως υπολογίζονται ως μερίδια των εισαγωγών και εξαγωγών κάθε οικονομίας σε κάθε άλλη.

Η οικονομετρική απεικόνιση ενός υποδείγματος GVAR προϋποθέτει τη δημιουργία ξεχωριστών Αυτοπαλίνδρομων Διανυσματικών Υποδειγμάτων για κάθε οικονομική μονάδα που εμπεριέχεται στο υπόδειγμα.

Έστω λοιπόν ένα υπόδειγμα GVAR που εμπεριέχει $i = 1, \dots, N$ οικονομικές μονάδες. Τότε με βάση τους Pesaran et al. (2004) κάθε οικονομική μονάδα ακολουθεί ένα Αυτοπαλίνδρομο Διανυσματικό Υπόδειγμα (VARX model) της μορφής:

$$\Phi_i(L, p_i) x_{it} = \alpha_{i0} + \Lambda_i(L, q_i) x_{it}^* + \alpha_{i1} G_t + u_{it} \quad (4.45)$$

όπου x_{it} είναι το σύνολο των ενδογενών μεταβλητών της κάθε οικονομίας, $\Phi_i(L, p_i)$ είναι το πολυώνυμο της μήτρας του τελεστή υστέρησης της κάθε οικονομίας, α_{i0} είναι το διάνυσμα των σταθερών όρων, G_t είναι το σύνολο των εξωγενών παγκόσμιων μεταβλητών, α_{i1} είναι το αντίστοιχο διάνυσμα των εκτιμώμενων συντελεστών, x_{it}^* ($x_{it}^* = w x_{it}$) είναι το σύνολο των σταθμισμένων αλλοδαπών μεταβλητών που θεωρούνται ως ασθενώς εξωγενείς μεταβλητές στο VARX υπόδειγμα και $\Lambda_i(L, q_i)$ είναι το πολυώνυμο της μήτρας του τελεστή υστέρησης. Η μήτρα W των μεριδίων της κάθε οικονομικής μονάδας είναι διαστάσεων $(N + 1) \times (N + 1)$ και εκφράζει το ποσοστό των διμερών εμπορικών σχέσεων μεταξύ όλων των μονάδων που εμπεριέχονται στο υπόδειγμα. Τέλος, u_{it} είναι το διάνυσμα των καταλοίπων με μέσο μηδέν και η μήτρα διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων ορίζεται ως Σ_i , $u_{it} \sim i.i.d(0, \sigma^2)$.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το υπόδειγμα GVAR εφαρμόζεται σε δύο στάδια. Αρχικά το VARX υπόδειγμα κάθε οικονομίας δομείται με τις παγκόσμιες μεταβλητές ως εξωγενείς. Μετά από την κατασκευή του VARX για κάθε οικονομία, συγκεντρώνουμε τους αντίστοιχους υπολογισμούς από όλα τα VARX σε ένα παγκόσμιο υπόδειγμα το GVAR.

Συγκεκριμένα, θεωρούμε το ακόλουθο υπόδειγμα για κάθε οικονομία i :

$$x_{it} = \alpha_{i0} + \Phi_{ip} x_{it-p} + \Lambda_{i0} x_{it}^* + \Lambda_{iq} x_{it-q} + \alpha_{i1} G_t + u_{it} \quad (4.46)$$

Αρχικά συγκεντρώνουμε όλες τις εγχώριες και αλλοδαπές μεταβλητές μαζί ως:

$$Z_{it} = \begin{pmatrix} x_{it} \\ x_{it}^* \end{pmatrix} \quad (4.47)$$

Έτσι, για κάθε οικονομία το αντίστοιχο υπόδειγμα γίνεται:

$$A_i z_{it} = a_{i0} + B_{i,\max\{p,q\}} z_{it} + a_{i1} G_t + u_{it} \quad (4.48)$$

Όπου, $A_i = (I - \Lambda_{i0})$ και $B_{i,\max\{p,q\}} = (\Phi_{i,p}, \Lambda_{i,q})$

Με τη συλλογή όλων των εγχώριων ενδογενών μεταβλητών μαζί, ορίζουμε το ακόλουθο παγκόσμιο διάνυσμα $x_t = \begin{pmatrix} x_{1t} \\ x_{2t} \\ \vdots \\ x_{Nt} \end{pmatrix}$ και λαμβάνουμε

την ταυτότητα $z_{it} = W x_t \forall i \in \{1, \dots, N\}$, όπου W είναι η μήτρα των βαρών.

Έτσι, χρησιμοποιώντας την προηγούμενη ταυτότητα για την οικονομία i , θα λάβουμε:

$$A_i W_i z_{it} = a_{i0} + B_{i,\max\{p,q\}} W_i z_{it-\max\{q,p\}} + a_{i1} G_t + u_{it} \quad (4.49)$$

Συνδυάζοντας το υπόδειγμα κάθε οικονομικής μονάδας με την προηγούμενη εξίσωση, λαμβάνουμε το GVAR υπόδειγμα:

$$Mx_t = a_{i0} + H_{i,\max\{p,q\}}x_{t-\max\{t,q\}} + a_{i1}G_t + u_{it} \quad (4.50)$$

όπου: $M = (A_i, W_i)$ και $H_i = (B_{i,\max\{p,q\}}W_i)$

Εάν η μήτρα M είναι αντιστρέψιμη, παίρνουμε την ανηγμένη μορφή του υποδείγματος GVAR :

$$x_t = b_0 + F_{\max\{p,q\}}x_{t-\max\{p,q\}} + b_1G_t + v_t \quad (4.51)$$

όπου : $b_i = M^{-1}a_i$. $F_i = M^{-1}H_i$ και $v_t = M^{-1}u_t$

Η παραπάνω μοντελοποίηση επιτρέπει τη συνεπή εκτίμηση υποδειγμάτων που εμπεριέχουν μεγάλο πλήθος οικονομικών μονάδων με πολυδιάστατα διανύσματα μεταβλητών. Χαρακτηριστικό είναι ότι η εκτίμηση του παραπάνω υποδείγματος GVAR απαιτεί την εκτίμηση $(n+1)xp + 1$ παραμέτρων για κάθε VARX υπόδειγμα που είναι σαφώς μικρότερης διάστασης από την αναγκαιότητα εκτίμησης $(npx + 1)xn$ που απαιτεί ένα VAR υπόδειγμα.

Βέβαια, η παραπάνω μοντελοποίηση δε λαμβάνει υπόψη το μέγεθος και τη σημαντικότητα που δόνανται να έχουν στο υπόδειγμα κάποιες εξέχουσες οικονομικές μονάδες. Με άλλα λόγια, η παραπάνω μοντελοποίηση αφορά οικονομικές μονάδες που όλες θεωρούνται ισάξιες δηλαδή ανήκουν στην κατηγορία μοντελοποίησης μικρών ανοικτών οικονομιών (small open economies framework). Για την ενσωμάτωση κυρίαρχων οικονομικών μονάδων (dominant economic entities) στο παραπάνω υπόδειγμα σύμφωνα με τους Chudik and Smith (2013) θα πρέπει να εκτιμηθεί ένα ακόμα VARX υπόδειγμα για την κυρίαρχη οικονομική μονάδα, όπου οι σταθμισμένες μεταβλητές των υπόλοιπων μονάδων θα είναι ενδογενείς και όχι ασθενώς εξωγενείς. Συνεπώς, με χρήση των συνήθων συμβολισμών, αν $j = 1, \dots, K$ είναι οι κυρίαρχες οικονομίες, τότε το VARX υπόδειγμα για κάθε μία από αυτές δύνανται από την εξίσωση:

$$\Phi_j(L, p_j)X_{jt} = a_{j0} + \Lambda_i(L, q_i)X_{jt}^* + a_{j1}G_t + u_{jt} \quad (4.52)$$

όπου το διάνυσμα των μεταβλητών των κυρίαρχων οικονομιών είναι X_{jt} , και το διάνυσμα των μεταβλητών των μικρών οικονομιών X_{jt}^* .

Ενώ, για κάθε μικρή οικονομική μονάδα που δύναται να προσομοιάσει μία μικρή ανοικτή οικονομία, το υπόδειγμα VARX θα έχει την ακόλουθη μορφή:

$$X_{it} = a_i + \Phi_i(L, p_i)X_{it} + \Lambda_j(L, q_j)X_{jt} + K_i(L, l_i)X_{it}^* + a_i G_t + u_t \quad (4.53)$$

Αφού σχηματιστούν οι σχέσεις του μοντέλου GVAR, στη συνέχεια υπολογίζονται οι γενικευμένες συναρτήσεις απόκριση σε μοναδιαία διαταραχή (GIRFs), με βάση τους Koop, Pesaran and Potter (1996) αλλά και Pesaran and Shin (1998). Πιο αναλυτικά, θετικό τοπικό σφάλμα μοναδιαίας διαταραχής εξετάζεται σε κάθε μεταβλητή του μοντέλου, στοχεύοντας στην εύρεση του τρόπου αντίδρασης κάθε οικονομικής μεταβλητής σε μια διαταραχή. Επίσης, εξετάζουμε κατά πόσο οι διαταραχές αυτές διατηρούνται στον χρόνο. Οι γενικευμένες συναρτήσεις απόκρισης σε μοναδιαία διαταραχή (GIRFs) δίνονται από τον τύπο:

$$I_{j(n)} = \sigma_{jj}^{-\frac{1}{2}} + B_n \sum e_n, \forall n = 1, 2, \dots \quad (4.54)$$

όπου $I_{j(n)}$ είναι η συνάρτηση απόκρισης σε μία διαταραχή, n περιόδων μετά από θετικό τοπικό σφάλμα μοναδιαίας διαταραχής, σ_{jj} είναι η j -οστή στήλη στοιχείων του πίνακα διακύμανσης - συνδιακύμανσης Σ , του κάτω τριγωνικού πίνακα ανάλυσης Cholesky, των όρων σφάλματος, τα οποία θεωρούνται ότι κατανέμονται κανονικά. B είναι ο πίνακας των συντελεστών, οι οποίοι σε ανάστροφη μορφή εκφράζουν το διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο (VAR) ως μια αντίστοιχη διαδικασία MA και e_j είναι η στήλη του

διανύσματος ενός πίνακα μονάδων. Περισσότερα μπορεί να βρει κανείς στους Koop et al. (1996) και Pesaran and Shin (1998).

4.13 Συνάρτηση απόκρισης σε μοναδιαία διαταραχή (impulse response function ή IRF)

Η συνάρτηση απόκρισης σε μοναδιαία διαταραχή (impulse response function ή IRF) ενός δυναμικού συστήματος, είναι η έξοδος του, όταν του εισάγεται ένα σύντομο σήμα εισόδου, που ονομάζεται διαταραχή (ή σοκ). Επομένως, μια αντίδραση - απόκριση είναι η αντίδραση οποιουδήποτε δυναμικού συστήματος ως απάντηση σε κάποια εξωτερική αλλαγή. Και στις δύο περιπτώσεις, η διαταραχή (σοκ) περιγράφει την αντίδραση του συστήματος ως συνάρτηση του χρόνου (ή πιθανώς ως συνάρτηση κάποιας άλλης ανεξάρτητης μεταβλητής που παραμετροποιεί τη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος). Η ανταπόκριση σε ένα σοκ στα πλαίσια των αυτοπαλίνδρομων διανυσματικών μοντέλων, παρουσιάζουν το αιτιατό αποτέλεσμα αν προκληθεί ένα σοκ, σε μια μεταβλητή από τις εξαρτημένες του συστήματος, στην εξαρτημένη μεταβλητή που εξετάζουμε. Σε περίπτωση που έχουμε ορθογωνιαίο σύστημα, τότε έχουμε ορθογωνιαία απόκριση σε σοκ.

Ο τύπος υπολογισμού των irfs είναι ο εξής:

Για την απλή συνάρτηση $y_t = \mu + a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + v_t$ έχουμε:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ y_{t-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_t \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.55)$$

ως πρώτου βαθμού συνάρτηση του μοντέλου. Υποθέτοντας ότι το σύστημα είναι ευσταθές, η ισορροπία μπορεί να βρεθεί από επανάληψη βημάτων (Greene, 2002).

Έτσι:

$$y_t = \mu + A(L)y_t + v_t \quad (4.56)$$

$$[1 - A(L)]y_t = \mu + v_t \quad (4.57)$$

Με την υπόθεση της ευστάθειας, έχουμε:

$$y_t = [1 - A(L)]^{-1}(\mu + v_t) = [1 - A]^{-1}\mu + \sum_{i=0}^{\infty} A^i v_{t-i} = \bar{y} + \sum_{i=0}^{\infty} A^i v_{t-i} = \bar{y} + v_t + Av_{t-1} + A^2v_{t-2} + \dots \quad (4.58)$$

Οι συντελεστές στις δυνάμεις, είναι οι πολλαπλασιαστές του συστήματος, υποθέτοντας ότι το v έχει εξισωθεί με το 0 για αρκετό χρόνο, ώστε το y να φτάσει σε ισορροπία, \bar{y} . Τώρα, προκαλούμε ένα σοκ στο σύστημα, αλλάζοντας ένα από τα v , για μια περίοδο, και στη συνέχεια επιστρέφουμε στο μηδέν. Το y_{mt} θα απομακρυνθεί, και στη συνέχεια θα επιστρέψει στην ισορροπία του. Η διαδρομή με την οποία οι μεταβλητές επιστρέφουν στην ισορροπία καλείται απόκριση του μοντέλου VAR (Hamilton, 1994).

Στην αυτοπαλίνδρομη μορφή του μοντέλου, μπορούμε να εντοπίσουμε κάθε καινοτομία (innovation), v_{mt} , με μια συγκεκριμένη μεταβλητή στην y_t , έστω y_{mt} . Η επίδραση ενός μοναδιαίου σοκ στο σύστημα, θα είναι η dv_{mt} . Σε σύγκριση με την ισορροπία, θα έχουμε, κατά την τρέχουσα περίοδο,

$$y_{mt} - \bar{y}_m = dv_{mt} = \Phi_{mm}(0) dv_{mt} \quad (4.59)$$

Μια περίοδο αργότερα, θα έχουμε:

$$y_{m,t+1} - \bar{y}_m = dv_{mt} = (A)_{mm} dv_{mt} = \Phi_{mm}(1) dv_{mt} \quad (4.60)$$

Και αντίστοιχα, για δύο περιόδους αργότερα:

$$y_{m,t+2} - \bar{y}_m = dv_{mt} = (A^2)_{mm} dv_{mt} = \Phi_{mm}(2) dv_{mt} \quad (4.61)$$

Τα βήματα συνεχίζουν όμοια. Η συνάρτηση Φ_{mm} δίνει τα χαρακτηριστικά της απόκρισης σε σοκ της μεταβλητής y_m σε καινοτομίες της v_m (Greene, 2002). Για καλύτερη οπτική αντίληψη της συνάρτησης απόκρισης σε σοκ, συνηθίζεται να σχηματίζεται η γραφική της απεικόνιση.

Στην γενική περίπτωση των αποκρίσεων σε σοκ (IRFs), οι διαταρακτικοί όροι δεν είναι ορθογωνιαίοι. Χρησιμοποιώντας την ανάλυση Cholesky (Cholesky Decomposition), μπορούμε, ορίζοντας ένα νέο διάνυσμα σφάλματος, έστω w_t , κάνοντας χρήση γραμμικών μετασχηματισμών του διανύσματος σφάλματος v_t , να καταλήξουμε σε ορθογωνιαία σφάλματα. Έτσι:

$$w_t = A^{-1}v_t \quad (4.62)$$

Τα w_t είναι ορθογωνιαία σφάλματα επειδή ο πίνακας διακύμανσης - συνδιακύμανσης θα είναι διαγώνιος:

$$\text{var}(w_t) = A^{-1}\text{var}(v_t)A^{-1'} = A^{-1}\Omega A^{-1'} = A^{-1}AA'A^{-1'} = I \quad (4.63)$$

Έτσι, αν $A = \begin{bmatrix} a & 0 \\ b & c \end{bmatrix}$, η ανάλυση Cholesky λύνει το εξής:

$$\begin{bmatrix} a & 0 \\ b & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ 0 & c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_u^2 & \sigma_{u,v} \\ \sigma_{u,v} & \sigma_v^2 \end{bmatrix} \quad (4.64)$$

Η λύση των a,b,c πάντα υπάρχει και είναι οι εξής:

$$a = \sqrt{\sigma_u^2} \quad (4.65.1)$$

$$b = \frac{\sigma_{u,v}}{\sqrt{\sigma_u^2}} \quad (4.65.2)$$

$$c = \sqrt{\sigma_v^2 - \frac{\sigma_{u,v}^2}{\sigma_u^2}} \quad (4.65.3)$$

4.14 Αυτοπαλίνδρομο ολοκληρωμένο κινητού μέσου και αυτοπαλίνδρομο υπό όρους ετεροσκεδαστικότητας μοντέλο $ARIMA(p,d,q)$ -Garch(p',q')

Η έρευνα που έκαναν οι Box et al. (1994) στο φάσμα των αυτοπαλίνδρομων υποδειγμάτων κινητού μέσου άνοιξε το δρόμο για συναφή έρευνα στον κλάδο της μοντελοποίησης της μεταβλητότητας, αρχικά χρησιμοποιώντας τα ARCH μοντέλα και έπειτα τα GARCH μοντέλα από τους Engle (1982) και Bollerslev (1986), αντίστοχα. Αυτά τα μοντέλα παρέχουν δυναμική κίνηση στη μεταβολή του χρόνου υπό όρους των παραμετρικών κατανομών του μέσου και της διασποράς, σε μια προσπάθεια να καταγράψουν φαινόμενα όπως η αυτοσυσχέτιση.

Το αυτοπαλίνδρομο υπό όρους ετεροσκεδαστικότητας μοντέλο - ARCH είναι ένα στατιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για δεδομένα χρονοσειρών, το οποίο περιγράφει τη διακύμανση του τωρινού όρου σφάλματος ή την καινοτομία ως συνάρτησης των πραγματικών μεγεθών των όρων λαθών, όπως υποδεικνύεται από τον Engle (1982). Η διακύμανση συχνά σχετίζεται με τα τετράγωνα των προηγούμενων καινοτομιών. Το μοντέλο ARCH είναι κατάλληλο, όταν η διακύμανση των σφαλμάτων μιας χρονοσειράς ακολουθεί ένα αυτοπαλίνδρομο μοντέλο $AR(p)$, ενώ σε περιπτώσεις ενός αυτοπαλίνδρομου κινητού μέσου μοντέλου $ARMA(p, q)$ για τη διακύμανση σφάλματος, τότε το μοντέλο είναι μια γενικευμένη αυτοπαλίνδρομη υπό όρους ετεροσκεδαστικότητα - GARCH (Bollerslev, 1986, Nelson, 1991).

Το μοντέλο ARCH, και κυρίως το μοντέλο GARCH, έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές φορές ως μέσα για τη μοντελοποίηση δεδομένων υψηλής συχνότητας, ιδιαίτερα των χρηματοπιστωτικών αγορών (Poon and Granger, 2003) και κυρίως των μετοχών (Sharma et al., 1996, Franses and Dijk, 1996; Chong et al., 1999, Marcucci, 2005, Awartani and Corradi, 2005, Omari-Sasu Yaw Akoto κ.ά., 2015). Επιπλέον, γίνεται να χρησιμοποιηθεί ο

συνδυασμός μονέλων ARIMA - GARCH, και μάλιστα με εξωγενείς μεταβλητές.

Μοντέλο ARIMA(p,d,q):

Το μοντέλο ARIMA(p,d,q) είναι συνδυασμός ενός αυτοπαλινδρομου μοντέλου AR(p), με μοντέλο κινητού μέσου MA(q), συνθέτοντας έτσι, τη διαδικασία ή αλλιώς το υπόδειγμα ARMA(p,q), με ολοκλήρωση.

Μοντέλο AR(p):

Το αυτοπαλινδρομο μοντέλο έχει ήδη αναλυθεί στο υπο-κεφάλαιο 4.7.

Ο τύπος του αναφέρθηκε πριν, στη σχέση (4.18) στη γενική της περίπτωση, αλλά και στην (4.19) στην περίπτωση πρώτων διαφορών. Έτσι, στη γενική περίπτωση:

$$y_t = \sum_{i=1}^p k_i y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4.18)$$

όπου y_t είναι μια μεταβλητή - χρονοσειρά και p είναι ο αριθμός των υστερήσεων του όρου AR του μοντέλου, a_i είναι οι συντελεστές του όρου AR και ε_t είναι οι διαταρακτικοί όροι για την περίοδο t .

Μοντέλο MA(q):

Το μοντέλο κινητού μέσου, δίνεται από τον εξής τύπο:

$$y_t = \mu + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} \quad (4.66)$$

όπου θ_i είναι οι συντελεστές του όρου κινητού μέσου του μοντέλου (MA), μ είναι η εκτίμηση των y_t και ε_{t-i} είναι η με υστέρηση διαταραχή.

Στη συνέχεια, προχωράμε σε μια διαδικασία ARMA (p, q). Το μοντέλο έχει p όρους αυτοπαλινδρόμησης, και q όρους κινητού μέσου όρου. Αυτό το μοντέλο περιλαμβάνει τα μοντέλα AR (p) και MA (q):

$$y_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p a_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} \quad (4.67)$$

Μία αντίστοιχη μορφή του μοντέλου ARMA(p',q) είναι η ακόλουθη:

$$y_t - a_1 y_{t-1} - \dots - a_{p'} y_{t-p'} = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (4.68)$$

Η,

$$(1 - \sum_{i=1}^{p'} a_i L^i) y_t = (1 + \sum_{i=1}^q \theta_i L^i) \varepsilon_t \quad (4.69)$$

Όπου L είναι ο τελεστής υστέρησης, a_i είναι οι παράμετροι του αυτοπαλίνδρομου τμήματος του μοντέλου, θ_i είναι οι παράμετροι του κινητού μέσου όρου του μοντέλου και ε_t είναι οι όροι σφάλματος.

Υποθέτοντας ότι το πολυώνυμο $(1 - \sum_{i=1}^{p'} a_i L^i)$ έχει μοναδιαία ρίζα, παράγοντα $(1-L)$, πολλαπλότητας (multiplicity) d , μπορούμε να υποθέσουμε ότι η ολοκλήρωση μπορεί να ενσωματωθεί στο μοντέλο. Επομένως:

$$(1 - \sum_{i=1}^{p'} a_i L^i) = (1 - \sum_{i=1}^{p'-d} \varphi_i L^i) (1 - L)^d \quad (4.70)$$

Η διαδικασία ARIMA(p,d,q) εκφράζει την ιδιότητα παραγοντοποίησης πολυωνύμου με $p=p'-d$, συνιστώντας μια διαδικασία ARMA(p,q) με d μοναδιαίες ρίζες, και είναι η εξής:

$$(1 - \sum_{i=1}^p \varphi_i L^i) (1 - L)^d y_t = (1 + \sum_{i=1}^q \theta_i L^i) \varepsilon_t \quad (4.71)$$

Στην περίπτωση τώρα, που περιλαμβάνεται ολοκλήρωση στη διαδικασία ARMA(p,q), έχουμε το υπόδειγμα ARIMA(p,d,q).

Μοντέλο GARCH(p,q):

Το μοντέλο ARCH, όπως προτάθηκε από τον Engle (1982), είναι το ακόλουθο:

Έστω ε_t οι όροι σφάλματος και σ_t είναι η τυπική απόκλιση.

Επειτα,

$$\sigma_t^2 = a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + a_q \varepsilon_{t-q}^2 = a_0 + \sum_{i=1}^q a_i \varepsilon_{t-i}^2 \quad (4.72)$$

όπου $a_0 > 0$ και $a_i \geq 0, i > 0$.

Στη συνέχεια, λαμβάνουμε την εκτίμηση των τετραγωνικών σφαλμάτων, $\hat{\varepsilon}_t^2$, από μια διαδικασία όπως ARIMA, AR, ARMA, SARIMA κλπ., και τα παλινδρομούμε σε σταθερές και q τιμές με υστέρηση:

$$\hat{\varepsilon}_t^2 = \hat{a}_0 + \sum_{i=1}^q \hat{a}_i \hat{\varepsilon}_{t-i}^2 \quad (4.73)$$

Όπου q είναι το μήκος των ARCH υστερήσεων.

Η μηδενική υπόθεση είναι ότι, ελλείψει των στοιχείων ARCH, έχουμε $a_i = 0$ για όλα τα $i = 1, \dots, q$, ενώ η εναλλακτική υπόθεση είναι ότι, παρουσία των όρων ARCH, τουλάχιστον ένας από τους εκτιμώμενους συντελεστές a_i πρέπει να είναι στατιστικά σημαντικός.

Στην περίπτωση που ένα αυτοπαλίνδρομο μοντέλο κινητού μέσου (ARMA) ή η επέκτασή του, ένα αυτοπαλίνδρομο μοντέλο κινητού μέσου με ολοκλήρωση (ARIMA), χρησιμοποιείται για τη διακύμανση του σφάλματος, το μοντέλο είναι ένα γενικευμένο αυτοπαλίνδρομο υπό όρους ετεροσκεδαστικότητας μοντέλο - GARCH (Bollerslev, 1986) .

Στο μοντέλο GARCH (p, q), το p δηλώνει τον βαθμό των σ^2 όρων του GARCH μοντέλου, και q είναι ο βαθμός των όρων ARCH ε_t^2 .

Έπειτα,

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 &= \omega + a_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + a_q \varepsilon_{t-q}^2 + b_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + b_p \sigma_{t-p}^2 = \\ &\omega + \sum_{i=1}^q a_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p b_i \sigma_{t-i}^2 \quad (4.74) \end{aligned}$$

Επομένως, για να προσδιορίσουμε τον βαθμό p του μοντέλου GARCH (p, q), υπολογίζουμε αρχικά το βέλτιστο μοντέλο AR(p), δηλαδή αυτό με την καλύτερη προσαρμογή. Στη συνέχεια, υπολογίζουμε την αυτοσυσχέτιση των ε_t^2 .

Εισάγουμε τώρα εξωγενείς μεταβλητές στο μοντέλο GARCH (εξωγενές συμμεταβλητή). Υποθέτουμε το μοντέλο μεταβλητότητας:

$$y_t = \sigma_t \varepsilon_t \quad (4.75)$$

Και έστω Ω_t το φιλτράρισμα που αντιπροσωπεύει την πληροφορία που έχει οριστεί τη χρονική στιγμή t . Έπειτα,

$$\text{Var}(y_{t+1}|\Omega_t) = \sigma^2_{t+1} \quad (4.76)$$

Υποθέτουμε ότι $\varepsilon_t \sim (0,1)$ και προσαρμόζεται στο διαθέσιμο σύνολο πληροφοριών στον χρόνο t (Ω_t) and σ_{t+1} δίνεται από:

$$\sigma^2_{t+1} = w + \alpha y^2_t + \beta \sigma^2_t + f(z_t, \pi) \quad (4.77)$$

Για τις παραμέτρους $w, \alpha, \beta \in \mathbb{J} \subset \mathbb{R}_+$ και υποθέτουμε ότι $\sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i + \sum_{i=1}^{\infty} \beta_i < 1$. Η $f(z_t, \pi)$ θεωρείται αυστηρά θετική και $\pi \in \mathbb{R}^d$. Σε αυτό το πλαίσιο του μοντέλου, η συμμεταβλητή z_t είναι μια σχεδόν ολοκληρωμένη διαδικασία. Για να διασφαλίσουμε μια θετική επίδραση του z_t , χρησιμοποιείται μια λογιστική συνάρτηση κατανομής (logistic distribution function):

$$F_x = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (4.78)$$

Και η πυκνότητα από:

$$\frac{d}{dx} F_x = \frac{e^{-x}}{1+e^{-x}} \quad (4.79)$$

Στην περίπτωση της απλούστερης μορφής ARMA (1,1), ορίζουμε:

$$k_{t+1} \equiv y^2_{t+1} - \sigma^2_{t+1} \quad (4.80)$$

Ως αλληλουχία διαφορών martingale.

Έπειτα,

$$\sigma^2_{t+1} = y^2_{t+1} - k_{t+1} \quad (4.81)$$

$$y^2_{t+1} - k_{t+1} = w + \alpha y^2_t + \beta (y^2_t - k_t) + f(z, \pi) \Rightarrow$$

$$y^2_{t+1} - k_{t+1} = w + \alpha y^2_t + \beta y^2_t - \beta k_t + f(z, \pi) \Rightarrow$$

$$y_{t+1}^2 - k_{t+1} = (w + \alpha + \beta)y_t^2 - \beta k_t + f(z, \pi) \Rightarrow$$

$$y_{t+1}^2 = w + (\alpha + \beta)y_t^2 + f(z, \varphi) + (k_{t+1} - \beta k_{t-1}) \quad (4.82)$$

Με μια συμμεταβλητή, έχουμε μια μη γραμμική ARMAX (1,1) στην απλούστερη μορφή της. Εάν η συμμεταβλητή δεν συμπεριληφθεί, οδηγούμαστε σε μια διαδικασία GARCH (1,1). Οι Park και Han (2012) προτείνουν την ασυμπτωτική θεωρία του εκτιμητή μέγιστης πιθανότητας για το μοντέλο ARCH / GARCH με συνεχή συμμεταβολή, προκειμένου να εγκαθιδρυθεί συνέπεια και να επιτευχθεί οριακή κατανομή. Δείχνουν ότι η κατανομή ορίου είναι μη-Γκαουσιανή και παίρνει τη λειτουργική μορφή της κίνησης Brown. Ωστόσο, η οριακή κατανομή γίνεται Γκαουσιανή, αν η μεταβλητή έχει καινοτομία (innovation) που δε συσχετίζεται με την τετραγωνική καινοτομία του μοντέλου (Samiev, 2013). Με άλλα λόγια, η συνάρτηση μεταβλητότητας είναι γραμμική στις παραμέτρους. Η εκτίμηση του προτεινόμενου μοντέλου μεταβλητότητας πραγματοποιείται με τον εκτιμητή μέγιστης πιθανοφάνειας. Κάτω από ένα σύνολο συνθηκών κανονικότητας, η εκτίμηση μέσω της Εκτίμησης Μεγίστης Πιθανοφάνειας παρέχει βέλτιστους εκτιμητές. Είναι ασυμπτωτικά αποτελεσματικές και συνεπείς όταν επιτευχθεί το όριο Cramer-Rao (Drost and Rivera, 1999).

Έστω $\psi = (w, \alpha, \beta, \pi)'$. Μπορεί να γραφτεί και ως:

$$\sigma_{t+1}^2(\psi) = w + \alpha y_t^2 + \beta \sigma_t^2 + f(z_t, \pi) \quad (4.83)$$

Η υπό όρους λογαριθμική πιθανότητα για y_{t+1} δεδομένου Ω_t , για $t = 1, \dots, n$ είναι $l_t(\psi)$. Για το σύνολο (y_1, \dots, y_n) , ορίζουμε τη συνάρτηση λογαριθμικής πιθανοφάνειας (log-likelihood) ως:

$$\sum_{t=1}^n l_t(\psi) = -\frac{1}{2} \sum_{t=1}^{n-1} \log \sigma_{t+1}(\psi) + (y_{t+1}^2 / \sigma_{t+1}^2(\psi)) \quad (4.84)$$

Το MLE $\widehat{\psi}^n$ ορίζεται ως:

$$\widehat{\psi}^n = \operatorname{argmax} \sum_{t=1}^n l_t(\psi) \quad (4.85)$$

Ορίζοντας $\sigma_{t+1}^2(\psi) = \sigma_{t+1}(\psi)$ το διάνυσμα βαθμολόγησης (score vector) $\widehat{S}^n(\psi)$ και η Hessian $\widehat{H}^n(\psi)$ δίνονται από:

$$\widehat{S}^n(\psi) = \sum_{t=1}^n \frac{\partial l_t(\psi)}{\partial(\psi)} = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^n \left(\frac{y_{t+1}^2}{\sigma_{t+1}^2} - 1 \right) \frac{1}{\sigma_{t+1}^2} \frac{\partial \sigma_{t+1}^2}{\partial(\psi)} \quad (4.86)$$

$$\widehat{H}^n = \sum_{t=1}^n \frac{\partial^2 l_t(\psi)}{\partial \psi \partial \psi'} = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^n \left(\left(1 - \frac{2y_{t+1}^2}{\sigma_{t+1}^2} \right) \frac{1}{\sigma_{t+1}^4} \frac{\partial \sigma_{t+1}^2}{\partial \psi} \frac{\partial \sigma_{t+1}^2}{\partial \psi'} + \left(\frac{y_{t+1}^2}{\sigma_{t+1}^2} - 1 \right) \frac{1}{\sigma_{t+1}^2} \frac{\partial^2 \sigma_{t+1}^2}{\partial \psi \partial \psi'} \right) \quad (4.87)$$

4.15 Μοντέλο έμμεσης διάχυσης (indirect spillover)

4.15.1 Μοντέλο παραγωγής βάσει δικτύου - Δομή δικτύου

Προκειμένου να κατασκευαστεί ένα μοντέλο κόμβου-θεωρητικής κλαδικής παραγωγής, απαιτούνται υποθέσεις, οι οποίες βασίζονται στην ερευνητική εργασία των Konstantakis et al. (2017). Καταρχάς, πρέπει να ορίσουμε τη δομή του δικτύου του μοντέλου μας. Σε αυτό το πλαίσιο, ο ορισμός 1 χαρακτηρίζει τη δομή του δικτύου ως προς τους κόμβους και τις ακμές του.

Ορισμός 1: Θεωρούμε ένα δίκτυο με $i = 1, \dots, N$ κόμβους, όπου κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει έναν κλάδο σε ένα οικονομικό σύστημα. Κάθε κόμβος σε αυτό το οικονομικό δίκτυο επικοινωνεί με τους υπόλοιπους κόμβους μέσω των ακμών του δικτύου, οι οποίοι μπορούν να αναπαρασταθούν από τα βάρη Leontief εισροών-εκροών (IO).

Στη συνέχεια, όσον αφορά τη χρονική διάσταση του δικτύου, ισχύει η ακόλουθη υπόθεση (Υπόθεση 1).

Υπόθεση 1: Το δίκτυο εξελίσσεται στο χρόνο, δηλαδή η θέση κάθε κόμβου (κλάδος) αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, ως αποτέλεσμα μιας αλλαγής στα στοιχεία των βαρών ΙΟ.

Υπόθεση 2: Κάθε φορά το στιγμιότυπο στον χρόνο (timestamp) $t \in T$ αντιπροσωπεύει στιγμιαία ένα στιγμιότυπο του δικτύου.

Τέλος, κάνουμε και μια υπόθεση σχετικά με τη δομή του δικτύου (Υπόθεση 3).

Υπόθεση 3: Ο αριθμός των κόμβων του δικτύου παραμένει σταθερός με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή κανένας κόμβος δεν μπορεί να εξέλθει από το δίκτυο ή να εισέλθει στο δίκτυο.

Αφού περιγράψαμε τη δομή του δικτύου του μοντέλου παραγωγής μας, περνάμε στη διαμόρφωση του μοντέλου παραγωγής για κάθε κλάδο.

4.15.2 Κλαδικό μοντέλο παραγωγής

Θεωρούμε μια κλαδική οικονομία με $i \in I$ κλάδους. Προκειμένου να μοντελοποιηθεί η παραγωγική διαδικασία κάθε κλάδου, υποθέτουμε ότι η παραγωγή κάθε κλάδου έχει ως πρωταρχικές εισροές: το κεφάλαιο (K) και την εργασία (L). Επιπλέον, υποθέτουμε ότι κάθε κλάδος της οικονομίας χρησιμοποιεί επίσης ως ενδιάμεσες εισροές, ένα κλάσμα $w \in (0,1)$ της παραγωγής των υπόλοιπων κλάδων της οικονομίας. Στο πλαίσιο αυτό, η παραγωγή του i -οστού κλάδου μπορεί να διαμορφωθεί ως εξής:

$$y_i = f(K_i, L_i, w_1 y_1, \dots, w_{i-1} y_{i-1}) \quad (4.88)$$

Όπου: y_i είναι η συνολική παραγωγή του i -οστού κλάδου, f είναι η συνάρτηση παραγωγής, K_i, L_i είναι το συνολικό κεφάλαιο και η συνολική εργασία του i -οστού κλάδου αντίστοιχα, και $w_j y_j, j \neq i$ δηλώνουν τις ενδιάμεσες εισροές του i -οστού κλάδου που αποτελούν ένα κλάσμα της συνολικής παραγωγής κάθε κλάδου στην οικονομία $j \in I$.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η εξίσωση (4.88), υποθέτουμε ότι η συνάρτηση παραγωγής είναι γραμμική στις εισροές της και μπορεί να γραφεί ως:

$$y_{i,t} = a_{i,0} + a_{i,1}K_{i,t} + a_{i,2}L_{i,t} + \sum_{j \neq i}^I b_{i,j}w_{i,j}y_{j,t} + \varepsilon_{i,t}, t \in T \quad (4.89)$$

όπου: $t \in T$ είναι η χρονική διάσταση, $a_{i,0}$, $a_{i,1}$, $a_{i,2}$, $b_{i,j}$ είναι οι συντελεστές οι οποίοι πρέπει να εκτιμηθούν και $\varepsilon_{i,t} \sim iid(0, \sigma^2)$.

Είναι προφανές ότι η εξίσωση (4.89) δε λαμβάνει υπόψη την πιθανή εξάρτηση της παραγωγής κάθε κλάδου από το παρελθόν της. Επομένως, ακολουθώντας την συνήθη πρακτική, ξαναγράφουμε την εξίσωση (4.89) σε μια δυναμική μορφή ως:

$$y_{i,t} = a_{i,0} + a_{i,1}K_{i,t} + a_{i,2}L_{i,t} + A_p K_{i,t-p} + B_q L_{i,t-q} + \sum_{j \neq i}^I b_{i,j}w_{i,j}y_{j,t} + C_l w_{i,t-l} + \varepsilon_{i,t}, t \in T \quad (4.90)$$

Όπου: A_p , B_q και C_l είναι τα πολυώνυμα υστέρησης μήκους p , q και l αντίστοιχα για το κεφάλαιο, την εργασία και την παραγωγή του i -οστού κλάδου.

Στη συνέχεια, με τη μοντελοποίηση του κλάσματος των εκροών των υπόλοιπων κλάδων, w_i μέσω των βαρών Leontief εισροών-εκροών (ΙΟ), και αντικαθιστώντας $w_{i,j}y_{j,t} = y_j$, τότε κάθε κλάδος της οικονομίας έχει μια συνάρτηση παραγωγής της μορφής:

$$y_{i,t} = a_0 + \sum_{p=0}^P \delta_p K_{i,t-p} + \sum_{q=0}^Q \zeta_q L_{i,t-q} + \sum_{j \neq i}^I \beta_j y_{j,t} + \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \gamma_{j,l} y_{j,t-l} + \varepsilon_{i,t} \quad (4.91)$$

Όπου $y_{i,t}$ είναι η παραγωγή του i -οστού κλάδου, $K_{i,t}$ το αντίστοιχο κεφάλαιο του i -οστού κλάδου, $L_{i,t}$ είναι η αντίστοιχη εργασία του i -οστού κλάδου, $y_{j,t}$ η παραγωγή του j -οστού κλάδου που χρησιμοποιείται ως εισροή στον i -οστό κλάδο, $y_{j,t-k}$ είναι η k -οστή υστέρηση που αφορά την παραγωγή του j -οστού κλάδου που χρησιμοποιείται ως εισροή στον i -οστό κλάδο, a_0 , δ_p ,

$p = 0, \dots, P, \zeta_q, q = 0, \dots, Q, \beta_j, j \neq i \in I, \gamma_{j,l}, l = 1, \dots, L$ είναι οι συντελεστές που πρέπει να εκτιμηθούν.

Υποθέτουμε τώρα την περίπτωση όπου μόνο η συνάρτηση παραγωγής του i -οστού κλάδο πρέπει να ενσωματώσει μια κλαδική ειδική μεταβλητή, $f_{i,t}$ που είναι διαφορετική από αυτή του κεφαλαίου και της εργασίας. Στην περίπτωση αυτή, η συνάρτηση παραγωγής αυτού του συγκεκριμένου κλάδου γίνεται:

$$y_{i,t} = a_0 + \sum_{p=0}^P \delta_p K_{i,t-p} + \sum_{q=0}^Q \zeta_q L_{i,t-q} + \sum_{j \neq i}^I \beta_j y_{j,t} + \sum_{l=1}^L \sum_{l=1}^L \gamma_{j,l} y_{j,t-l} + \sum_{m=0}^M \theta_m f_{i,t-m} + \varepsilon_{i,t} \quad (4.92)$$

Όπου $f_{i,t-m}$ υποδηλώνουν τις σύγχρονες και υστερημένες τιμές της κλαδικής μεταβλητής και θ_m είναι οι αντίστοιχοι συντελεστές που πρέπει να εκτιμηθούν.

Σε αυτό το πλαίσιο, υποθέτοντας ότι η οικονομία αποτελείται από κλάδους $i = 1, \dots, N + K$, τότε το γενικό κλαδικό σύστημα παραγωγής που περιγράφεται από την εξίσωση (4.91) για όλους τους τομείς $i \neq j$ και από την εξίσωση (4.92) i -οστού κλάδου, μπορεί να γραφτεί συμπαγώς με τη χρήση κλασικού συμβολισμού πινάκων ως εξής:

$$Y_t = A + \Delta_p K_{t-p} + Z_q L_t + B Y_t^j + \Gamma_l Y_{t-l} + \Theta_m F_{t-m} + u_t \quad (4.93)$$

Όπου Y_t είναι ένα $((N + K) \times 1)$ διάνυσμα μεταβλητών που υποδηλώνουν την εκροή του κάθε κλάδου, το A είναι ένα διάνυσμα $n \times 1$ σταθερών όρων, Δ_p είναι ένας $((p + 1) \times (N + K))$ πίνακας του πολυώνυμου υστέρησης που είναι επαυξημένος με τους συγχρόνους συντελεστές του κεφαλαίου, το Z_q είναι ένας πίνακας $((q + 1) \times (N + K))$ του πολυωνύμου υστέρησης με τους συγχρόνους συντελεστές της εργασίας, Y_t^j είναι $((N + K - 1) \times 1)$ διάνυσμα των ενδιάμεσων εισροών για κάθε κλάδο από τους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας όπου, στη γενική περίπτωση, η i -οστή θέση στο διάνυσμα είναι μηδέν, το B είναι ένα $((N + K - 1) \times 1)$ διάνυσμα, που δηλώνει τις σύγχρονες επιδράσεις των ενδιάμεσων εισροών, Γ_l είναι μια μήτρα $(N + K) \times 1$ του πολυώνυμου

υστέρησης της κλαδικής παραγωγής, θ_m είναι ένας πίνακας $((m + 1) \times (N + K))$ του πολυωνύμου υστέρησης για συγκεκριμένο κλάδο, επαυξημένο με τα σύγχρονα αποτελέσματά του και u_t είναι οι όροι σφάλματος, τέτοιοι ώστε $u_t \sim N(0, \Sigma')$.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η μήτρα θ_m είναι μήτρα με μηδενικά για όλες τις $((N + K) - 1)$ γραμμές, με εξαίρεση την i -οστή γραμμή, η οποία ενσωματώνει την ειδική κλαδική μεταβλητή.

Ακολουθώντας την ερευνητική εργασία των Dees et al. (2007, 2011), το προαναφερθέν σύστημα θα μπορούσε να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας το μοντέλο GVAR. Σε αυτό το πλαίσιο, ακολουθώντας τους Chudik και Pesaran (2016), αναγνωρίζοντας την πιθανή ύπαρξη κυρίαρχων κλάδων στην οικονομία παραγωγής, η εξίσωση (4.93) θα μπορούσε να γραφτεί σε μορφή πινάκων ως εξής:

$$Y_t = \sum_{r=1}^R \Phi_r Y_{t-r} + \sum_{s=0}^S \Psi_s G_{t-s} + v_t \quad (4.94)$$

Όπου Y είναι ένα διάνυσμα με τις εξαρτημένες μεταβλητές στο μοντέλο GVAR, Φ_r είναι οι αντίστοιχες πολυωνυμικές μήτρες υστέρησης για τις εξαρτημένες μεταβλητές, Ψ_s είναι η σύγχρονη και υστερούμενη πολυωνυμική μήτρα-μπλοκ για τον πίνακα-μπλοκ των εξωγενών μεταβλητών $G_{t-s} = (K_t; L_t; Y_t^S; F_t)$, οι οποίες ενσωματώνονται στο GVAR μοντέλο, ενώ v_t είναι το διάνυσμα των innovations, έτσι ώστε $E(v_t) = 0$ και $E(v_t v_t') = \Sigma \forall t \in T$.

Φυσικά, για τη συνεπή εκτίμηση του μοντέλου GVAR, πρέπει να διεξαχθούν διάφορα τεστ χρονοσειρών, όπως ο έλεγχος μοναδιαίας ρίζας και η δοκιμασία στασιμότητας, προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός ολοκλήρωσης των μεταβλητών χρονοσειρών που εισέρχονται στο μοντέλο, καθώς και έλεγχοι συνολοκλήρωσης προκειμένου να εξεταστεί η πιθανή ύπαρξη μακροχρόνιων σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Παρουσία συνολοκλήρωσης, το μοντέλο GVAR μετασχηματίζεται σε παγκόσμιο μοντέλο διόρθωσης σφάλματος (GVECM), με βάση τους Chudik και Pesaran (2016).

4.15.3 Κατασκευή των έμμεσων GIRFs

Υπό την προϋπόθεση ότι στην εξίσωση (4.94) όλες οι ρίζες $|I_{m+1} - \sum_{r=1}^R \Phi_r z^r| = 0$ εμπίπτουν εντός του μοναδιαίου κύκλου (Konstantakis et al., 2020), η εξίσωση (4.95) μπορεί να γραφτεί ως μια άπειρη διαδικασία της μορφής:

$$Y_t = \sum_{r=0}^{\infty} A_r v_{t-r} + \sum_{s=0}^{\infty} \Xi_s G_{t-s}, t \in T \quad (4.96)$$

όπου οι πίνακες συντελεστών $(m + 1) \times (m + 1)$ A_r μπορούν να ληφθούν από τις ακόλουθες αναδρομικές σχέσεις:

$$A_r = \sum_{k=1}^p \Phi_k A_{i-k}, i = 1, 2, \dots \quad (4.97)$$

$$\text{με } A_0 = I_{m+1} \text{ και } A_i = 0 \text{ για } i < 0, \text{ και } B_s = A_r \sum_{s=0}^S \Psi_s.$$

Με βάση τους Pesaran και Shin (1996), υπάρχουν τρία βασικά ζητήματα εδώ: (i) οι τύποι διαταραχών που πλήττουν την οικονομική οντότητα κατά τη χρονική στιγμή t ; (ii) η κατάσταση της οικονομικής οντότητας κατά την χρονική στιγμή $t-1$, προτού υποστεί διαταραχή· και (iii) τους τύπους διαταραχής που αναμένεται να πλήξουν την οικονομική οντότητα μεταξύ των $t + 1$ και $t + h$.

Σε αυτό το πλαίσιο, αν υποδηλώσουμε με Ω_{t-1} την πληροφορία που έχει καθοριστεί με το ιστορικό της οικονομικής οντότητας, τότε η Γενικευμένη Συνάρτηση Απόκρισης σε Διαταραχή (Generalized Impulse Response Function - GIRFs) του y_t στον ορίζοντα h , εάν επιλέξουμε να σοκάρουμε το j -οστό στοιχείο και να ενσωματώσουμε τις επιπτώσεις άλλων διαταραχών χρησιμοποιώντας μια υποτιθέμενη ή ιστορικά παρατηρούμενη κατανομή των σφαλμάτων, ορίζεται ως:

$$GI_y(h, \delta_j, \Omega_{t-1}) = E(y_{t+h}/v_{jt} = \delta_j, \Omega_{t-1}) - E(y_{t+h}/\Omega_{t-1}) \quad (4.98)$$

Ενσωματώνοντας την εξίσωση (4.98) στην εξίσωση (4.96), έχουμε ότι:

$$GI_y(h, \delta_j, \Omega_{t-1}) = A_h \delta_j \quad (4.99)$$

Το οποίο είναι ανεξάρτητο από το Ω_{t-1} , αλλά εξαρτάται από τη σύνθεση του σοκ που ορίζεται από το δ_j .

Το προαναφερθέν σχήμα είναι πρότυπο για την εξαγωγή των GIRFs του δυναμικού συστήματος, όταν όλες οι εξισώσεις έχουν τις ίδιες εξαρτημένες μεταβλητές. Το επίκεντρο της ανάλυσης μας είναι η μοντελοποίηση των έμμεσων GIRF, όταν το μοντέλο VAR έχει m μεταβλητές και μόνο μία εξίσωση στη ρύθμιση του μοντέλου VAR, και $m+1$ εξαρτημένες μεταβλητές. Με άλλα λόγια, ο στόχος μας είναι να συλλάβουμε το έμμεσο GIRF του ακόλουθου σχήματος $m + 1 \rightarrow j \rightarrow i$, όπου το βέλος υποδηλώνει το GIRF.

Η πρωτότυπη λύση που προτείνεται σε αυτή τη διατριβή, είναι η ακόλουθη. Πρώτον, δημιουργούμε ένα υπόδειγμα VAR με $m+1$ εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιώντας ένα διάνυσμα που έχει m μεταβλητές και μόνο η μεταβλητή $m+1$ εισάγεται, ας πούμε, στην j -οστή εξίσωση, ενώ για τις υπόλοιπες εξισώσεις το διάνυσμα αυξάνεται με μηδενικά για τη θέση $m+1$.

Δεύτερον, χρησιμοποιώντας την τυπική εκτίμηση GIRF, λαμβάνουμε την απόκριση της μεταβλητής j , σε μοναδιαία διαταραχή ίση με μία τυπική απόκλιση της μεταβλητής $m+1$ από την εξίσωση (4.98).

Ακολούθως, για να ληφθούν τα Έμμεσα-GIRFs (IGIRFs) της μεταβλητής $m+1$ στη μεταβλητή i λόγω της επίδρασης του $m+1$ στην j -οστή μεταβλητή, ορίζουμε $\delta_j = A_h \delta_{m+1}$, δηλαδή θέτουμε το σοκ της i -οστής εξίσωσης να είναι σε κάθε βήμα h ίσο με την απόκριση (GIRF) της j -οστής μεταβλητής λόγω ενός μοναδιαίου σοκ στη μεταβλητή $m+1$. Σε αυτό το πλαίσιο, μπορούμε να λάβουμε όλες τις IGIRFs από τη μεταβλητή $m+1$ στις υπόλοιπες μεταβλητές στο δυναμικό σύστημα, μέσω της άμεσης επίδρασης της i -οστής μεταβλητής στις υπόλοιπες μεταβλητές m όπως:

$$\text{Έμμεσο - GI}_y(h, \delta_i, \Omega_{t-1}) = A_h A_h' \delta_{m+1} \quad (4.100)$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα παρουσιαζόμενα IGIRF δεν είναι κανονικοποιημένα, δεδομένου ότι η αρχική μονάδα διαταραχής δεν είναι ίση

με μία τυπική απόκλιση, αλλά είναι ίση με τον αριθμό των τυπικών αποκλίσεων απόκρισης της j -οστής μεταβλητής, λόγω μιας τυπικής απόκλισης της $m+1$ μεταβλητής. Παρ' όλα αυτά, η ερμηνεία των αντίστοιχων IGIRFs παραμένει η ίδια, ως εάν η αρχική μοναδιαία διαταραχή κλιμακώθηκε σε μία τυπική απόκλιση.

4.15.4 Κατασκευή του πίνακα βαρών της μήτρας εισροών-εκροών (IO)

Για την κατασκευή του πίνακα βαρών που θα χρησιμοποιηθεί στο κλαδικό μοντέλο GVAR, προχωράμε ως εξής:

Κατασκευάζουμε τον πίνακα Q , με διαστάσεις $n \times n$, από τον πίνακα συντελεστών A . Η μήτρα Q έχει την ακόλουθη μορφή:

$$Q = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nn} \end{pmatrix} \quad (4.101)$$

όπου κάθε στοιχείο του Q δίνεται από την έκφραση:

$$x_{ij} = a_{ij}X_j \quad (4.102)$$

όπου το στοιχείο x_{ij} του πίνακα Q εκφράζει το προϊόν του κλάδο i που χρησιμοποιείται από τον κλάδο j , X_j είναι η συνολική παραγωγή του j -οστού κλάδου και το a_{ij} ερμηνεύεται ως η ποσότητα της παραγωγής από τον κλάδο i που απαιτείται για την παραγωγή μιας μονάδας παραγωγής στον κλάδο j . Όπως γνωρίζουμε, για τον πίνακα εισροών-εκροών (Input-Output) Q , τα στοιχεία γραμμής εκφράζουν τις ποσότητες αγαθών και υπηρεσιών, που παρέχονται από έναν κλάδο στον εαυτό του και σε όλους τους άλλους. Ομοίως, τα στοιχεία της στήλης εκφράζουν τις ποσότητες που λαμβάνονται από έναν κλάδο, από τον εαυτό του και από όλους τους άλλους.

Στη συνέχεια, κατασκευάζουμε τον αντίστροφο της μήτρας Q , δηλαδή τον Q^T . Στον πίνακα Q^T , τα στοιχεία γραμμής εκφράζουν τις ποσότητες που λαμβάνονται από έναν κλάδο από τον εαυτό του και από όλους τους άλλους

κλάδους, ενώ τα στοιχεία στήλης εκφράζουν τις ποσότητες που παρέχονται από έναν κλάδο στον εαυτό του και σε όλους τους άλλους. Τώρα, ας ορίσουμε τη μήτρα D ως τη διαφορά μεταξύ της μήτρας Q και της μεταθέσεώς της, Q^T , ή με όρους πινάκων:

$$D \equiv Q - Q^T \quad (4.103)$$

Έτσι, το τυπικό στοιχείο, d_{ij} , της μήτρας D είναι ίσο με:

$$d_{ij} = x_{ij} - x_{ji} \quad (4.104)$$

Κάθε στοιχείο, d_{ij} , μετρά το καθαρό ποσό αγαθών και υπηρεσιών, που κυμαίνεται μεταξύ του ίδιου και του άλλου κλάδου, σε ένα έτος.

Προφανώς, D , είναι ένας πίνακας με μηδενικά στην κύρια διαγώνιο. Σε μορφή μήτρας:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & \dots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{1n} & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (4.105)$$

Δεδομένου ότι, εξ ορισμού, κάθε στοιχείο της κύριας διαγώνιου που δείχνει τις ποσότητες που κάθε κλάδος αποκτά και προμηθεύει στον εαυτό του, οι οποίες, σε ένα γενικό πλαίσιο ισορροπίας, είναι ίσες μεταξύ τους. Προφανώς, το D αντιπροσωπεύει μια ενδο-κλαδική μήτρα ροής.

Μας ενδιαφέρει να κατασκευάσουμε τη λεγόμενη μήτρα βαρών, στο πνεύμα του μοντέλου GVAR σε διεθνές επίπεδο (Pesaran et al., 2004). Επομένως, προχωρούμε ως εξής:

Έστω NQ , είναι ο πίνακας του οποίου το τυπικό στοιχείο, nq_{ij} , δίνεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$nq_{ij} \equiv |d_{ij}| = |x_{ij} - x_{ji}| \quad (4.106)$$

Ένα καθαρό ενδο- κλαδικό βάρος ροής ορίζεται ως ο λόγος των ροών αγαθών και υπηρεσιών μεταξύ κλάδων i και κλάδων j , επί των συνολικών

ροών αγαθών και υπηρεσιών που πραγματοποιούνται από τον κλάδο i . Σε μαθηματικούς όρους:

$$w_{ij} = \frac{nq_{ij}}{\sum_{i=1}^n nq_{ij}} \quad (4.107)$$

Προφανώς, το W είναι ένας πίνακας με μηδενικά στην κύρια διαγώνιο. Η, σε μορφή μήτρας:

$$W = \begin{pmatrix} 0 & \dots & w_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (4.108)$$

αφού, $nq_{ii} = 0$ όπως συζητήθηκε προηγουμένως. Αξίζει να σημειωθεί ότι, $w_{ij} \neq w_{ji}, \forall i \neq j$.

Έτσι, για παράδειγμα, το στοιχείο w_{12} υποδεικνύει τις ροές αγαθών και υπηρεσιών μεταξύ του κλάδου 1 και του κλάδου 2 ως ποσοστό των συνολικών ροών του κλάδου 1.

Τα προτεινόμενα βάρη μπορούν εύκολα να υπολογιστούν από τα δεδομένα που περιέχονται στους Πίνακες ΙΟ και τους Εθνικούς Λογαριασμούς και ο καθαρός ενδο- κλαδικός πίνακας βαρών W είναι άμεσα ανάλογος με τον τυπικό πίνακα βαρών του μοντέλου GVAR.

4.15.5 Ταυτοποίηση των κυρίαρχων μονάδων-οντοτήτων στο δίκτυο

Η κατανομή ιδιοτιμών του μετασχηματισμένου πίνακα ΙΟ εκφράζει τη δυναμική συμπεριφορά όλων των κλάδων που εισέρχονται στην ανάλυση (Brody, 1997). Έστω ότι $\lambda(i)$ δηλώνει τις ιδιοτιμές της μετασχηματισμένης μήτρας που χαρακτηρίζει τις διασυνδέσεις του δικτύου και αφήνει $\lambda(pf) = \lambda(1)$ την κυρίαρχη ή την αποκαλούμενη ιδιοτιμή Perron-Frobenius (P-F) του $n \times n$ πίνακα W . Διαχωρίζουμε τον συντελεστή κάθε ιδιοτιμής με τον συντελεστή ιδιοτιμών PF για να έχουμε την κανονικοποιημένη ιδιοτιμή: $\rho(i) = |\lambda(i)| \cdot |\lambda(pf)|^{-1}, i = 1, \dots, N + K$ $i = 1, \dots, N+K$. Οι

κανονικοποιημένες ιδιοτιμές: $\rho(i)$, $i = 2, \dots, N + K$ είναι οι λεγόμενες μη-επικρατούσες ιδιοτιμές, δεδομένου ότι $\rho(\rho f) = \rho(1) = 1$, είναι η κυρίαρχη.

Ο αριθμός των κυρίαρχων οικονομιών που υποδηλώνεται από τη δομή της οικονομίας, είναι ίσος με i^* , για τον οποίο ισχύει ότι $\rho(i^*) > 0,4-0,3$ περίπου, αφού οι τιμές $\rho(i^*)$ μικρότερες από $0,40-0,30$ θεωρούνται αμελητέες από πρακτική άποψη (Mariolis and Tsoulfidis, 2014).

Στη συνέχεια, με βάση την έννοια της κεντρικότητας (Freeman 1979), εξετάζουμε τρία βασικά θεωρητικά μέτρα, δηλαδή: i) eigenvector centrality, ii) alpha centrality και iii) degree centrality.

(i) Η eigenvector centrality ενός κόμβου, i , αναπτύχθηκε από τον Bonacich (1987) και μπορεί να προσδιορίσει την κεντρική θέση της ισχύος ενός κόμβου, σύμφωνα με τους μακρινούς γείτονες του συγκεκριμένου κόμβου. Δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$EC_i = \lambda^{-1} \sum_{j=1}^N A_{ij} e_j \quad (4.109)$$

Όπου: λ^{-1} είναι το αντίστροφο της ιδιοτιμής Perron-Frobenius της παρακείμενης μήτρας, e_j το αντίστοιχο ιδιοδιάνυσμα, και $A_{ij} = [z_{ij}]$, $i, j \in \{1, \dots, N + K\}$ είναι ο γειτνιακός πίνακας (μήτρα). Προφανώς, οι κυρίαρχοι κλάδοι είναι αυτοί με τις μεγαλύτερες τιμές για την κεντρικότητα των ιδιοδιανυσμάτων.

(ii) Η alpha centrality, με δεδομένη γραφική παράσταση με τον πίνακα γειτνίασης $A_{i,j}$, ορίζεται ως εξής:

$$\vec{x} = (I - \alpha A^T)^{-1} \vec{e} \quad (4.110)$$

Όπου e_j είναι η βαρύτητα που δίνεται στον κόμβο j , και α είναι μια παράμετρος (Bonacich and Lloyd, 2001).

iii) Η degree centrality ενός κόμβου υποδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένος ένας κόμβος με τους άλλους κόμβους του γραφήματος. Βλέπε,

μεταξύ άλλων, Ying et al. (2014) και Bates et al. (2014). Η degree centrality, c_i , κάθε κόμβου δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$c_i = d(i) \sum_{j=1}^N w_{ij} \quad (4.111)$$

Όπου το $d(i)$ είναι ο βαθμός κάθε κόμβου, δηλαδή ο αριθμός των δεσμών με τους υπόλοιπους κόμβους (Fagiolo et al., 2008) και w_{ij} είναι οι αντίστοιχες ροές μεταξύ των διαφόρων κόμβων που προέρχονται απευθείας από τη μήτρα βαρών που κατασκευάστηκε νωρίτερα.

Στο πλαίσιο αυτό, οι κυρίαρχοι κλάδοι είναι αυτοί που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη κεντρικότητα. Ως εκ τούτου, το μεγαλύτερο c_i αντιστοιχεί στον κυρίαρχο κλάδο, ο δεύτερος μεγαλύτερος στον δεύτερο επικρατέστερο, και ούτω καθεξής.

Η παρούσα μεθοδολογία, δημιούργησε ένα νέο πλαίσιο, το οποίο είναι ικανό να εκτιμήσει τις περιφερειακές και κλαδικές αλληλεξαρτήσεις, χωρίς να αγνοεί ούτε τις άμεσες ούτε τις έμμεσες διασυνδέσεις μεταξύ των οντοτήτων, ούτε τη σημασία των αντίστοιχων συγχρόνων επιδράσεων. Επομένως, μπορούμε να πούμε πως η μέθοδος που δημιουργήσαμε, αποτελεί μία καινοτόμα μέθοδο για τον υπολογισμό των έμμεσων διαχύσεων (indirect spillovers).

4.16 Μοντέλο πραγματοποιηθείσας μεταβλητότητας

Η πραγματοποιηθείσα μεταβλητότητα συνήθως χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση δεδομένων υψηλής συχνότητας με έντονες διακυμάνσεις. Για να κατασκευάσουμε τη μηνιαία διακύμανση, ακολουθούμε μια απλή προσέγγιση (Shin, 2018), στην οποία η πραγματοποιηθείσα διακύμανση, RV , είναι το άθροισμα των τετραγώνων των ημερησίων λογαριθμικών δεδομένων. Για μια ημέρα t , υποθέτουμε μια χρονοσειρά ημερησίων παρατηρήσεων με ίσες αποστάσεις και εκτιμούμε την πραγματοποιηθείσα διακύμανση ως

μηνιαία διακύμανση των δεδομένων αυτών. Επομένως, η πραγματοποιηθείσα διακύμανση μιας μεταβλητής X μετράται ως:

$$RV_X = \sum_{t=1}^T \ln (X_{t+1}) - \ln (X_t) \quad (4.112)$$

όπου T είναι ο αριθμός ημερήσιων μέσων τιμών για κάθε μήνα.

4.17 Πηγές και Στοιχεία

Τα δεδομένα οικονομικής δραστηριότητας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή για την Αμερική, αντλήθηκαν από τον οργανισμό Fred St Lewis (<https://fred.stlouisfed.org/>) και από τον οργανισμό Organization of Economic Development - OECD (<https://www.oecd.org/>). Αντίστοιχα, δεδομένα για το Κεφάλαιο (Physical Capital) και για τον αριθμό των εργαζομένων (Number of employees) αντλήθηκαν από τους ίδιους ιστότοπους. Αντίστοιχα, αντλήθηκαν το κλαδικό κεφάλαιο (Physical Capital) και ο κλαδικός αριθμός των εργαζομένων (Number of employees). Στην παρούσα διατριβή, τα δεδομένα που μελετήθηκαν αφορούσαν κατά κύριο λόγο την Αμερικανική οικονομία και δευτερευόντως την Ευρωπαϊκή. Η επιλογή αυτή δεν έγινε τυχαία. Η οικονομία των ΗΠΑ είναι μια κυρίαρχη οικονομία μεταξύ των μεγαλύτερων παγκόσμιων οικονομιών, και αποτελεί σημαντικό υποσύστημα του παγκόσμιου οικονομικού συστήματος. Οποιαδήποτε οικονομική διαταραχή στις ΗΠΑ μπορεί να επηρεάσει έντονα τις υπόλοιπες οικονομίες του κόσμου (Essers, 2013). Πιθανώς το πιο σημαντικό παράδειγμα είναι το γεγονός ότι η αμερικανική κρίση του 2006 εξελίχθηκε σε παγκόσμια οικονομική κρίση. Επιπλέον, η αμερικανική οικονομία χαρακτηρίζεται από αύξηση της παραγωγής κυρίως λόγω της χρήσης της τεχνολογίας των πληροφοριών (Stiroh, 2001).

Συμπληρωματικά, ως μελέτη επέκτασης της περίπτωσης της αμερικανικής οικονομίας, αναλύσαμε τον κλάδο ενημέρωσης και επικοινωνίας της Γαλλίας, μιας από τις πιο ισχυρές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Έτσι, για την περίπτωση αυτή, χρησιμοποιήθηκε η κλαδική παραγωγή ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών (Broadcasting and Telecommunication sectoral output), από τον κλάδο ενημέρωσης και επικοινωνίας (Information sector), και αντλήθηκε από τον ιστότοπο (<https://ec.europa.eu/>) της European Commission.

Για τον χρηματοοικονομικό κλάδο, ο χρηματιστηριακός δείκτης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο NASDAQ's Finance Sector Price Index και αντλήθηκε από τον ιστότοπο Yahoo finance (<https://finance.yahoo.com/>). Η ακριβής ονομασία του δείκτη είναι Financial Select Sector SPDR Fund (XLF) και περιλαμβάνει πληροφορίες για την οικονομική δραστηριότητα σημαντικών χρηματιστηριακών επενδύσεων.

Για την περίπτωση της αγοράς πετρελαίου, χρησιμοποιήθηκαν οι μακρο-οικονομικές μεταβλητές δείκτης τιμών καταναλωτή (consumer price index - CPI), δεκαετής ομόλογο (ten year bond - GS10), οι οποίες εκφράζουν την οικονομική κατάσταση και δραστηριότητα της αμερικανικής οικονομίας. Ο δείκτης αγορών πετρελαίου της Αμερικής (west texas intermediate - WTI), εκφράζει την τιμή του πετρελαίου, όπως αυτή διαμορφώνεται στην αγορά της Αμερικής. Όλα αυτά τα δεδομένα αντλήθηκαν από τον ιστότοπο Fred St Lewis (<https://fred.stlouisfed.org/>).

ΜΕΡΟΣ Β: ΕΜΠΕΙΡΙΚΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

5.1 Επίδραση διαστημικού καιρού στον αμερικανικό κλάδο των τηλεπικοινωνιών

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο δείκτης Dst (που προέρχεται από το http://isgi.unistra.fr/data_download.php) και η κλαδική παραγωγή ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών, από τον κλάδο ενημέρωση και επικοινωνία (<https://fred.stlouisfed.org>), εποχιακά προσαρμοσμένες σε τρέχουσες τιμές. Ο δείκτης Dst λήφθηκε σε ωριαία μορφή και μετατράπηκε σε μηνιαία χρονολογική σειρά, χρησιμοποιώντας σωρευτική άθροιση (cusum). Τα δεδομένα ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών ελήφθησαν σε ετήσια μορφή και μετατράπηκαν σε μηνιαία χρονολογική σειρά (βλέπε Pesaran et al., 2004). Το σύνολο των δεδομένων κυμαίνονται από τον Ιανουάριο του 1996 έως τον Δεκέμβριο του 2014, οπότε και υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία, εξαιρουμένης της περιόδου κρίσης, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει σημαντική στρέβλωση στα αποτελέσματα. Όλα τα οικονομικά στοιχεία προσαρμόζονται εποχιακά, ενώ ο δείκτης Dst, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, συνδέεται στενά με τις παραλλαγές του ηλιακού ανέμου (Temerin et al., 2006). Αυτές οι παραλλαγές συσχετίζονται με την 11-ετή περιοδικότητα του ηλιακού κύκλου (Xystouris et al., 2014). Ο πίνακας 5.1 δείχνει τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των εξεταζομένων δύο σειρών.

Πίνακας 5.1: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τον δείκτη Dst και την παραγωγή ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών (Telecommunications Output).

Μεταβλητές	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Διάμεσος	Ελάχιστο	Μέγιστο
Dst	-10516	7374.60	-9641	-39481	5985
Telecommunications Output	50.90	7.27	51.59	35.49	81.81

Η ανάλυσή μας ξεκίνησε εξετάζοντας τα χαρακτηριστικά στασιμότητας των χρονοσειρών. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2, με βάση το τεστ μοναδιαίας ρίζας των Phillips Perron (PP), και οι δύο χρονοσειρές είναι στάσιμες. Τα ίδια αποτελέσματα προκύπτουν χρησιμοποιώντας το τεστ στασιμότητας KPSS. Επομένως, και οι δύο χρονοσειρές είναι I(0).

Πίνακας 5.2: Τεστ μοναδιαίας ρίζας Phillips Perron και τεστ στασιμότητας KPSS.

Μεταβλητή	PP τεστ	KPSS τεστ	Βαθμός ολοκλήρωσης
Dst	-79.63	0.48	I(0)
Telecommunications Output	-2.25	2.68	I(1)

Στη συνέχεια, ελέγχουμε την ύπαρξη αιτιώδους σχέσης μεταξύ των δύο χρονοσειρών χρησιμοποιώντας το τεστ αιτιότητας κατά Granger. Συγκεκριμένα, ελέγχουμε την υπόθεση ότι ο δείκτης Dst δεν προκαλεί κατά Granger, την παραγωγή των τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ. Ο Πίνακας 5.4 παρουσιάζει τα αποτελέσματα του τεστ. Με βάση τα ευρήματά μας, ο δείκτης Dst προκαλεί κατά Granger την εξέλιξη της τηλεπικοινωνιακής παραγωγής των ΗΠΑ. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η ηλιακή δραστηριότητα έχει επίδραση στην οικονομική δραστηριότητα του τηλεπικοινωνιακού κλάδου.

Πίνακας 5.3: Τεστ αιτιότητας κατά Granger.

Υπόθεση	Βαθμός υστέρησης	F	Pr(>F)	Αιτιότητα
Ο DST δεν προκαλεί κατά Granger την παραγωγή του κλάδου Τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ	16	2.27	$7 \cdot 10^{-3}$	Ναι

Στη συνέχεια, δοκιμάζουμε το τεστ της αιτιώδους σχέσης χρησιμοποιώντας την κατά βήμα (μη) αιτιώδη σχέση των Renault και Dufour για χρονικό ορίζοντα $h = 1, \dots, 24$ (Πίνακας 5.4). Με βάση τα ευρήματά μας (Πίνακας 5.4), ο $Dst \rightarrow$ Παραγωγή τηλεπικοινωνιών, για τους χρονικούς ορίζοντες (μήνες) $h = 17, 20, 21, 22$. Ως εκ τούτου, τα ευρήματά μας, χρησιμοποιώντας την κατά βήμα αιτιότητα των Dufour και Renault, βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματά μας του τεστ αιτιότητας κατά Granger.

Πίνακας 5.4: Renault and Dufour τεστ κατά βήμα αιτιότητας, $h=2, \dots, 24$.

Οριζοντας	Wald statistic	p-value	Αιτιότητα
2	0.65	0.42	Όχι
3	0.95	0.33	Όχι
4	0.73	0.40	Όχι
5	0.64	0.43	Όχι
6	1.24	0.27	Όχι
7	0.38	0.54	Όχι
8	0.48	0.49	Όχι
9	1.07	0.30	Όχι
10	0.08	0.77	Όχι
11	1.56	0.21	Όχι
12	0.25	0.61	Όχι
13	0.93	0.34	Όχι
14	1.82	0.18	Όχι
15	0.07	0.79	Όχι
16	1.66	0.20	Όχι
17	3.30	0.07	Ναι
18	0.58	0.45	Όχι
19	0.02	0.90	Όχι
20	3.08	0.08	Ναι
21	2.81	0.10	Ναι
22	3.79	0.05	Ναι
23	0.17	0.68	Όχι
24	0.59	0.44	Όχι

Έχοντας διαπιστώσει την ύπαρξη αιτιώδους σχέσης μεταξύ της ηλιακής δραστηριότητας, όπως εκφράζεται μέσω του δείκτη Dst, και της οικονομικής δραστηριότητας, όπως εκφράζεται από την παραγωγή του κλάδου των τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ, στη συνέχεια, εξετάζουμε εάν αυτή η αιτιώδης σχέση έχει επίσης συνεισφορά στην πρόβλεψη. Για να γίνει αυτό, μοντελοποιούμε την παραγωγή του κλάδου τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ με χρήση ενός AR(p) μοντέλου, ως βασικό μοντέλο. Το μοντέλο αναφοράς AR(p) χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμήσουμε την εκτός δείγματος προβλεπτική αξία του εναλλακτικού μοντέλου σε $h=1, \dots, 12$ περιόδους μπροστά. Στη συνέχεια, επαυξάνοντας αυτό το μοντέλο σε ένα μοντέλο ARDL με πληροφορία τόσο από την παραγωγή του κλάδου των τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ όσο και από τον δείκτη Dst. Χρησιμοποιήσαμε ένα αυτοπαλίνδρομο μοντέλο κατανεμημένων υστερήσεων ARDL(p, q) ώστε να ελέγξουμε την προβλεπτική ικανότητα των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στη χρονοσειρά μας. Προκειμένου να εξετάσουμε αν τα ηλιακά και γεωμαγνητικά φαινόμενα παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες, ελέγχουμε αν η προβλεπτική ισχύς του μοντέλου μπορεί να βελτιωθεί, επαυξάνοντας το απλό AR(p) σε ARDL(p,q) μοντέλο. Προκειμένου να βρεθεί το καλύτερο μοντέλο της οικογένειας AR, για κάθε χρονικό ορίζοντα, και αντίστοιχα το καλύτερο μοντέλο της οικογένειας ARDL, πάλι για κάθε χρονικό ορίζοντα, χρησιμοποιούμε τα μέτρα πρόβλεψης: μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE), μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (MAPE), και τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης (RMSFE). Στη συνέχεια, για κάθε ορίζοντα πρόβλεψης (1 έως 12 μήνες) συγκρίναμε την ικανότητα πρόβλεψης του καλύτερου μοντέλου AR με το καλύτερο μοντέλο ARDL (του ίδιου χρονικού ορίζοντα). Ο Πίνακας 5.5, παρακάτω, παρουσιάζει το καλύτερο μοντέλο AR (p) για κάθε χρονικό ορίζοντα και ο Πίνακας 5.6 τα αντίστοιχα της οικογένειας ARDL(p,q).

Συνοψίζοντας την διαδικασία που ακολουθήθηκε στην παρούσα ανάλυση, για κάθε χρονικό ορίζοντα $h = 1, \dots, 12$ επιλέχτηκε το βέλτιστο AR υπόδειγμα (από όσα δοκιμάστηκαν) και, αντίστοιχα, για τα ARDL μοντέλα, με βάση τα κριτήρια MAE, MAPE και RMSFE. Έπειτα, συγκρίθηκαν τα

βέλτιστα μοντέλα από κάθε οικογένεια, συγκρίνοντας τα βέλτιστο AR με τα καλύτερα ARDL μοντέλα, πάλι με το ίδιο κριτήριο. Συγκρίνοντας το αυτοπαλίνδρομο μοντέλο αναφοράς (AR) με το αυτοπαλίνδρομο καταναεμημένων υστερήσεων μοντέλο (ARDL), μπορούμε να βρούμε αν τα ηλιακά δεδομένα βοηθούν να προβλέψουμε τη χρονοσειρά που μας ενδιαφέρει (εξαρτημένη μεταβλητή). Έτσι, ελέγχουμε αν το ARDL(p, q) μοντέλο είναι καλύτερο από το μοντέλο αναφοράς AR(p), χρησιμοποιώντας κριτήρια προβλεπτικής ικανότητας. Στην παρούσα έρευνα, η εναλλακτική υπόθεση περιλαμβάνει ένα ARDL(p, q) μοντέλο, το οποίο επίσης περιέχει υστερήσεις των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Πίνακας 5.5: Τα βέλτιστα AR μοντέλα με εκτός δείγματος πρόβλεψη, για κάθε προβλεπτικό ορίζοντα (h=1-12).

Ορίζοντας	MAE	MAPE	RMSFE
1	3.76 AR(2)	6.27 AR(2)	3.76 AR(2)
2	3.24 AR(2)	5.37 AR(2)	3.28 AR(2)
3	2.76 AR(2)	4.55 AR(2)	2.87 AR(2)
4	2.46 AR(2)	4.04 AR(2)	2.61 AR(2)
5	2.22 AR(2)	3.63 AR(2)	2.40 AR(2)
6	1.99 AR(2)	3.25 AR(2)	2.22 AR(2)
7	1.82 AR(1)	2.98 AR(1)	2.08 AR(2)
8	1.70 AR(1)	2.78 AR(1)	1.97 AR(2)
9	1.58 AR(1)	2.57 AR(1)	1.86 AR(2)
10	1.47 AR(1)	2.39 AR(1)	1.78 AR(2)
11	1.37 AR(1)	2.22 AR(1)	1.70 AR(2)
12	1.26 AR(1)	2.05 AR(1)	1.62 AR(2)

Στη συνέχεια, στο ίδιο πλαίσιο, βρίσκουμε το καλύτερο μοντέλο ARDL (p, q) για κάθε ορίζοντα πρόβλεψης εκτός δείγματος, όπου $p = 1$ όπως υποδείχτηκε από το κριτήριο SBIC. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6: Τα βέλτιστα ARDL μοντέλα με εκτός δείγματος πρόβλεψη, για κάθε προβλεπτικό ορίζοντα (h=1-12).

Ορίζοντας	MAE	MAPE	RMSFE
1	0.45 ARDL(1,19)	$8 \cdot 10^{-3}$ ARDL(1,19)	0.45 ARDL(1,19)
2	0.42 ARDL(1,12)	$7 \cdot 10^{-3}$ ARDL(1,12)	0.43 ARDL(1,19)
3	0.60 ARDL(1,20)	10^{-2} ARDL(1,20)	0.65 ARDL(1,18)
4	0.70 ARDL(1,15)	$1.2 \cdot 10^{-2}$ ARDL(1,15)	0.76 ARDL(1,15)
5	0.77 ARDL(1,15)	$1.2 \cdot 10^{-2}$ ARDL(1,15)	0.81 ARDL(1,15)
6	0.87 ARDL(1,15)	$1.4 \cdot 10^{-2}$ ARDL(1,15)	0.93 ARDL(1,15)
7	0.90 ARDL(1,15)	$1.4 \cdot 10^{-2}$ ARDL(1,15)	0.95 ARDL(1,15)
8	0.89 ARDL(1,15)	$1.4 \cdot 10^{-2}$ ARDL(1,15)	0.94 ARDL(1,15)
9	0.91 ARDL(1,15)	$1.5 \cdot 10^{-2}$ ARDL(1,15)	0.95 ARDL(1,15)
10	0.91 ARDL(1,15)	$1.5 \cdot 10^{-2}$ ARDL(1,15)	0.95 ARDL(1,15)
11	0.98 ARDL(1,15)	$1.6 \cdot 10^{-2}$ ARDL(1,15)	1.03 ARDL(1,15)
12	0.99 ARDL(1,15)	$1.6 \cdot 10^{-2}$ ARDL(1,15)	1.04 ARDL(1,15)

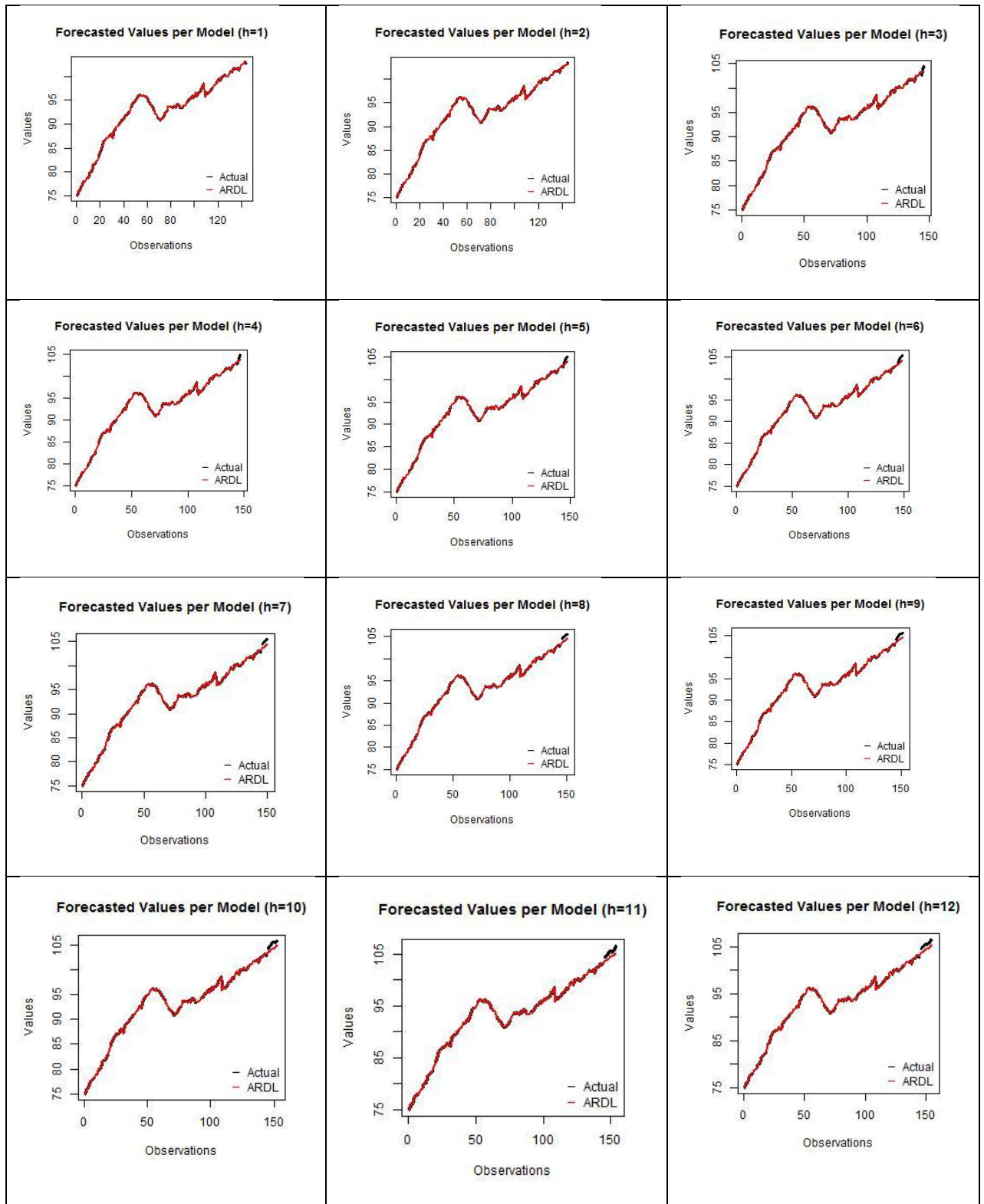
Ο Πίνακας 5.7 παρουσιάζει την αλγεβρική διαφορά μεταξύ του βέλτιστου AR μοντέλου και του βέλτιστου ARDL μοντέλου, για κάθε ορίζοντα πρόβλεψης με εκτός του δείγματος πρόβλεψη, όσον αφορά την ικανότητα πρόβλεψης.

Πίνακας 5.7: Εκτός δείγματος προβλεπτική διαφορά AR και ARDL μοντέλων.

Ορίζοντας	Αλγεβρική Διαφορά: βέλτιστα AR - βέλτιστα ARDL		
	MAE	MAPE	RMSFE
1	3.31	6.26	3.31
2	2.82	5.36	2.85
3	2.16	4.53	2.22
4	1.76	4.03	1.85
5	1.45	3.62	1.59
6	1.12	3.24	1.29
7	0.92	2.97	1.13
8	0.81	2.77	1.03
9	0.67	2.56	0.91
10	0.56	2.38	0.83
11	0.39	2.20	0.67
12	0.27	2.03	0.58

Με βάση τα ευρήματά μας, το βέλτιστο μοντέλο ARDL ξεπερνά το βέλτιστο μοντέλο AR, για κάθε ορίζοντα πρόβλεψης με εκτός του δείγματος πρόβλεψη. Η ικανότητα πρόβλεψης των βέλτιστων μοντέλων ARDL απεικονίζεται στο γράφημα 5.1, όπου παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις των πραγματικών έναντι των προβλεπόμενων τιμών.

Γράφημα 5.1: Εκτός δειγματος πρόβλεψη των βέλτιστων ARDL (p, q) μοντέλων έναντι των πραγματικών τιμών για την παραγωγή του κλάδου τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ.



Συνοψίζοντας, βάσει της εμπειρικής μας ανάλυσης, η ηλιακή δραστηριότητα, όπως εκφράζεται μέσω του δείκτη Dst, παρουσιάζει: (α) προβλεπτική ικανότητα, από την άποψη της αιτιότητας, και (β) ικανότητα πρόβλεψης, στην οικονομική δραστηριότητα του αμερικανικού κλάδου τηλεπικοινωνιών.

5.2 Επίδραση ηλιακού και διαστημικού καιρού στον κλάδο τηλεπικοινωνιών της Γαλλίας

Στο παρόν υποκεφάλαιο, τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε είναι ο δείκτης Dst (<http://isgi.unistra.fr>), ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων (<http://www.sidc.be/silso/datafiles>) και η κλαδική παραγωγή εκπομπών και τηλεπικοινωνιών, από τον κλάδο της ενημέρωσης και επικοινωνίας για τη Γαλλία (<https://ec.europa.eu>). Ο δείκτης Dst λήφθηκε σε ωριαία μορφή, ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων σε ημερήσια μορφή, και τα δύο μετατράπηκαν σε μηνιαίες χρονολογικές σειρές. Τα δεδομένα ραδιοηλεκτρονικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών ελήφθησαν σε μηνιαία μορφή. Το σύνολο των δεδομένων κυμαίνεται από το 2000-M1 έως το 2014-M12, οπότε και υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.8, και οι δύο χρονοσειρές είναι στάσιμες σε πρώτες διαφορές.

Πίνακας 5.8: Phillips-Perron τεστ.

Variable	PP test statistic	Order of Integration
Dst	-173.15	I(1)
Broadcasting & Telecommunication	-207.62	I(1)
Sunspot Number	-192.20	I(1)

Ο Πίνακας 5.9 δείχνει ότι δεν υπάρχουν σχέσεις συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών.

Πίνακας 5.9: Τεστ συνολοκλήρωσης Johansen για τον δείκτη Dst και τις ηλιακές κηλίδες.

Δείκτης Dst

Αριθμός σχέσεων συνολοκλήρωσης	Τεστ	Κρισιμες τιμές για κάθε επίπεδο σημαντικότητας		
		10%	5%	1%
r ≤ 1	6.78	6.50	8.18	11.65
r = 0	48.99	12.91	14.90	19.19

Ηλιακές κηλίδες

Αριθμός σχέσεων συνολοκλήρωσης	Τεστ	Κρισιμες τιμές για κάθε επίπεδο σημαντικότητας		
		10%	5%	1%
r ≤ 1	4.60	6.50	8.18	11.65
r = 0	7.23	12.91	14.90	19.19

Στη συνέχεια, αναζητούμε την κατά βήμα αιτιότητα χρησιμοποιώντας τον έλεγχο Renault και Dufour.

Πίνακας 5.10: Renault and Dufour έλεγχος κατά βήμα αιτιότητας.

Οριζοντας	Dst			Sunspot		
	Wald Statistic	P-value	Causality	Wald Statistic	P-value	Causality
2	3.09	0.08	Ναι	0.38	0.54	Όχι
3	1.72	0.19	Όχι	2.68	0.10	Όχι
4	0.02	0.90	Όχι	2.01	0.16	Όχι
5	0.75	0.39	Όχι	1.03	0.31	Όχι
6	0.91	0.34	Όχι	1.08	0.30	Όχι
7	2.05	0.16	Όχι	1.91	0.17	Όχι
8	0.48	0.49	Όχι	0.15	0.70	Όχι
9	0.85	0.36	Όχι	0.29	0.59	Όχι
10	0.75	0.39	Όχι	0.01	0.93	Όχι
11	1.06	0.30	Όχι	5.66	0.02	Ναι
12	0.01	0.93	Όχι	6.33	0.01	Ναι
13	0.33	0.57	Όχι	1.70	0.20	Όχι
14	0.31	0.58	Όχι	1.23	0.27	Όχι
15	1.34	0.25	Όχι	3.69	0.06	Ναι
16	9.31	0.00	Ναι	1.92	0.17	Όχι
17	2.11	0.15	Όχι	5.26	0.02	Ναι
18	0.82	0.37	Όχι	0.23	0.64	Όχι

Ο Πίνακας 5.10 υποδηλώνει την ύπαρξη αιτιότητας. Τώρα, συγκρίνουμε την ικανότητα πρόβλεψης του βέλτιστου μοντέλου AR με το βέλτιστο μοντέλο ARDL χρησιμοποιώντας το κριτήριο MAPE. Ο Πίνακας 5.11 παρουσιάζει τα αποτελέσματα για τα βέλτιστα AR μοντέλα, ενώ ο

πίνακας 5.12 τα αποτελέσματα για τα βέλτιστα ARDL μοντέλα για την περίπτωση του δείκτη Dst και των ηλιακών κηλίδων.

Πίνακας 5.11: Τα βέλτιστα AR μοντέλα.

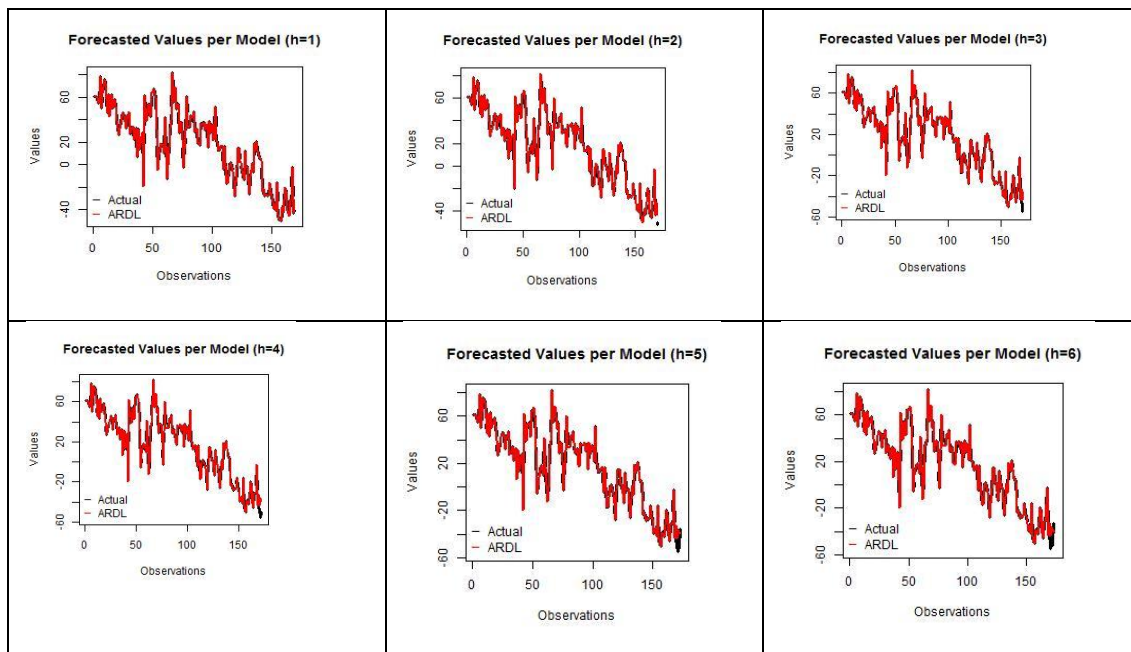
Οριζοντας	Βέλτιστα AR	MAPE
h=1	AR(13)	105.68
h=2	AR(14)	135.97
h=3	AR(18)	103.54
h=4	AR(8)	101.94
h=5	AR(17)	104.85
h=6	AR(7)	100.75
h=7	AR(9)	102.18
h=8	AR(8)	102.46
h=9	AR(8)	101.78
h=10	AR(8)	101.72
h=11	AR(9)	100.21
h=12	AR(9)	100.54

Πίνακας 5.12: Βέλτιστα ARDL μοντέλα με δύο ανεξάρτητες μεταβλητές (δείκτης Dst και ηλιακές κηλίδες).

Οριζοντας	Βέλτιστα ARDL μοντέλα	MAPE
h=1	ARDL(1,5)	1.02
h=2	ARDL(1,5)	1.03
h=3	ARDL(1,5)	1.31
h=4	ARDL(1,1)	1.95
h=5	ARDL(1,1)	1.76
h=6	ARDL(1,1)	1.60
h=7	ARDL(1,1)	1.52
h=8	ARDL(1,1)	1.47
h=9	ARDL(1,1)	1.41
h=10	ARDL(1,1)	1.37
h=11	ARDL(1,1)	1.32
h=12	ARDL(1,1)	1.34

Με βάση τα ευρήματά μας, τα βέλτιστα μοντέλα ARDL έχουν καλύτερη ικανότητα πρόβλεψης από τα βέλτιστα μοντέλα AR, για κάθε εκτός του δείγματος οριζοντα πρόβλεψης, καθώς έχουν μικρότερο MAPE. Η ικανότητα πρόβλεψης των βέλτιστων μοντέλων ARDL παρουσιάζεται στο γράφημα 5.2, όπου τα διαγράμματα των πραγματικών έναντι των προβλεπόμενων τιμών απεικονίζονται για έξι (6) ορίζοντες.

Γράφημα 5.2: Εκτός δείγματος πρόβλεψη των βέλτιστων μοντέλων ARDL (p, q) έναντι των πραγματικών (παρατηρούμενων) τιμών για την παραγωγή του κλάδου τηλεπικοινωνιών της Γαλλίας.



Επομένως, τα αποτελέσματα, δείχνουν ότι ο δείκτης Dst και ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων επηρεάζουν την τηλεπικοινωνιακή παραγωγή της Γαλλίας. Ο δείκτης Dst και ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων μπορούν να παράσχουν σημαντικές πληροφορίες για την παραγωγή τηλεπικοινωνιών της Γαλλίας. Επίσης, με βάση τα αποτελέσματα των προβλέψεων για κάθε χρονικό ορίζοντα, η σύγκριση των αποτελεσμάτων των κριτηρίων MAE, MAPE και RMSFE για τα καλύτερα μοντέλα AR (p) και ARDL ($1, q$) έδειξε ότι το ARDL ($1, q$) παρέχει την καλύτερη πρόβλεψη, γεγονός που σημαίνει ότι ο δείκτης Dst και ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων παρέχουν πληροφορία και για την πρόβλεψη της γαλλικής τηλεπικοινωνιακής παραγωγής. Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την επίδραση των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στην παραγωγή τηλεπικοινωνιών της Γαλλίας.

5.3 Επίδραση ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων ταυτόχρονα, στην παραγωγή των τηλεπικοινωνιών και χρηματοοικονομικών υπηρεσιών των ΗΠΑ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση αυτού του κεφαλαίου ήταν ηλιακά και οικονομικά δεδομένα. Τα ηλιακά και γεωμαγνητικά δεδομένα περιλαμβάνουν το δείκτη Dst, τα οποία αντλήθηκαν από το http://isgi.unistra.fr/data_download.php, και τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων, τα οποία αντλήθηκαν από το <http://www.sidc.be/silso/datafiles>. Τα οικονομικά στοιχεία περιλαμβάνουν την κλαδική παραγωγή ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών από τον κλάδο ενημέρωσης και επικοινωνίας (<https://fred.stlouisfed.org>) εποχιακά προσαρμοσμένα σε τρέχουσες τιμές, το κεφάλαιο αυτού του κλάδου (που προέρχεται από https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE8) και τον αριθμό των εργαζομένων, επίσης αυτού του κλάδου (που προέρχονται από την ιστοσελίδα <https://fred.stlouisfed.org/series/CEU5051700001>). Επίσης, περιλαμβάνονται η χρηματοοικονομική παραγωγή του κλάδου χρηματοπιστωτικών και ασφαλιστικών δραστηριοτήτων (<https://fred.stlouisfed.org>) προσαρμοσμένη εποχιακά σε τρέχουσες τιμές, το κεφάλαιο αυτού του κλάδου (που προέρχεται από https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE8) και τον αριθμό των εργαζομένων του κλάδου αυτού (που προέρχονται από το <https://fred.stlouisfed.org/series/USFIRE>). Ο δείκτης Dst λήφθηκε σε ωριαία μορφή και μετατράπηκε σε μηνιαία χρονολογική σειρά. Οι εκπομπές ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών και χρηματοοικονομική παραγωγή, ελήφθησαν σε ετήσια μορφή και μετατράπηκαν σε μηνιαία χρονολογική σειρά (βλέπε Pesaran et al., 2004). Ο αριθμός των εργαζομένων, για κάθε κλάδο, αντλήθηκε σε μηνιαία μορφή. Το σύνολο των δεδομένων κυμαίνεται από τον Ιανουάριο του 2000 έως τον Δεκέμβριο του 2014, οπότε υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Το σύνολο των δεδομένων περιλαμβάνει δύο εξαρτημένες μεταβλητές (μία για την εκπομπή ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών

και μία για τη χρηματοοικονομική παραγωγή), αντίστοιχα. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές, είναι το κεφάλαιο (για κάθε κλάδο), ο αριθμός των εργαζομένων (για κάθε κλάδο), ο δείκτης Dst και ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων. Δεδομένου ότι το σύνολο των δεδομένων μας περιλαμβάνει την οικονομική κρίση, χρησιμοποιούμε μια ψευδο-μεταβλητή (dummy) για την περίοδο Ιανουάριος 2006 - Ιανουάριος 2009.

Έστω Y_1 και Y_2 οι εξαρτημένες μεταβλητές (παραγωγή τηλεπικοινωνιών, και χρηματοοικονομική παραγωγή, αντίστοιχα). Έστω K_1 και K_2 το κεφάλαιο του αντίστοιχου κλάδου, και L_1 και L_2 να είναι ο αντίστοιχος αριθμός εργαζομένων. Αρχικά διαιρούμε κάθε εξαρτημένη μεταβλητή με τον αριθμό των εργαζομένων σε κάθε κλάδο. Θεωρούμε τη συνάρτηση παραγωγής Cobb Douglas με σταθερές αποδόσεις κλίμακας για κάθε κλάδο. Επιπλέον, επαυξάνουμε κάθε συνάρτηση παραγωγής με τις ηλιακές μεταβλητές του δείκτη Dst και του αριθμού των ηλιακών κηλίδων, ενώ χρησιμοποιούμε επίσης μια ψευδο-μεταβλητή για να συμπεριλάβουμε στην έρευνά μας, την κρίση του 2006-2009. Οι εξισώσεις που ακολουθούν συνοψίζουν τη μέθοδο μοντελοποίησης.

Στηριζόμενοι στη συνάρτηση παραγωγής Cobb - Douglas, η σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και των εξαρτημένων μπορεί να περιγραφεί ως:

$$Y_1 = A_1(L_1)^{a_1}(K_1)^{1-a_1} e^{b_1Dst} e^{c_1Sunspot} e^{d_1Dummy} \quad (5.1)$$

Όμοια,

$$Y_2 = A_2(L_2)^{a_2}(K_2)^{1-a_2} e^{b_2Dst} e^{c_2Sunspot} e^{d_2Dummy} \quad (5.2)$$

Διαιρώντας με L_1 and L_2 αντίστοιχα, έχουμε:

$$\begin{aligned} \frac{Y_1}{L_1} &= A_1 \frac{(L_1)^{a_1}}{(L_1)^{1-a_1}} \frac{(K_1)^{1-a_1}}{(L_1)^{a_1}} e^{b_1Dst} e^{c_1Sunspot} e^{d_1Dummy} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{Y_1}{L_1} &= A_1 \left(\frac{K_1}{L_1}\right)^{1-a_1} e^{b_1Dst} e^{c_1Sunspot} e^{d_1Dummy} \quad (5.3) \end{aligned}$$

$$\frac{Y_2}{L_2} = A_2 \frac{(L_2)^{a_2}}{(L_2)^{1-a_2}} \frac{(K_2)^{1-a_2}}{(L_2)^{a_2}} e^{b_2Dst} e^{c_2Sunspot} e^{d_2Dummy} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{Y_2}{L_2} = A_2 \left(\frac{K_2}{L_2}\right)^{1-a_2} e^{b_2Dst} e^{c_2Sunspot} e^{d_2Dummy} \quad (5.4)$$

Χρησιμοποιώντας λογαριθμικό μετασχηματισμό στις (5.3) και (5.4), λαμβάνουμε τις εξισώσεις:

$$\ln\left(\frac{Y_1}{L_1}\right) = \ln(A_1) + (1 - a_1)\ln\left(\frac{K_1}{L_1}\right) + b_1Dst + c_1Sunspot + d_1Dummy$$

$$+ e_1 \quad (5.5)$$

$$\ln\left(\frac{Y_2}{L_2}\right) = \ln(A_2) + (1 - a_2)\ln\left(\frac{K_2}{L_2}\right) + b_2Dst + c_2Sunspot + d_2Dummy + e_2 \quad (5.6)$$

όπου e_1 και e_2 είναι τα σφάλματα της κάθε εξίσωσης παλινδρόμησης.

Χρησιμοποιούμε τη μεθοδολογία των φαινομενικά ασυσχέτιστων παλινδρομήσεων (Seemingly unrelated regressions - SURE), έτσι ώστε να αποφευχθεί η συσχέτιση μεταξύ των όρων σφάλματος που θα επηρέαζαν τα αποτελέσματα.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.13, το σύστημά μας πρέπει πράγματι να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία SURE καθώς τα κατάλοιπα των δύο εξισώσεων είναι σχεδόν τέλεια συσχετισμένα.

Πίνακας 5.13: Πίνακας συσχέτισης των καταλοίπων.

Συσχετίσεις των καταλοίπων	Εξίσωση 1	Εξίσωση 2
Εξίσωση 1	1	0.95
Εξίσωση 2	0.95	1

Επίσης, με βάση τον Πίνακα 5.14, τα στατιστικά κριτήρια υποδεικνύουν ότι το κριτήριο R^2 του συστήματος (McElroy- R^2) είναι καλύτερο από οποιοδήποτε από τα R^2 (R^2 και Adj R^2) των εξισώσεων, πράγμα που σημαίνει ότι το

σύστημα που εκτιμάται με τη μεθοδολογία SURE δίνει καλύτερα αποτελέσματα από την εκτίμηση της καθεμιάς εξίσωσης ξεχωριστά.

Πίνακας 5.14: Στατιστικά μέτρα προσαρμογής του μοντέλου SURE.

Στατιστικά αποτελέσματα	N	DF	SSR	OLS-R2	R2 Εξίσωσης 1	R2 Εξίσωσης 2	McElroy-R2
Σήσημα	358	348	5.43	0.703	0.75	0.47	0.78

Ο Πίνακας 5.15 παρουσιάζει τους συντελεστές εξίσωσης και στις παρενθέσεις την αντίστοιχη τιμή t-stat.

Πίνακας 5.15: Στατιστικά αποτελέσματα του μοντέλου SURE.

Ανεξάρτητη μεταβλητή	Τηλεπικοινωνίες	Χρηματοοικονομία
ln (K/L)	0.54 (22.79)	0.28 (13.54)
Dummy	-0.18 (-5.80)	-0.08 (-3.43)
Sunspot No	-4.01*10 ⁻⁵ (-5.42)	-3.72*10 ⁻⁵ (-7.20)
Dst	5.58*10 ⁻⁶ (3.41)	3.99*10 ⁻⁶ (3.55)
(Intercept)	3.94 (32.23)	4.77 (80.86)

Οι εξισώσεις που σχηματίζονται είναι οι εξής:

$$\ln\left(\frac{Y_1}{L_1}\right) = 3.94 + 0.544\ln\left(\frac{K_1}{L_1}\right) + 5.58 * 10^{-6} Dst - 4.01 * 10^{-5} Sunspot - 0.18Dummy + \varepsilon_1 \quad (5.7)$$

$$\ln\left(\frac{Y_2}{L_2}\right) = 4.77 + 0.28\ln\left(\frac{K_2}{L_2}\right) + 3.99 * 10^{-6} Dst - 3.72 * 10^{-5} Sunspot - 0.08Dummy + \varepsilon_2 \quad (5.8)$$

Με βάση τα αποτελέσματα της εξίσωσης (5.7) μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει μια θετική και στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων: κεφάλαιο του κλάδου των τηλεπικοινωνιών και του δείκτη Dst. Επιπρόσθετα, παρατηρούμε μια αρνητική και στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και του αριθμού των ηλιακών κηλίδων αλλά και της ψευδομεταβλητής. Αυτά τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι η ηλιακή δραστηριότητα έχει στατιστικά σημαντικό αντίκτυπο στην παραγωγή τηλεπικοινωνιών.

Ομοίως, με βάση τα αποτελέσματα της εξίσωσης (5.8) μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει μια θετική και στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων: κεφάλαιο του κλάδου χρηματοοικονομικής καθώς και του δείκτη Dst. Επιπρόσθετα, παρατηρούμε μια αρνητική και στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και του αριθμού των ηλιακών κηλίδων και της ψευδομεταβλητής. Αυτά τα ευρήματα μας, δείχνουν ότι η ηλιακή δραστηριότητα έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη χρηματοοικονομική παραγωγή.

Σύμφωνα με μια κατηγοριοποίηση των Troshichev et al. (2011), η ένταση της μαγνητικής καταιγίδας μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με αρνητικές τιμές δείκτη Dst, με εύρος από μικρές (δηλ. -30) έως μεγάλες (δηλ. -373). Όσο μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη Dst, τόσο πιο ακραίες είναι οι διαστημικές καιρικές επιπτώσεις. Η θετική τιμή, όπως υποδεικνύεται από τις σχέσεις (5.7) και (5.8) του συντελεστή του δείκτη Dst, δείχνει ότι μεγαλύτερες τιμές του δείκτη Dst, ή πιο αναλυτικά, ομαλότερη ηλιακή δραστηριότητα, οδηγούν σε υψηλότερες τιμές στην παραγωγή ραδιοηλεκτρονικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών αλλά και της αμερικανικής χρηματοπιστωτικής παραγωγής, αντίστοιχα. Με άλλα λόγια, η ακραία ηλιακή δραστηριότητα, ποσοτικοποιημένη ως πολύ χαμηλή τιμή δείκτη Dst, οδηγεί σε χαμηλές

εκπομπές ραδιοηλεκτρονικών εκπομπών και τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ και σε χαμηλή χρηματοπιστωτική παραγωγή.

Ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων είναι επίσης ένας τρόπος ποσοτικοποίησης της ηλιακής δραστηριότητας. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ηλιακή δραστηριότητα μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων, καθώς σχετίζεται με τον αριθμό και την ένταση διάφορων ηλιακών φαινομένων (Ahlwalia, 2018). Αναλυτικότερα, μεγαλύτερος αριθμός ηλιακών κηλίδων υποδεικνύει υψηλότερη ηλιακή δραστηριότητα. Ο αρνητικός συντελεστής του αριθμού των ηλιακών κηλίδων στις εξισώσεις (5.7) και (5.8) δείχνει αρνητική επίδραση μεταξύ του αριθμού των ηλιακών κηλίδων και της παραγωγής τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ, καθώς επίσης και της χρηματοοικονομικής παραγωγής των ΗΠΑ, αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι οι υψηλότερες τιμές του αριθμού των ηλιακών κηλίδων, που υποδεικνύουν την υψηλή ηλιακή δραστηριότητα, οδηγούν σε μείωση της παραγωγής τηλεπικοινωνιών στις ΗΠΑ και της αντίστοιχης χρηματοοικονομικής παραγωγής των ΗΠΑ, λόγω των ζημιών που προκαλεί.

Συνοψίζοντας, βάσει της εμπειρικής ανάλυσης, η ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα, όπως εκφράζεται μέσω του δείκτη Dst και του αριθμού των ηλιακών κηλίδων, έχει στατιστικά σημαντική επίπτωση στην παραγωγή τηλεπικοινωνιών και στη χρηματοοικονομική, αντίστοιχα, κατά την περίοδο 2000-2014.

5.4 Μοντελοποίηση κλαδικών διαχύσεων (spillovers) στην οικονομία των ΗΠΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο, μοντελοποιήσαμε τις διαχύσεις μεταξύ της κλαδικής οικονομίας των ΗΠΑ χρησιμοποιώντας ένα πλαίσιο γενικής ισορροπίας δικτύου, ενώ παράλληλα επεκτείναμε την επιλογή μοντέλων που προτάθηκαν από τους Pesaran και Yang (2016), χρησιμοποιώντας μια διαδικασία GVAR που λειτουργεί ως μια ευρύτερη άπειρη προσέγγιση της διαδικασίας. Βάσει αυτής της προσέγγισης, ελέγξαμε τη δυναμική μεταξύ των αμερικανικών κλάδων και το πρότυπο χρονισμού. Στο πλαίσιο αυτό, η διατριβή εκτιμά: (α) τον κυρίαρχο κλάδο στο μοντέλο, (β) τη σχέση μεταξύ των διακυμάνσεων της παραγωγής, της εργασίας και της κατανάλωσης στην κλαδική οικονομία των ΗΠΑ, με βάση ένα δίκτυο κλάδων που αλληλεπιδρούν σε ένα πλαίσιο γενικής ισορροπίας, χρησιμοποιώντας τις διεθνείς εμπορικές και χρηματοοικονομικές μεταβλητές, οι οποίες δρουν ως κανάλια μετάδοσης.

Μοντέλο Γενικής Ισορροπίας:

Έχοντας περιγράψει νωρίτερα τη δομή του δικτύου και τις βασικές του ιδιότητες, συνεχίζουμε με την ανάλυση της γενικής δομής ισορροπίας του δικτύου, θέτοντας τα βασικά βήματα. Με βάση την ερευνητική εργασία των Konstantakis et al. (2017) και ακολουθώντας το έργο των Pesaran and Yang (2016), στηριζόμενοι στους Acemoglu et al. (2012), υποθέτουμε ότι κάθε κλάδος παράγει ένα αγαθό, ενώ η παραγωγική διαδικασία χαρακτηρίζεται από μια συνάρτηση παραγωγής Cobb-Douglas, της μορφής:

$$x_{it} = e^{a_{ii}v_{it}} l_{it}^{a_{ii}} \prod_{j=1}^{m-1} x_{ij,t}^{a_{ij}w_{ijt}}, i = 1, \dots, N, t \in T \quad (5.9)$$

Όπου: $t = 1, \dots, T$ δηλώνει τη χρονική διάσταση, x_{it} η παραγωγή του κάθε κλάδου i , $i = 1, \dots, N, a_{ij}$, $j, i = 1, \dots, N$ είναι οι ελαστικότητες της παραγωγής, τέτοιες ώστε: $\sum_{j=1}^J a_{ij} = 1$, η παραγωγή κάθε κλάδου χαρακτηρίζεται από σταθερές αποδόσεις κλίμακας, $a_{ij}w_{ijt} \geq 0, \forall t \in T$ είναι το μερίδιο j -οστού αγαθού, το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή

του i – οστού κλάδου (ενδιάμεσο προϊόν) και v_{it} είναι μια διαταραχή της παραγωγής¹ για τον κλάδο $i \in I$, ο οποίος αποτελείται από μια ειδική κλαδική διαταραχή ε_{it} , και έναν κοινό τεχνολογικό παράγοντα f_t .

Επιπρόσθετα, θεωρούμε ότι κάθε κλάδος (κόμβος) έχει προικοδοτηθεί με μία μονάδα ανελαστικής εργασίας, και έχει Cobb-Douglas προτιμήσεις στα N αγαθά που παράγονται στο δίκτυο.

$$u_{it}(c_{1t}, \dots, c_{Nt}) = A \prod_{i=1}^N c_{it}^{1/m}, i = 1, \dots, N \quad (5.10)$$

Επομένως, σε αυτό το πλαίσιο, τα αγαθά που παράγονται στο δίκτυο, μπορούν να είναι είτε τελικά αγαθά, c_{it} , ή ενδιάμεσα αγαθά, x_{ijt} , τα οποία χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία, τουλάχιστον ενός κλάδου.

Η εξίσωση (5.10) χρησιμοποιείται για τον ορισμό, αναφορικά με το πλήθος των τελικών αγαθών του δικτύου, ως:

$$c_{it} = x_{it} - \sum_{j=1}^N x_{ijt} \quad (5.11)$$

Στο πλαίσιο γενικής ισορροπίας, υποθέτουμε ότι η αγορά εργασίας εκκαθαρίζεται:

$$l_t = \sum_{i \in I} l_{it} \quad (5.12)$$

Σε αυτό το πλαίσιο, η λύση ανταγωνιστικής ισορροπίας για ένα δεδομένο διάνυσμα τιμών, $p = (p_{1t}, \dots, p_{Nt})$ και ένα ποσοστό μισθών ορισμένο ως H_t δίνεται από:

$$x_{ijt} = \frac{a_{ij} w_{ij} p_{it}}{p_{jt}} \quad (5.13)$$

και

$$l_{it} = \frac{a_{ii} p_{it} x_{it}}{H_t} \quad (5.14)$$

¹ Με οικονομετρικούς όρους, η σχέση είναι: $v_{it} = \varepsilon_{it} + \gamma_i f_t$ όπου: γ_i είναι ένας παράγοντας που εκφράζει τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει κάθε κλάδο i , $i = 1, \dots, N$.

Επομένως, αντικαθιστώντας στην εξίσωση (5.9) την παραπάνω έκφραση και απλοποιώντας, λαμβάνουμε:

$$p_{it} = a_{ij} \sum_{j=1}^M w_{ij} p_{jt} + a_{ii} h_t - b_i - a_{ii} (\varepsilon_{it} + \gamma_i f_t) \quad (5.15)$$

Όπου: $p_{it} = \ln(P_{it})$, $h_t = \ln(H_t)$

και: $b_i = a_{ii} \ln(a_{ii}) + a_{ij} \ln(a_{ij}) + a_{ij} \sum_{i \in I} w_{ij} \ln(w_{ij})$

Ξαναγράφοντας την εξίσωση (5.15), σε μορφή μητρών έχουμε:

$$\mathbf{p}_t = a_{ii} h_t \mathbf{I} \mathbf{O} \mathbf{1} + a_{ii} \mathbf{I} \mathbf{O} \mathbf{u}_t \quad (5.16)$$

Όπου: $\mathbf{I} \mathbf{O} = [\mathbf{I} - a_{ij} \mathbf{W}']^{-1}$, $\mathbf{u}_t = -a_{ii}^{-1} \mathbf{b} + \gamma f_t + \boldsymbol{\varepsilon}_t$, και $\mathbf{1}$ είναι διάνυσμα μονάδων.

Το σύστημα τιμών που περιγράφηκε στην εξίσωση (5.16) χαρακτηρίζει ένα κλαδικό δικτυακό σύστημα όπου κάθε κλάδος αναπαρίσταται από έναν κόμβο, ενώ οι διασυνδέσεις μεταξύ των κλάδων, πχ ακμές, αναπαριστώνται από τον ανάστροφο πίνακα Leontief. Σε αυτό το πλαίσιο, \mathbf{u}_t , εξαρτάται από τις συνιστώσες της παραγωγικής διαταραχής για κάθε κλάδο, υπονοώντας ότι αυτές οι διαταραχές έχουν ρητά μοντελοποιηθεί στην εξίσωση ισορροπίας τιμών.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι Pesaran and Yang (2016) προτείνουν να γραφεί αυτή η εξίσωση τιμών στην (5.15) ως ένα χωρικό διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο (SAR), της μορφής:

$$\mathbf{y}_t = a_{ij} \mathbf{W} \mathbf{y}_t - \mathbf{b}(a_{ij}, \mathbf{W}) - a_{ij} (\gamma f_t + \boldsymbol{\varepsilon}_t) \quad (5.17)$$

όπου: $\mathbf{y}_t = \mathbf{p}_t - \mathbf{H}_t \mathbf{1}$

το οποίο αντιπροσωπεύει ένα SAR(1) μοντέλο με έναν μη παρατηρήσιμο κοινό παράγοντα (μεταβλητές), όπου οι τιμές που μας ενδιαφέρουν καταγράφονται από το διάνυσμα \mathbf{b} και εξαρτώνται από τον πίνακα βαρών \mathbf{W} και από τα a_{ij} . Σε αυτό το πλαίσιο, το \mathbf{y}_t εκφράζεται από το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) βασιζόμενοι στη σχετική βιβλιογραφία.

Επιπρόσθετα, προτείνουμε μια πιο γενική αναπαράσταση του συστήματος τιμών το οποίο περιγράφηκε στην εξίσωση (5.17), χρησιμοποιώντας ένα παγκόσμιο αυτοπαλίνδρομο μοντέλο (GVAR), έτσι ώστε να εκτιμήσουμε απευθείας την επίδραση του κάθε κλάδου (κόμβου) του συστήματος, στους υπόλοιπους κλάδους (κόμβους).

Το μοντέλο VARX για κάθε κλάδο (κόμβο) στο σύστημα, παρουσιάζεται με την ακόλουθη δομή:

$$y'_{i,t} = a_{i0} + \Phi(L_1)y'_{j,t} + \Phi(L_2)y'_{i,t}^* + \Phi(L_3)g'_{i,t} + u_{i,t}, \quad j \in \{1, \dots, N, N+1, \dots, N+k\} \quad (5.18)$$

όπου: a_{i0} είναι ένα $(1 \times m)$ διάνυσμα m σταθερών όρων, $y'_{i,t} = [y_{i_1,t}, \dots, y_{i_m,t}]$ ο ανάστροφος του $(1 \times m)$ διανύσματος $y_{i,t}$ με m μεταβλητές για κάθε κλάδο $i = 1, \dots, N$ εκφράζοντας τις κλαδικές ειδικές μεταβλητές, $y'_{j,t} = [y_{i_1,t}, \dots, y_{i_m,t}, y_{i_{k_1},t}, \dots, y_{i_{k_m},t}, \dots, y_{i_{k_K},t}, \dots, y_{i_{k_K},t}]$ δηλώνει τον ανάστροφο του $((m + Km) \times 1)$ διανύσματος ενδογενών μεταβλητών. Οι m ενδογενείς μεταβλητές επεκτείνονται από τις km μεταβλητές των κυρίαρχων οντοτήτων, και $\Phi(L_1)$ είναι ο $((m + Km) \times L_1)$ πίνακας των πολυωνυμικών υστερήσεων, $y'_{i,t}^* = [y_{i_1,t}^*, \dots, y_{i_m,t}^*]$ δηλώνει τον ανάστροφο του $(m \times 1)$ διανύσματος $y^*_{i,t}$ των m αλλοδαπών μεταβλητών για κάθε κλάδο $i = 1, \dots, N - 1$ και $\Phi(L_2)$ είναι ένας $(m \times L_2)$ πίνακας των πολυωνυμικών υστερήσεων; $g'_{i,t} = [g_{i_1}, \dots, g_{i_p}]$ τον ανάστροφο ενός $(p \times 1)$ διανύσματος των p παγκόσμιων μεταβλητών για κάθε κλάδο $i = 1, \dots, N$ ενώ $\Phi(L_3)$ είναι ένας $(p \times L_3)$ πίνακας πολυωνύμου υστερήσεων. Γενικά, m και p μπορούν να είναι διαφορετικά μεταξύ των κλάδων.

Το μοντέλο GVAR για κάθε μη κυρίαρχο κλάδο έχει τη μορφή:

$$y_{i,t} = \Delta_i z_{\xi,t} + v_i', \quad i = 1, \dots, N \quad (5.19)$$

Ενώ το GVAR για τους $k = 1, \dots, K$ κυρίαρχους κλάδους έχει τη μορφή:

$$y_{k,t} = \Delta_k z_{\zeta,t} + v_k', \quad k = 1, \dots, K \quad (5.20)$$

Οι εξισώσεις (5.19) και (5.20) υπολογίζονται ακολουθώντας τους Pesaran *et al.* (2004), και αυτές οι εξισώσεις συνθέτουν ένα GVAR μοντέλο με κυρίαρχες οντότητες.

Η ταξινόμησή μας, στο παρόν κεφάλαιο, βασίζεται στην αντίστοιχη ταξινόμηση των ΗΠΑ από το Γραφείο Στατιστικών Εργασίας (BLS) (2014) και την Καναδική ταξινόμηση από την Καναδική Στατιστική Υπηρεσία (2012). Για τη λεπτομερέστερη ταξινόμηση, τα δεδομένα παρουσιάζονται στον πίνακα 5.16. Χρησιμοποιούμε μια οκτατομεακή ταξινόμηση της αμερικανικής οικονομίας επειδή: (i) αποφεύγει μεγάλες απαιτήσεις δεδομένων, ένα χαρακτηριστικό που είναι ιδιαίτερα επιθυμητό για τη φύση της εργασίας μας, (ii) αποφεύγει τη μεγάλη υπολογιστική πολυπλοκότητα που σχετίζεται με την ήδη βαριά δομή της οικονομετρικής αναπαράστασης του μοντέλου GVAR, (iii) παρέχει μια συνοπτική αναπαράσταση της οικονομίας της χώρας και (iv) είναι συνεπής με τα ευρήματα άλλων ερευνητών που υπογραμμίζουν την ανάγκη για συνοπτικές μορφές ταξινόμησης της αμερικανικής οικονομίας. Σε αυτό το πλαίσιο, οι οκτώ (8) κλάδοι που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση μας θεωρούνται κάθετα ολοκληρωμένοι τομείς ή "υπερ-βασικές" βιομηχανίες βασισμένες στους Mariolis και Tsoulfidis (2014).

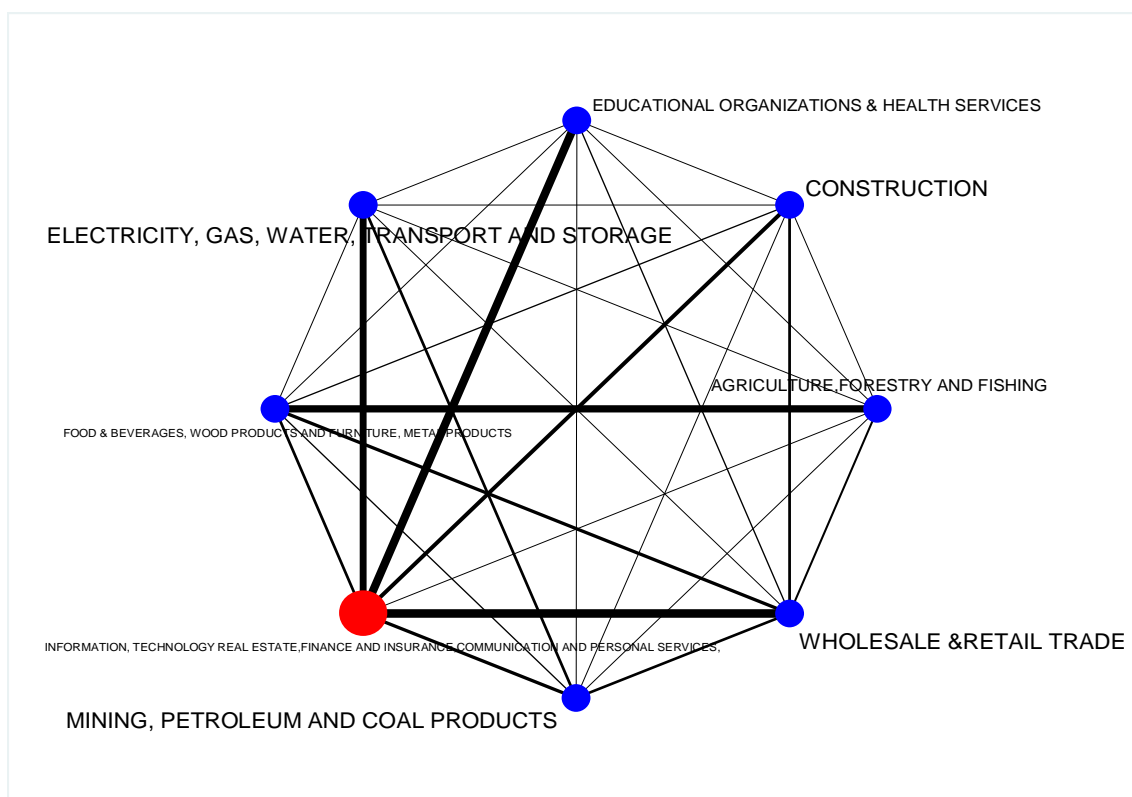
Πίνακας 5.16: Ταξινόμηση κλάδων.

Κλάδοι Οικονομία ΗΠΑ		
Κλάδος	Περιγραφή	NACE Ταξινόμηση
1	ΓΕΩΡΓΙΑ, ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΛΙΕΙΑ	A01, A02, A03
2	ΟΡΥΧΕΙΑ ΚΑΙ ΛΑΤΟΜΕΙΑ	B, C10-C12, C13-C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C31-C32, C33
3	ΠΑΡΟΧΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ, ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ, ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	D, E36, E37-E39, H49, H50, H51, H52, H53
4	ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	F
5	ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ	I
6	ΧΟΝΔΡΙΚΟ ΚΑΙ ΛΙΑΝΙΚΟ ΕΜΠΟΡΙΟ, ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΤΟΣΙΚΛΕΤΩΝ	G45, G46, G47
7	ΧΡΗΜΑΤΟΠΙΣΤΩΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ, ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ, ΑΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	J58, J59-J60, J61, J62-J63, S95, K64, K65, K66, L, L68A, M71, M72, N77, M73, M74-M75, N79, N80-N82, O, Q87-Q88, R90-R92, R93, S94, S96, T, U, M69-M70, N78
8	ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ, ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΜΕΡΙΜΝΑ	P, Q86

Προκειμένου να εκτιμήσουμε τη γενική εξίσωση τιμών ισορροπίας του συστήματος δικτύου, χρησιμοποιούμε τα τριμηνιαία στοιχεία για την περίοδο 1992-2015. Για την εκτίμηση της εξίσωσης τιμών γενικής ισορροπίας, στο πνεύμα των Long και Plosser (1983), χρησιμοποιούμε τρεις (3) κλαδικές μεταβλητές: Παραγωγή (Y), Εργασία (L) και Κατανάλωση (C) που ελήφθησαν από το Γραφείο Οικονομικής Δραστηριότητας (BEA) και το Γραφείο Στατιστικής Εργασίας (BLS), αντίστοιχα. Όσον αφορά τις «παγκόσμιες» (global) μεταβλητές, χρησιμοποιούμε τις συνολικές αξίες (i) του Παγκόσμιου Εμπορίου και (ii) της παγκόσμιας πίστωσης (Global Credit), σε εκατομμύρια δολάρια, σε σταθερές τιμές 2005 από την Παγκόσμια Τράπεζα Δεδομένων (World Data Bank). Λόγω του ανοικτού χαρακτήρα της οικονομίας των ΗΠΑ, χρησιμοποιήσαμε μήτρες IO, οι οποίες περιέχουν πληροφορίες τόσο για εγχώριες όσο και για εισαγόμενες εισροές, οι οποίες είναι συνεπείς με τις εργασίες που έγιναν στο αρχικό μοντέλο GVAR. Οι αντίστροφες μήτρες Leontief για τις ΗΠΑ είναι αυτές των ετών 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 και προέρχονται από τη βάση δεδομένων του OECD (STAN). Όλες οι μεταβλητές εκφράζονται σε σταθερές τιμές του 2005. Για λόγους εκτίμησης, κατασκευάσαμε τις τριμηνιαίες χρονικές μεταβλητές μήτρες W_t , χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Sequential Interindustrial, με βάση την εργασία των Romanoff και Levine (1981).

Το Γράφημα 5.3, παρακάτω, παρουσιάζει το σταθμισμένο δίκτυο των επιλεγμένων οικονομιών που εισέρχονται στο μοντέλο μας. Η δομή του δικτύου είναι κυκλική, δεδομένου ότι όλοι οι κλάδοι αλληλοσυνδέονται μεταξύ τους. Με απλή παρατήρηση μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο κλάδος 7 (χρηματοπιστωτικές και ασφαλιστικές δραστηριότητες, ενημέρωση και επικοινωνία, άλλες δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών) είναι ο κυρίαρχος κλάδος της διάρθρωσης του δικτύου της αμερικανικής οικονομίας, για την περίοδο ανάλυσης.

Γράφημα 5.3: Γραφική παράσταση του δικτύου της κλαδικής οικονομίας των ΗΠΑ.



Ακολουθώντας τις μεθοδολογίες που έχουν περιγραφεί, διερευνάμε την κατανομή ιδιοτιμών της μήτρας εισροών - εκροών, προκειμένου να επαληθεύσουμε την ύπαρξη μιας κυρίαρχης οντότητας (κλάδου). Αρχίζουμε με τη διερεύνηση της ύπαρξης κυρίαρχου κλάδου στο σύνολο των δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, ο Πίνακας 5.17 παρουσιάζει τις ιδιοτιμές του πίνακα αμερικανικών εισροών-εκροών για το έτος 2005, το οποίο βρίσκεται στη μέση της εξεταζόμενης περιόδου, καθώς και τις κανονικοποιημένες ιδιοτιμές.

Πίνακας 5.17: Ιδιοτιμές και κανονικοποιημένες ιδιοτιμές του μετασχηματισμένου ΙΟ πίνακα (2005).

Ιδιοτιμές του μετασχηματισμένου ΙΟ πίνακα (2005)		Κανονικοποιημένες ιδιοτιμές του μετασχηματισμένου ΙΟ πίνακα (2005)	
Ιδιοτιμή	λ_i	Ιδιοτιμή	ρ_i
1	73130.10	1	1
2	9930.26	2	0.14
3	9081.20	3	0.13
4	5932.55	4	0.08
5	1842.40	5	0.02
6	3182.29	6	0.04
7	2102.92	7	0.03
8	741.30	8	0.01

Ο αριθμός των κυρίαρχων κλάδων που εμπεριέχονται στη δομή της οικονομίας είναι ίσος με i^* , για τον οποίο $\rho(i^*) > 0,4-0,3$ περίπου, αφού οι τιμές $\rho(i^*)$ μικρότερες από $0,40-0,30$ μπορεί να θεωρηθούν αμελητέες από πρακτική άποψη, όπως έχουμε δει νωρίτερα. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.17 δείχνουν την ύπαρξη ενός κυρίαρχου κλάδου στην οικονομία των ΗΠΑ.

Αφού προσδιορίσαμε τον αριθμό των κυρίαρχων οντοτήτων στην διάρθρωση του δικτύου, συνεχίζουμε με τον προσδιορισμό του κυρίαρχου κλάδου στην αμερικανική οικονομία, ακολουθώντας τα μέτρα κεντρικότητας που παρουσιάστηκαν νωρίτερα. Στο πλαίσιο αυτό, ο Πίνακας 5.18 παρουσιάζει τις εκτιμήσεις της μέσης τιμής των ειδικών μέτρων κεντρικής θέσης.

Πίνακας 5.18: Μέτρα κεντρικότητας των χρονοσειρών.

Τομείς	Μέσες τιμές	
	Βαθμός κεντρικότητας	Κεντρικότητα ιδιοδιανύσματος
ΓΕΩΡΓΙΑ, ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΛΙΕΙΑ	0.144	0.189
ΟΡΥΧΕΙΑ ΚΑΙ ΛΑΤΟΜΕΙΑ	0.146	0.261
ΠΑΡΟΧΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ, ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ, ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	0.150	0.298
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	0.143	0.276
ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ	0.196	0.266
ΧΟΝΔΡΙΚΟ ΚΑΙ ΛΙΑΝΙΚΟ ΕΜΠΟΡΙΟ, ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΤΟΣΙΚΛΕΤΩΝ	0.276	0.423
ΧΡΗΜΑΤΟΠΙΣΤΩΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ, ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ, ΑΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	0.471	0.610
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ, ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΜΕΡΙΜΝΑ	0.147	0.331

Με βάση τα ευρήματά μας, ο κλάδος 7 είναι ο κυρίαρχος κλάδος της δομής του δικτύου, καθώς παρουσιάζει τον υψηλότερο βαθμό κεντρικότητας.

Προτού γίνει η εκτίμηση της εξίσωσης τιμών χρησιμοποιώντας το μοντέλο GVAR, ακολουθώντας τους Pesaran et al. (2004), ελέγχουμε τον

βαθμό ολοκλήρωσης των χρονοσειρών που υπεισέρχονται στην ανάλυσή μας. Με βάση τα ευρήματά μας, οι περισσότερες από τις μεταβλητές βρέθηκαν να είναι I (1), δηλαδή στάσιμες στις πρώτες διαφορές.

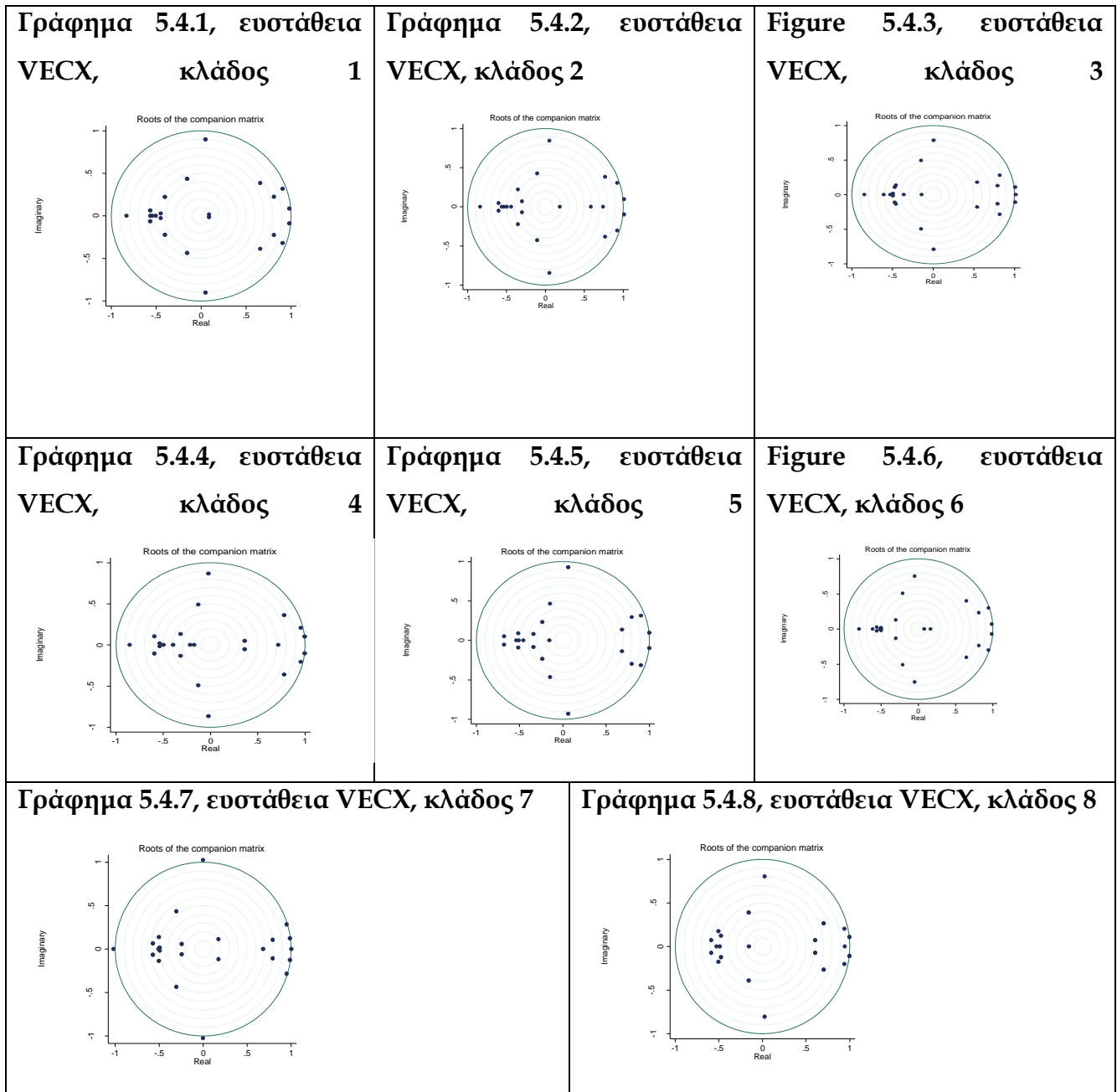
Παρουσία μεταβλητών I(1) ελέγξαμε για συνολοκλήρωση, χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Johansen και Juselius (1990). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.19. Με βάση τα ευρήματά μας, η συνολοκλήρωση υπήρχε σε όλα τα μοντέλα. Με την παρουσία μακροχρόνιων σχέσεων ισορροπίας μεταξύ των διαφόρων μεταβλητών, το μοντέλο GVAR πρέπει να μετατραπεί σε μοντέλο GVEC, έτσι ώστε να ερμηνεύει ρητά αυτές τις σχέσεις. Τέλος, επιλέχθηκαν δύο υστερήσεις στα μοντέλα VECX με βάση το κριτήριο πληροφόρησης Schwarz-Bayes (SBIC).

Πίνακας 5.19: Έλεγχος συνολοκλήρωσης Johansen των χρονοσειρών.

VARX	Μέγιστος βαθμός	Λογαριθμική πιθανοφάνεια	Στατιστικό ίχνος	5% Κριτική τιμή	Συνολοκλήρωση
Κλάδος 1	6	490.16	14.66	15.41	ΝΑΙ
Κλάδος 2	5	-1370.25	0.50	3.76	ΝΑΙ
Κλάδος 3	4	-770.97	13.53	15.41	ΝΑΙ
Κλάδος 4	3	-29.62	15.14	15.41	ΝΑΙ
Κλάδος 5	3	-773.88	188.67	192.89	ΝΑΙ
Κλάδος 6	2	239.68	13.49	15.41	ΝΑΙ
Κλάδος 7	7	-1770.42	12.64	15.41	ΝΑΙ
Κλάδος 8	2	-467.19	0.84	3.76	ΝΑΙ

Στη συνέχεια, αφού προσδιορίσαμε το υπόδειγμα VECX (p, q) για κάθε κλάδο, προχωρούμε με την εκτίμηση του μοντέλου GVEC και με τον υπολογισμό των GIRFs, ακολουθώντας τους Pesaran και Shin (1998). Για να προσδιορίσουμε αν τα μοντέλα είναι ευσταθή, πρέπει να ελέγξουμε την ευστάθεια των μοντέλων ανά κλάδο, χωριστά. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας είναι συνεπή με την ευστάθεια του μοντέλου VARX κάθε κλάδου (γράφημα 5.4), με βάση τις ιδιοτιμές που βρίσκονται πάνω ή μέσα στον μοναδιαίο κύκλο, οι οποίες υποδηλώνουν ευστάθεια του εκτιμώμενου μοντέλου και των διαφόρων κλάδων της οικονομίας των ΗΠΑ.

Γράφημα 5.4: Ευστάθεια των VECXs μοντέλων.

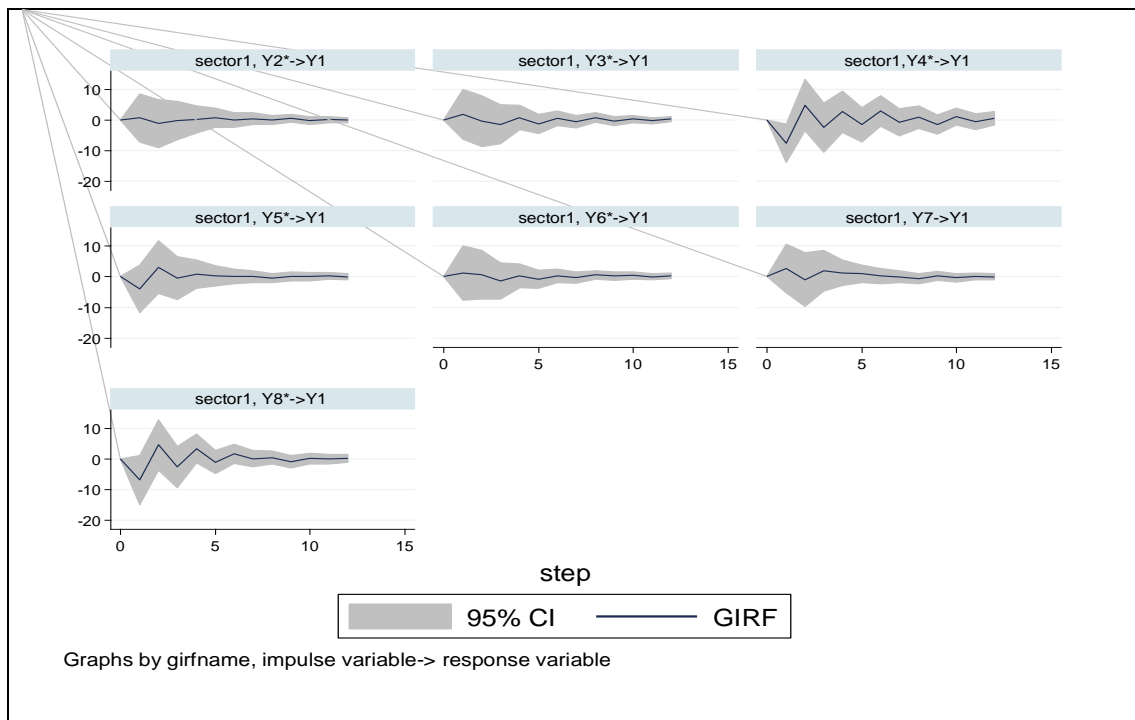


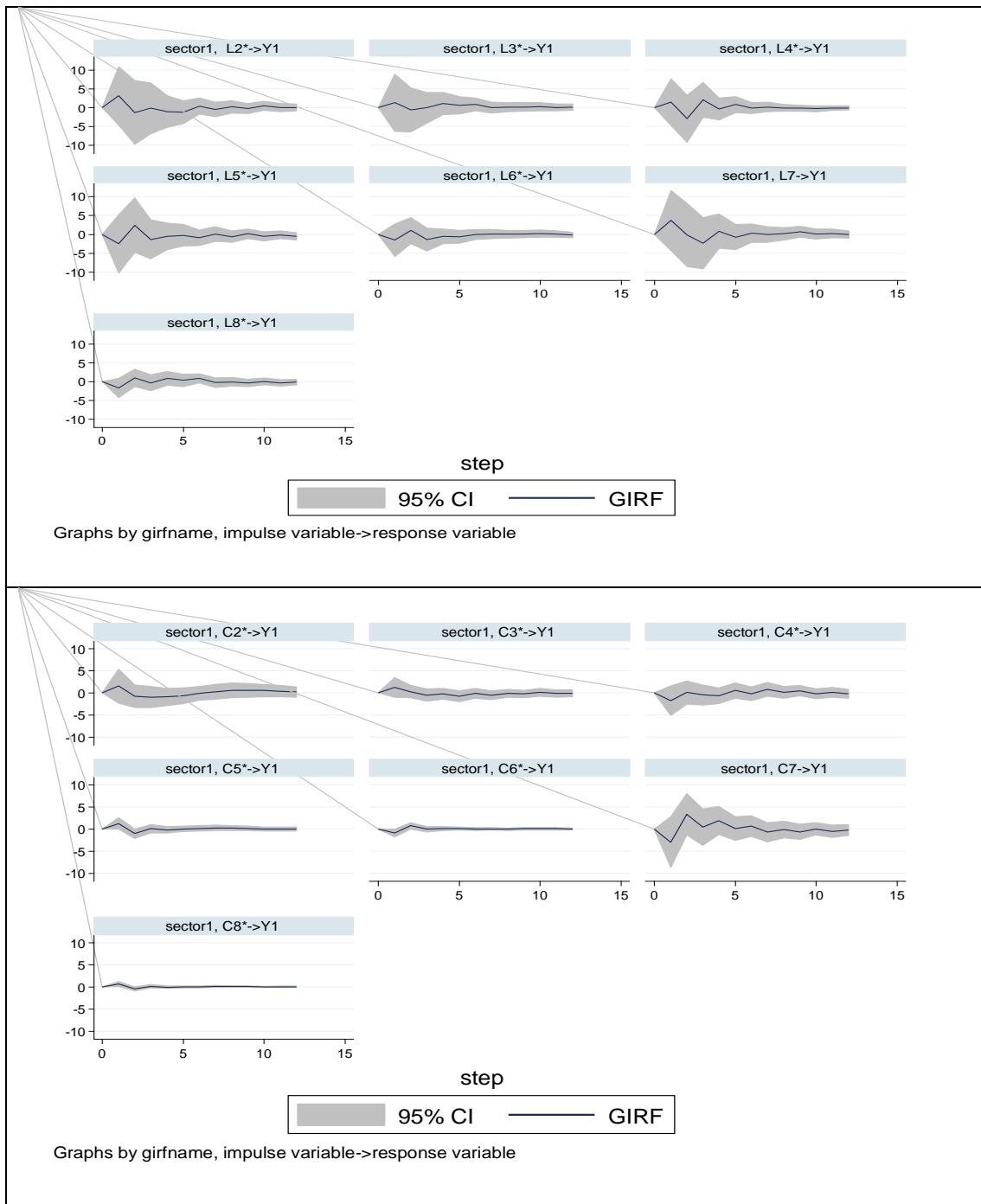
Αφού η μοντελοποίηση με τα VECXs έχει νόημα, εκτιμάμε τα GIRFs. Κάθε GIRF παρουσιάζει τη δυναμική απόκριση της παραγωγής (Y), Εργασίας (L) και Κατανάλωσης (C) των κλάδων σε μοναδιαία διαταραχή στους υπόλοιπους κλάδους (α) Παραγωγή, (β) Εργασίας και (γ) Κατανάλωση, μέχρι 36 μήνες, δηλαδή τρία (3) χρόνια. Σε αυτό το πλαίσιο, θα βασισουμε την ανάλυση (GIRFs) στα διαστήματα εμπιστοσύνης (bootstrapped, 10.000

επαναλήψεις) και όχι στις σημειακές εκτιμήσεις, προκειμένου να αποφευχθεί τυχόν δομική αστάθεια.

Τα Σχήματα 1-3 στο Γράφημα 5.5 παρουσιάζουν τη δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον πρώτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή, στην Εργασία και στην Κατανάλωση των υπόλοιπων κλάδων.

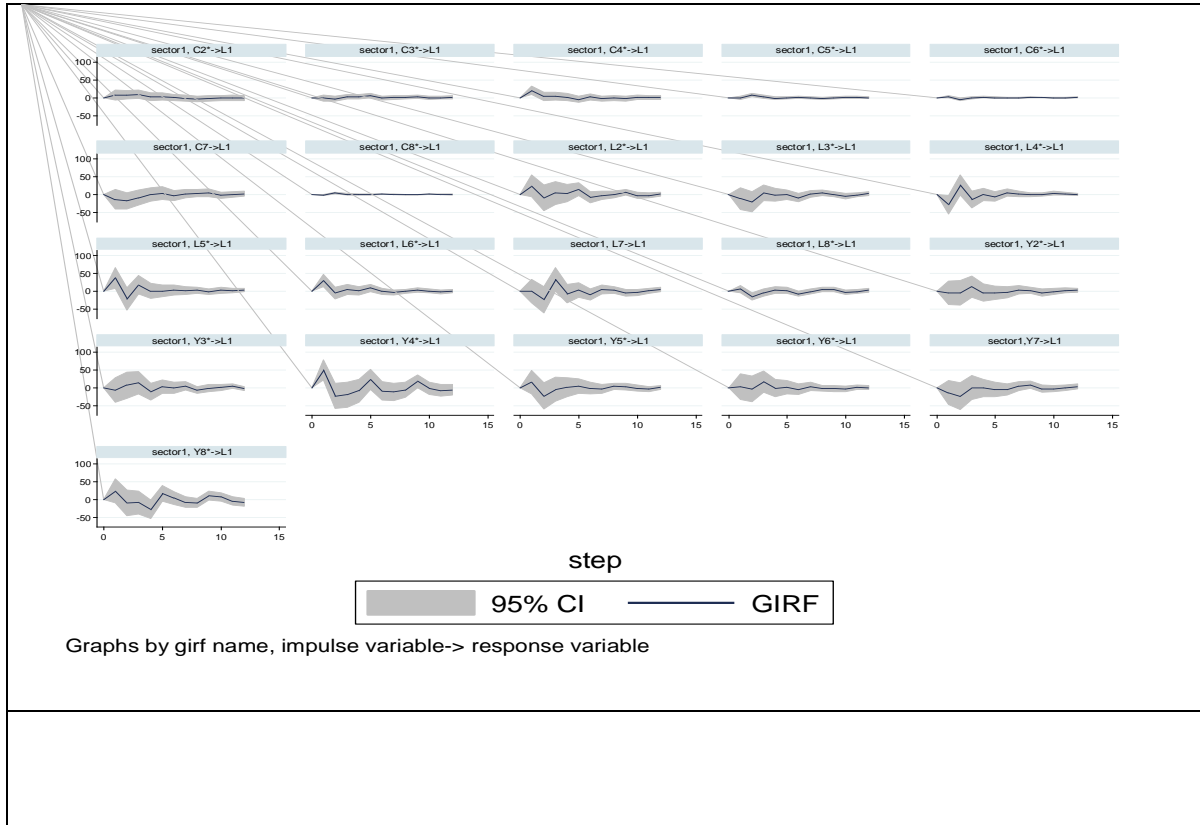
Γράφημα 5.5: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον πρώτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

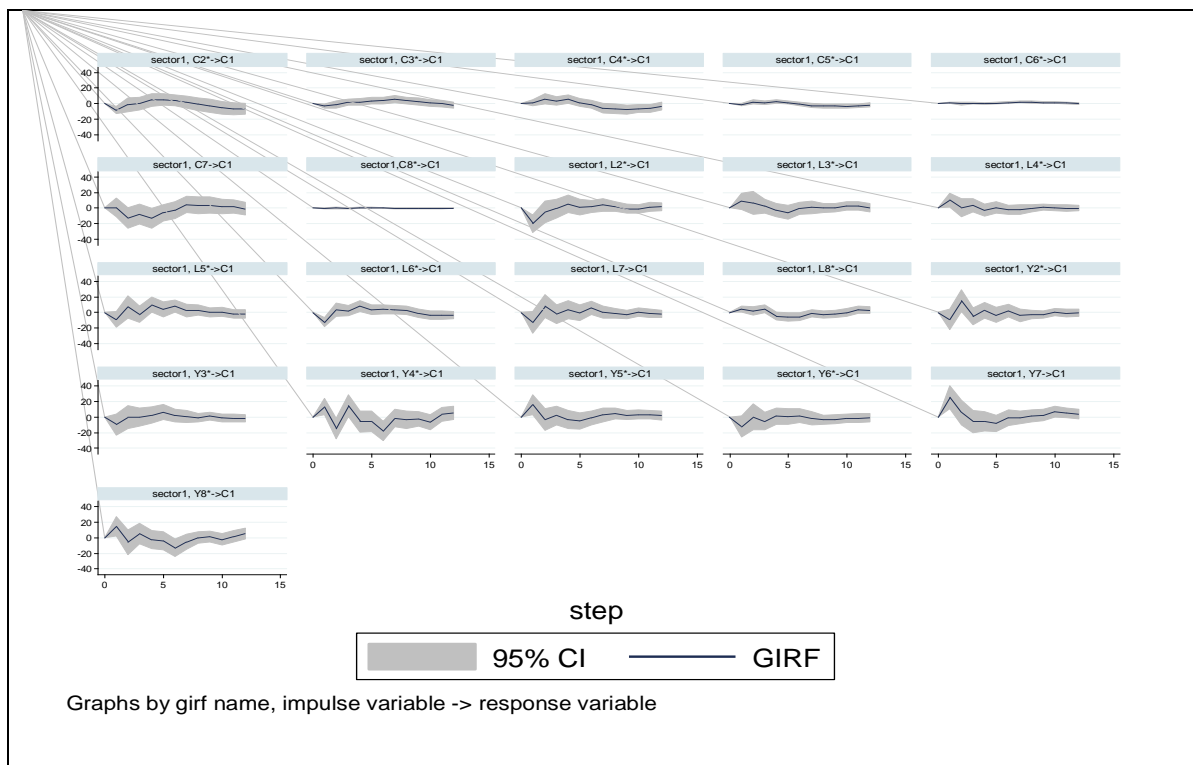




Η δυναμική απόκριση της εργασίας και της κατανάλωσης του κλάδου, σε μοναδιαία διαταραχή στις υπόλοιπες μεταβλητές των κλάδων παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.6.

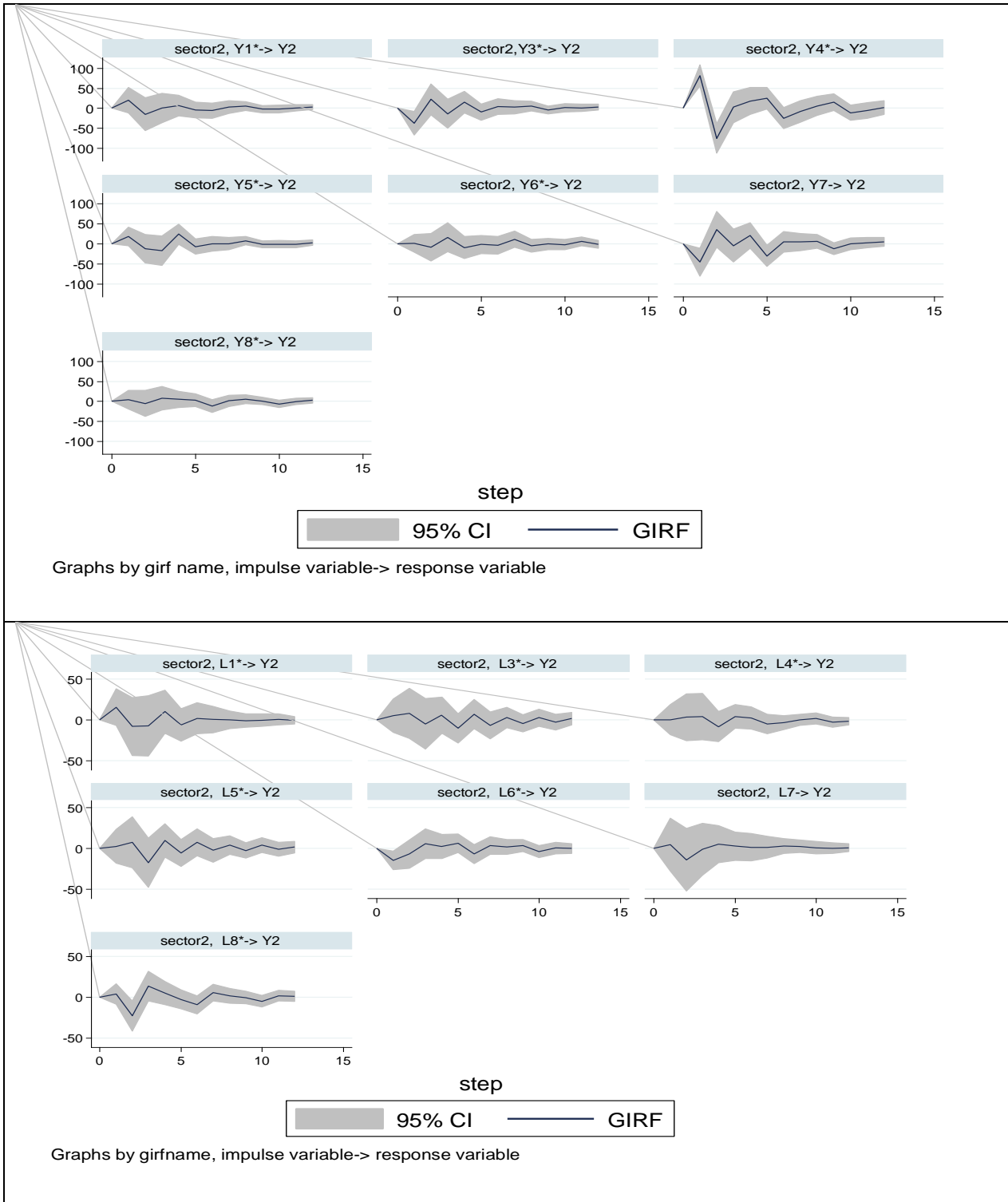
Γράφημα 5.6: GIRF εκτιμήσεις του κλάδου 1. Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L1) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C1) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

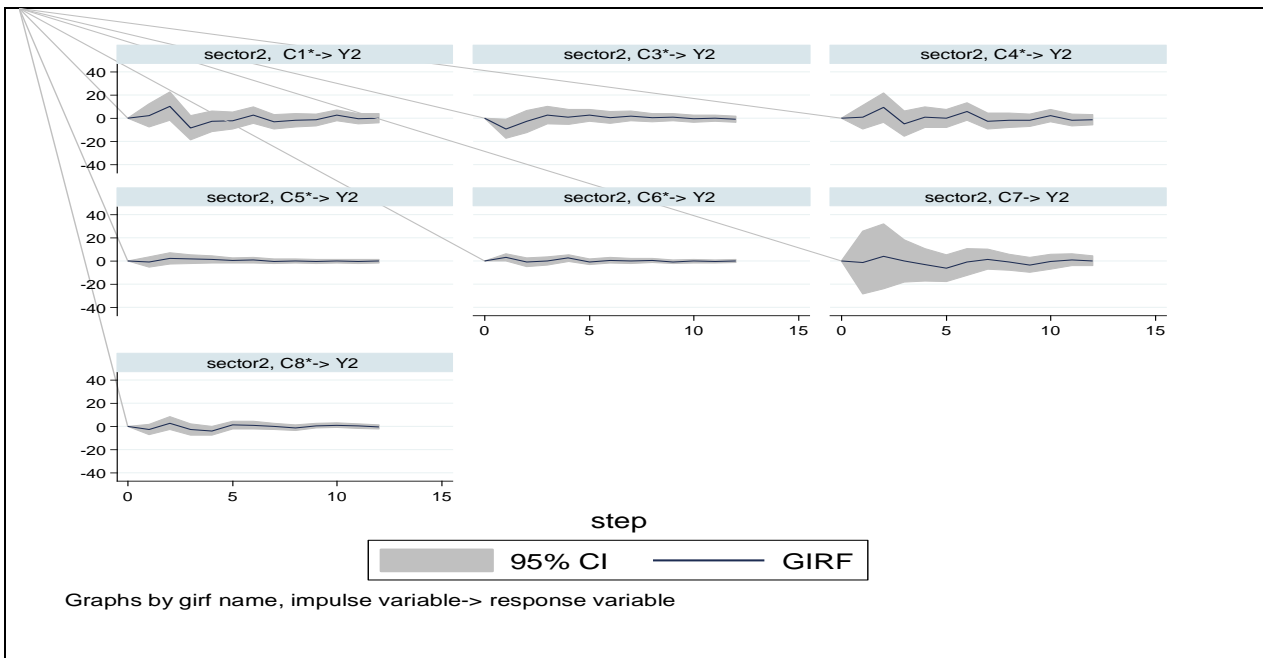




Αντίστοιχα, και για τους υπόλοιπους κλάδους. Έτσι, οι εκτιμήσεις GIRF για την παραγωγή του κλάδου 2 σε μοναδιαία διαταραχή στην παραγωγή, στην εργασίας και στην κατανάλωση των υπόλοιπων κλάδων παρουσιάζονται στο Γράφημα 5.7.

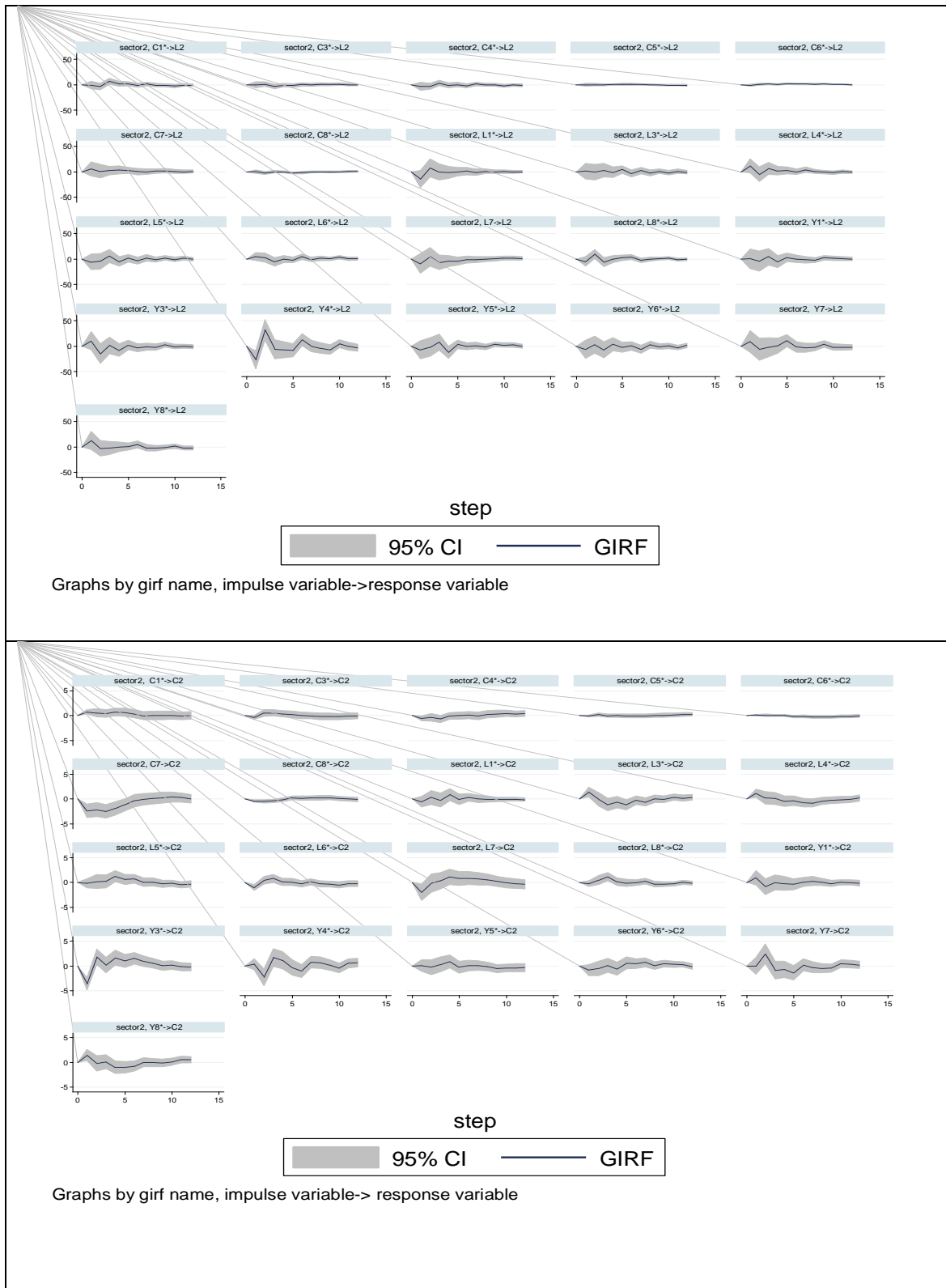
Γράφημα 5.7: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον δεύτερο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.





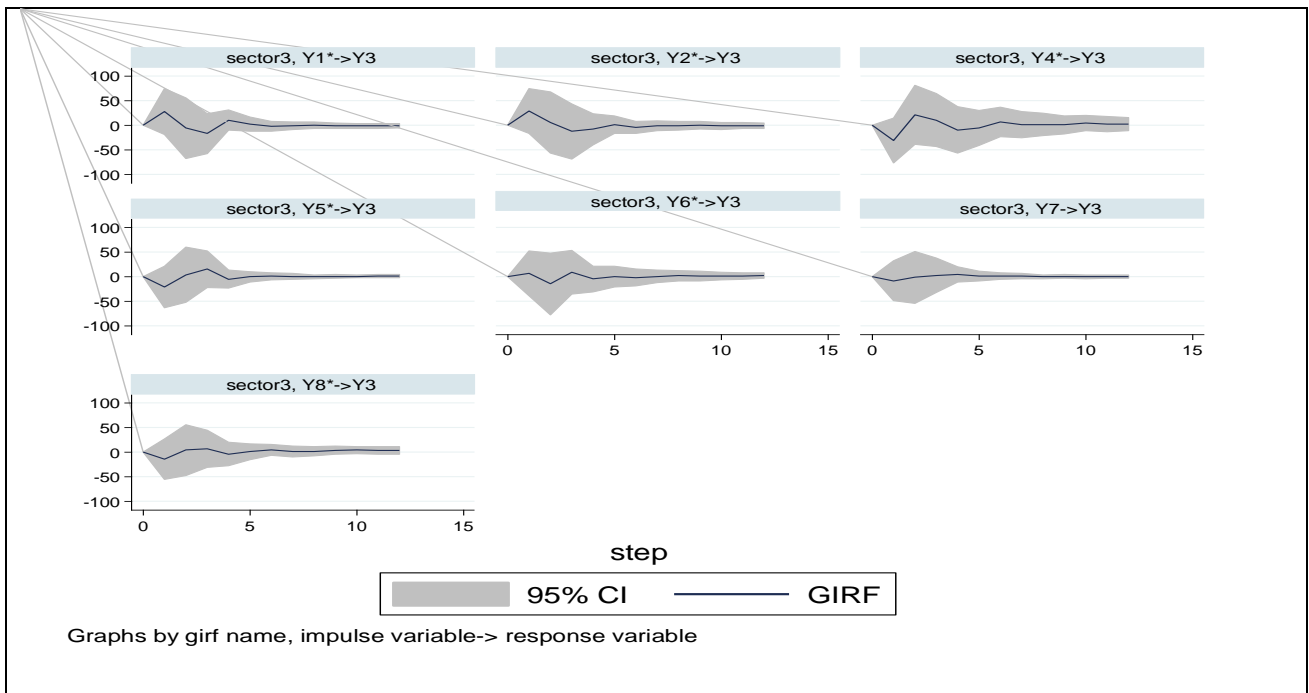
Και πάλι, όμοια με πριν, στο Γράφημα 5.8 παρουσιάζεται η δυναμική απόκριση της εργασίας και της κατανάλωσης του κλάδου σε μοναδιαία διαταραχή στις υπόλοιπες μεταβλητές των κλάδων.

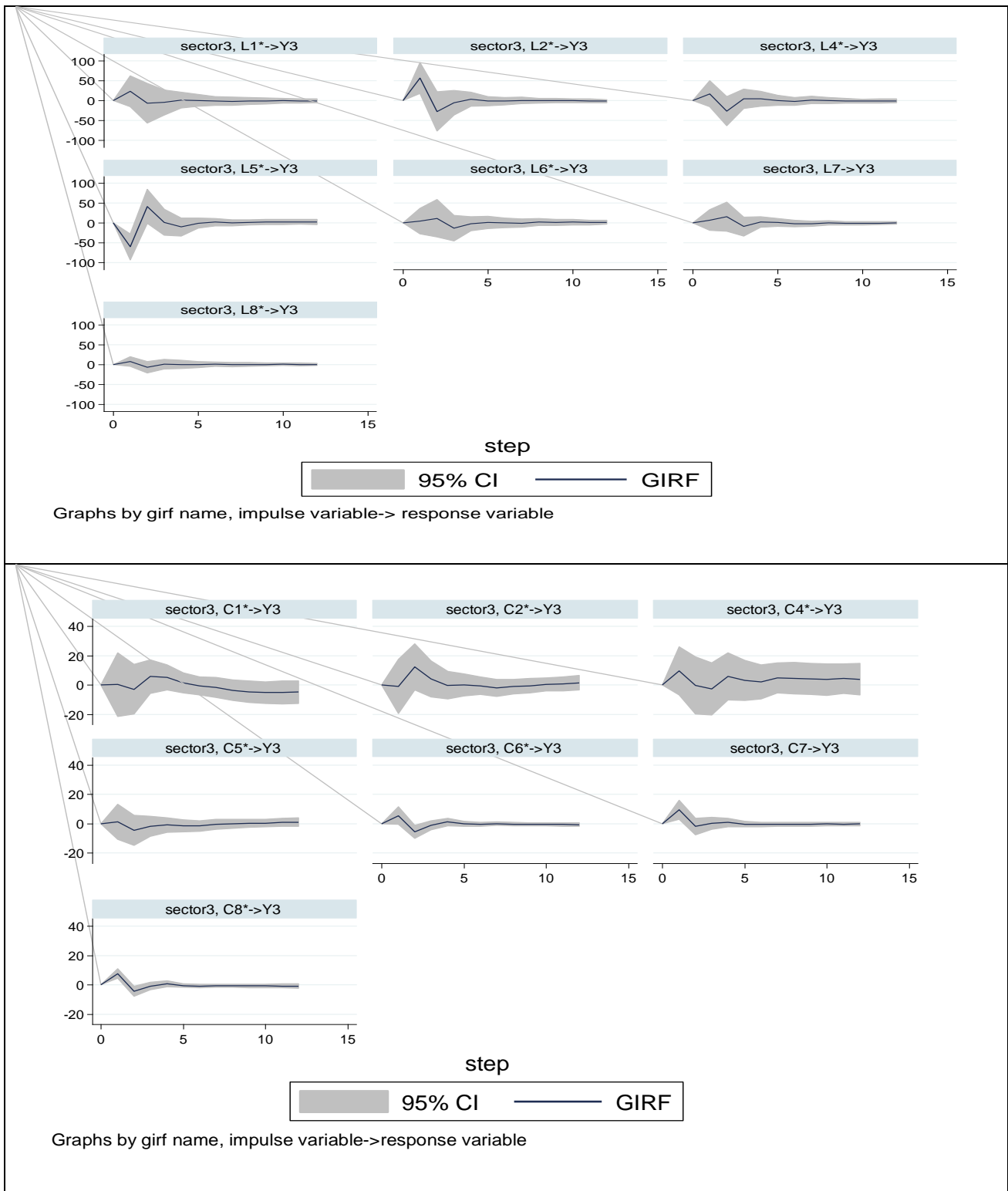
Γράφημα 5.8: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L2) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C2) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).



Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε τις εκτιμήσεις GIRF της παραγωγής του κλάδου 3 σε μοναδιαία διαταραχή στην υπόλοιπη παραγωγή, εργασία και κατανάλωση των κλάδων στο Γράφημα 5.9, παρακάτω.

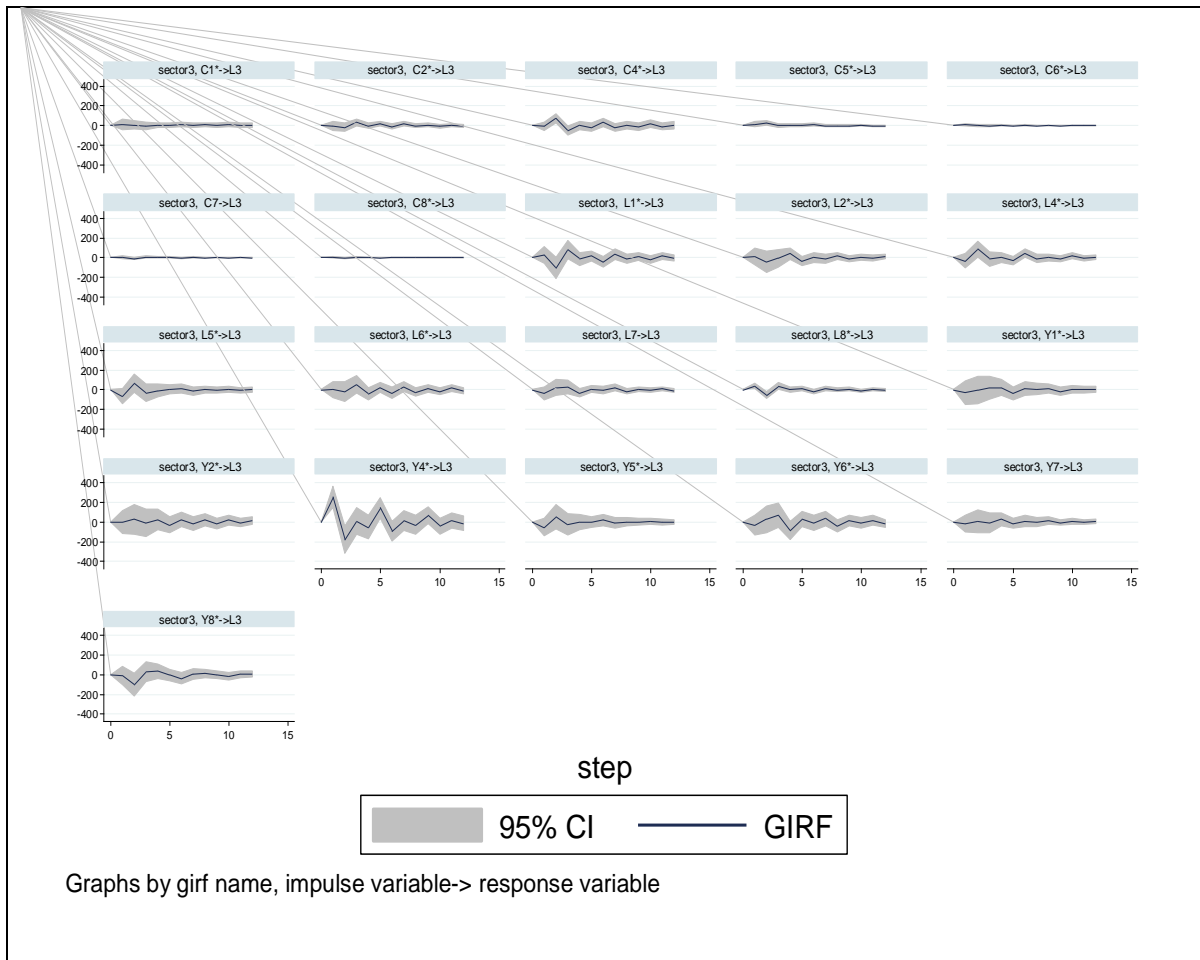
Γράφημα 5.9: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον τρίτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

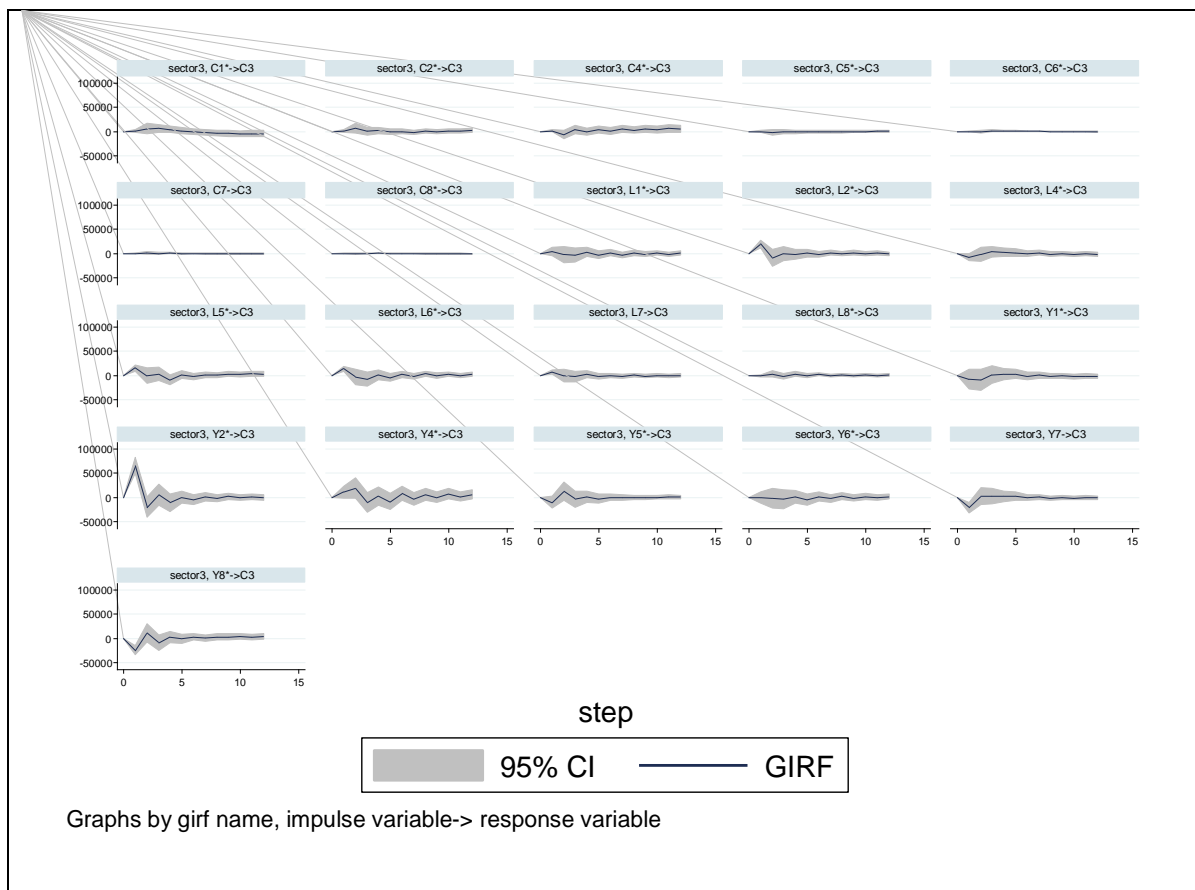




Η απόκριση της εργασίας και της κατανάλωσης του κλάδου 3 σε μοναδιαία διαταραχή στις υπόλοιπες μεταβλητές των κλάδων παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.10.

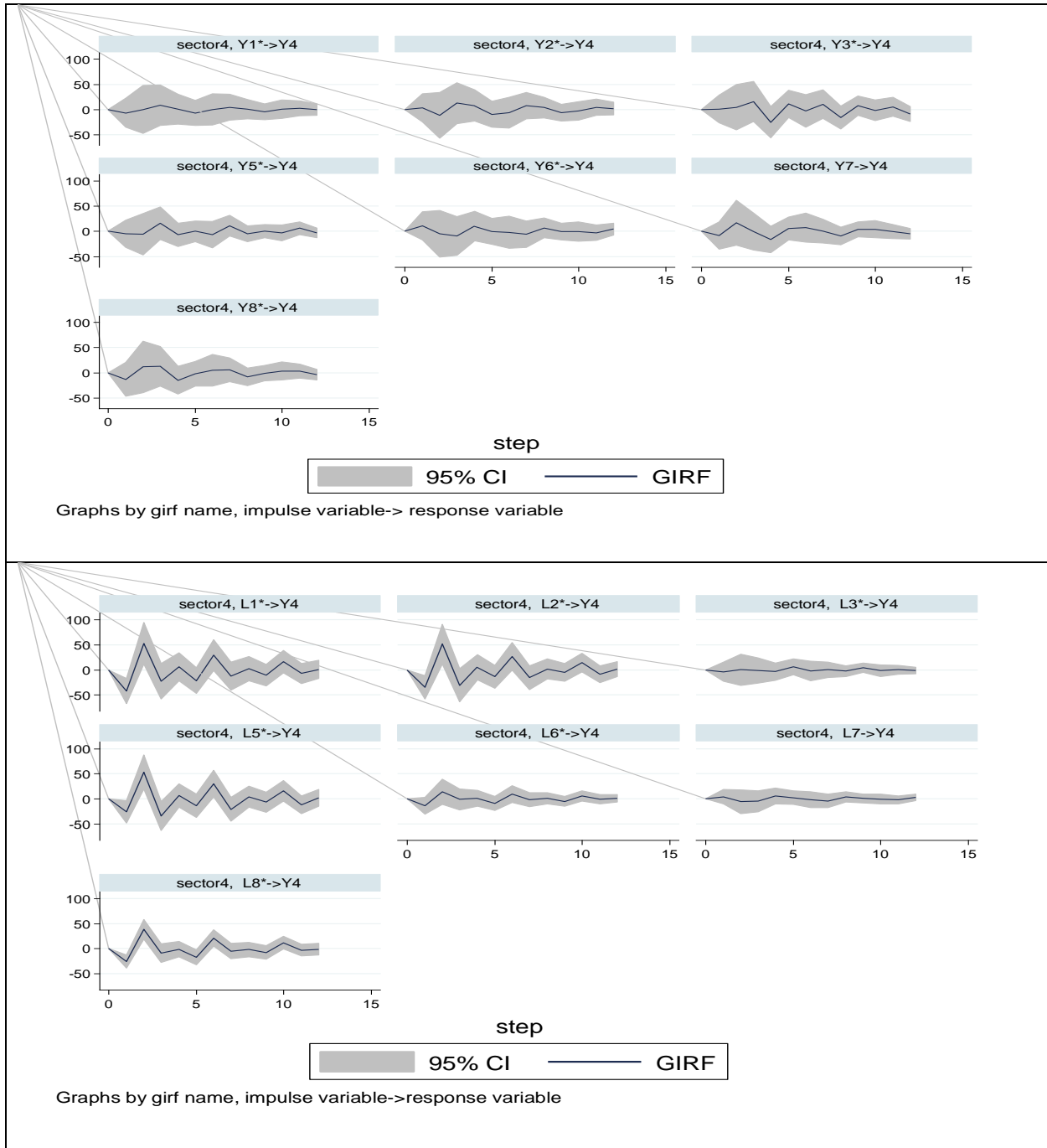
Γράφημα 5.10: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L3) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C3) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

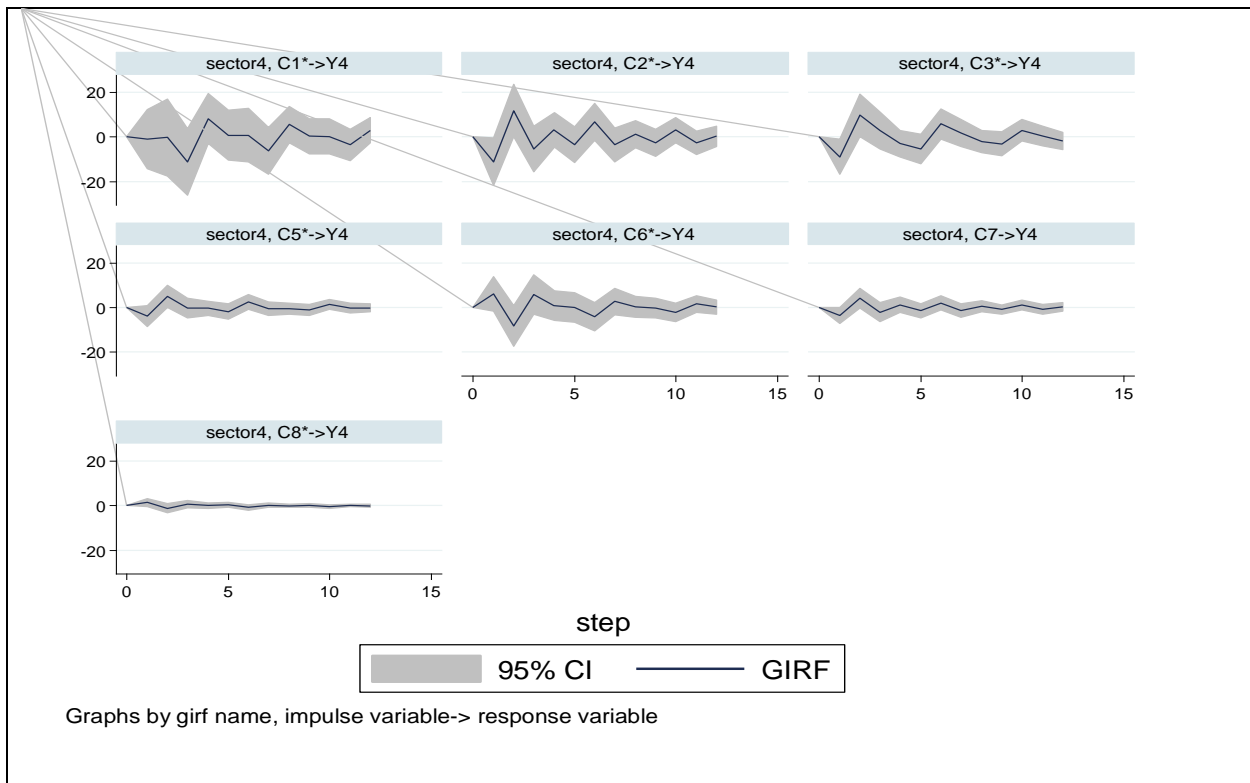




Παρουσιάζουμε στη συνέχεια, τις εκτιμήσεις GIRF της παραγωγής του κλάδου 4 σε μοναδιαία διαταραχή στην υπόλοιπη παραγωγή, εργασία και κατανάλωση των κλάδων στο Γράφημα 5.11, παρακάτω.

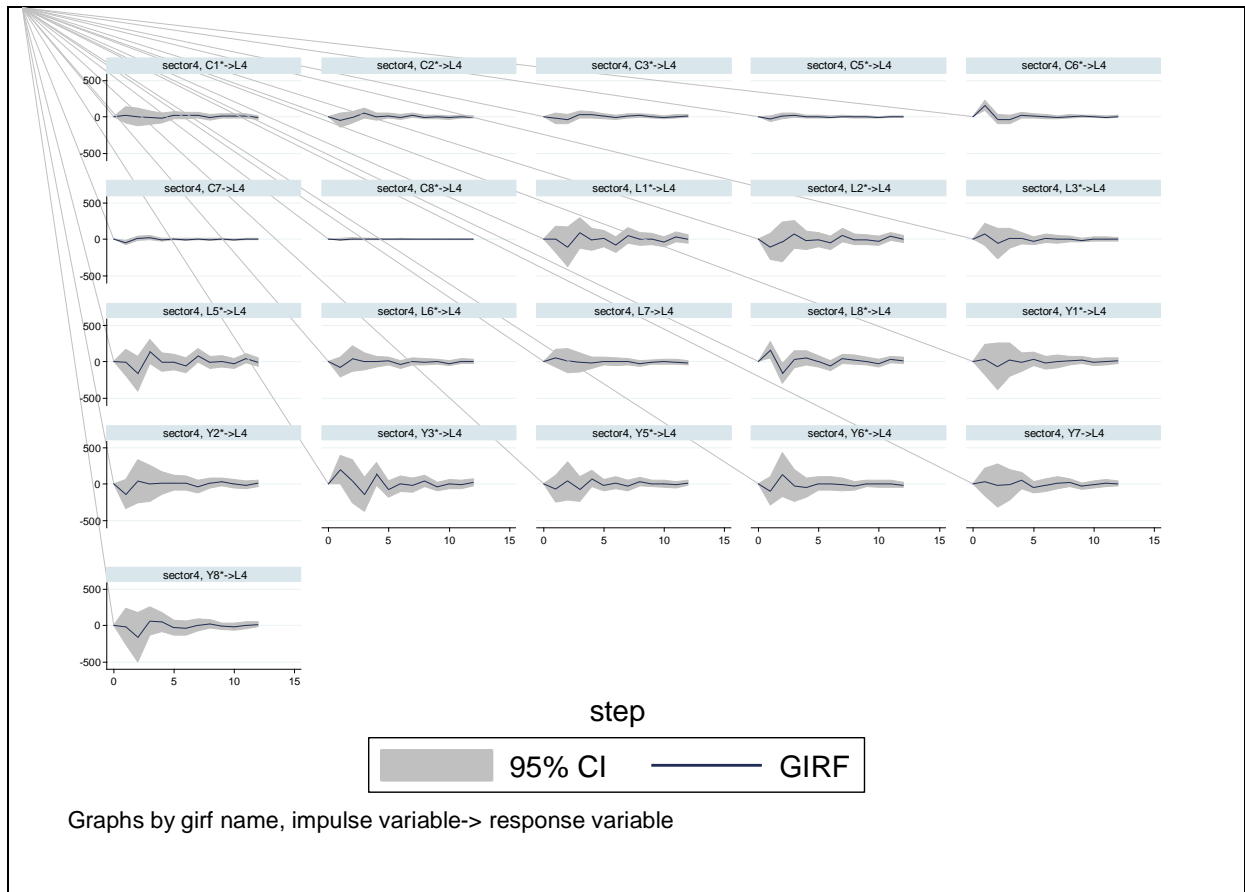
Γράφημα 5.11: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον τέταρτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

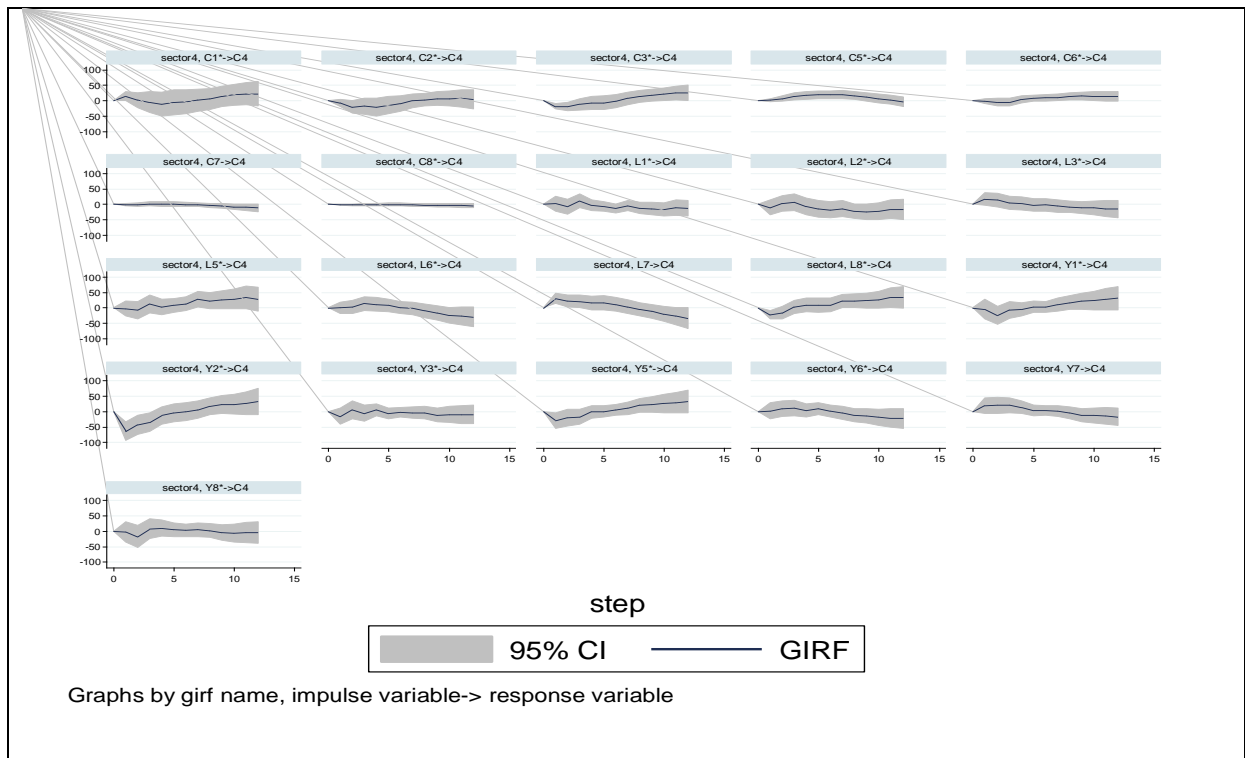




Η αντίστοιχη απόκριση της εργασίας και της κατανάλωσης του κλάδου 4 σε μοναδιαία διαταραχή στις υπόλοιπες μεταβλητές των κλάδων παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.12.

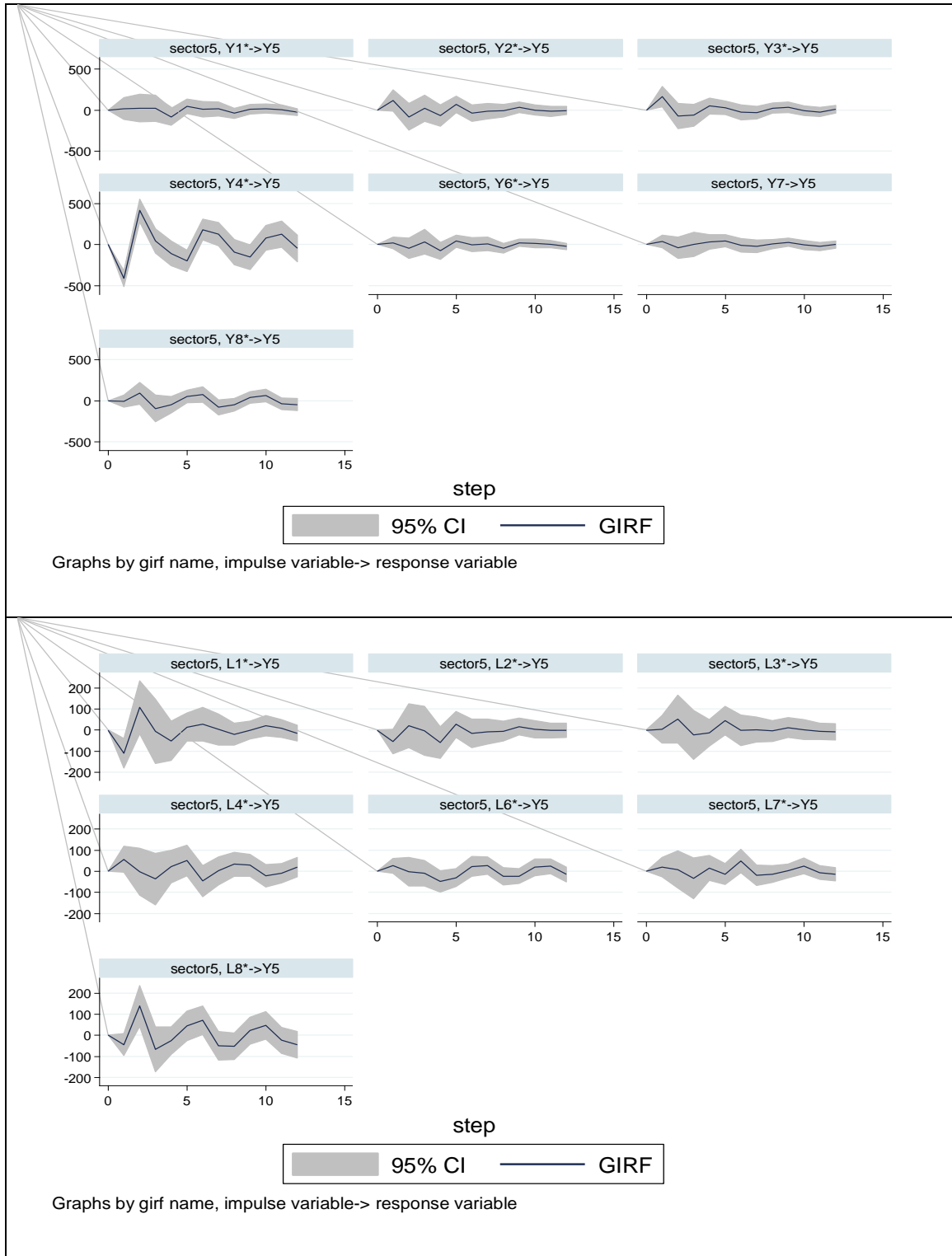
Γράφημα 5.12: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L4) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C4) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

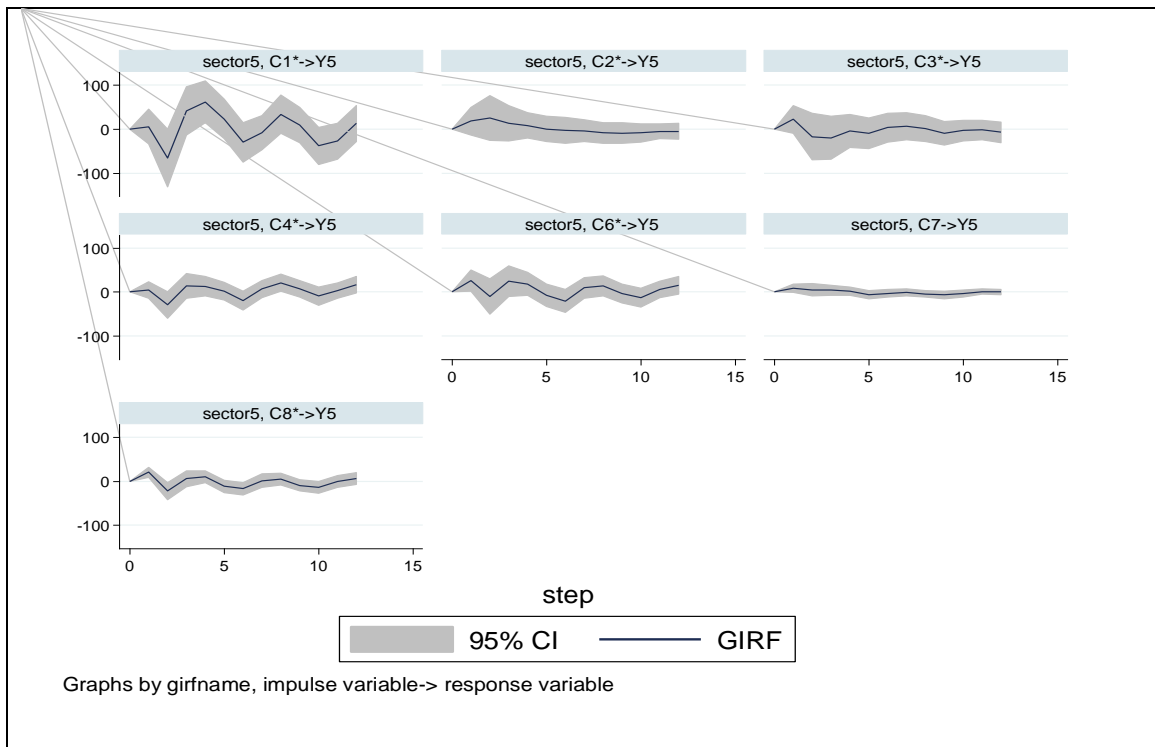




Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε τις εκτιμήσεις GIRF της παραγωγής του κλάδου 5 σε μοναδιαία διαταραχή στην υπόλοιπη παραγωγή, εργασία και κατανάλωση των κλάδων στο Γράφημα 5.13, παρακάτω.

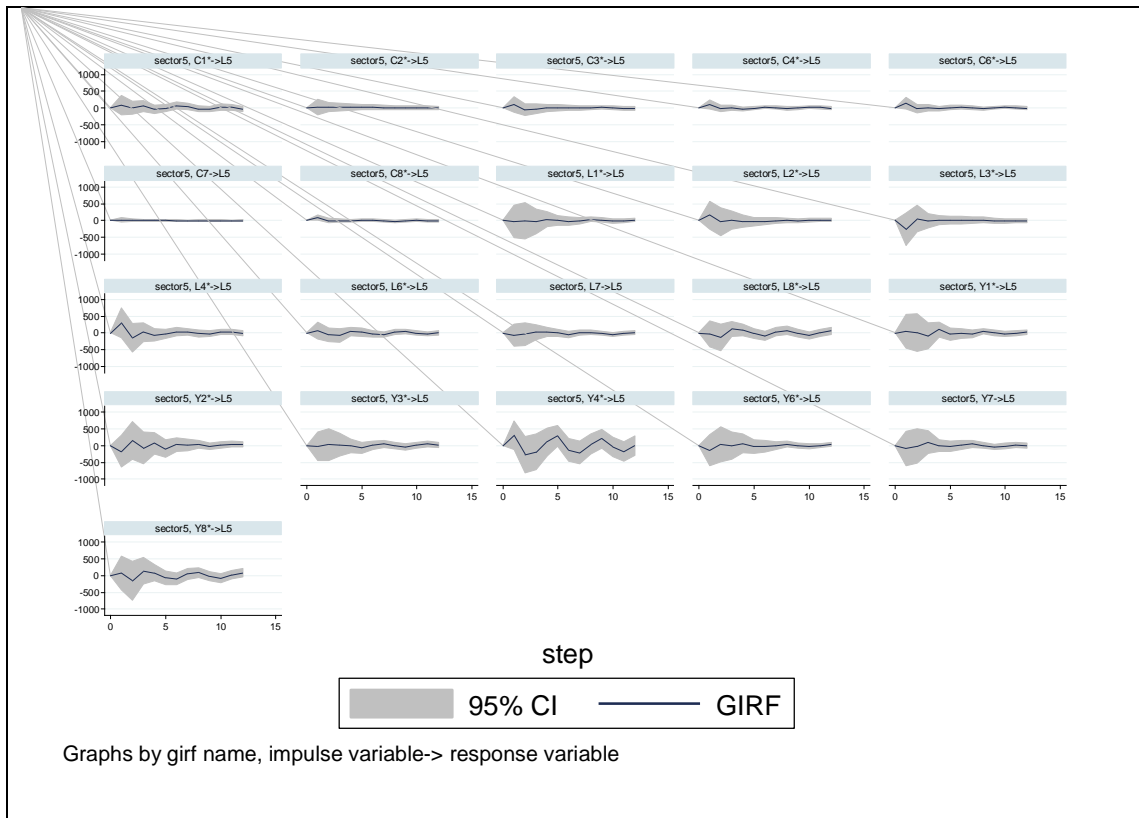
Γράφημα 5.13: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον πέμπτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

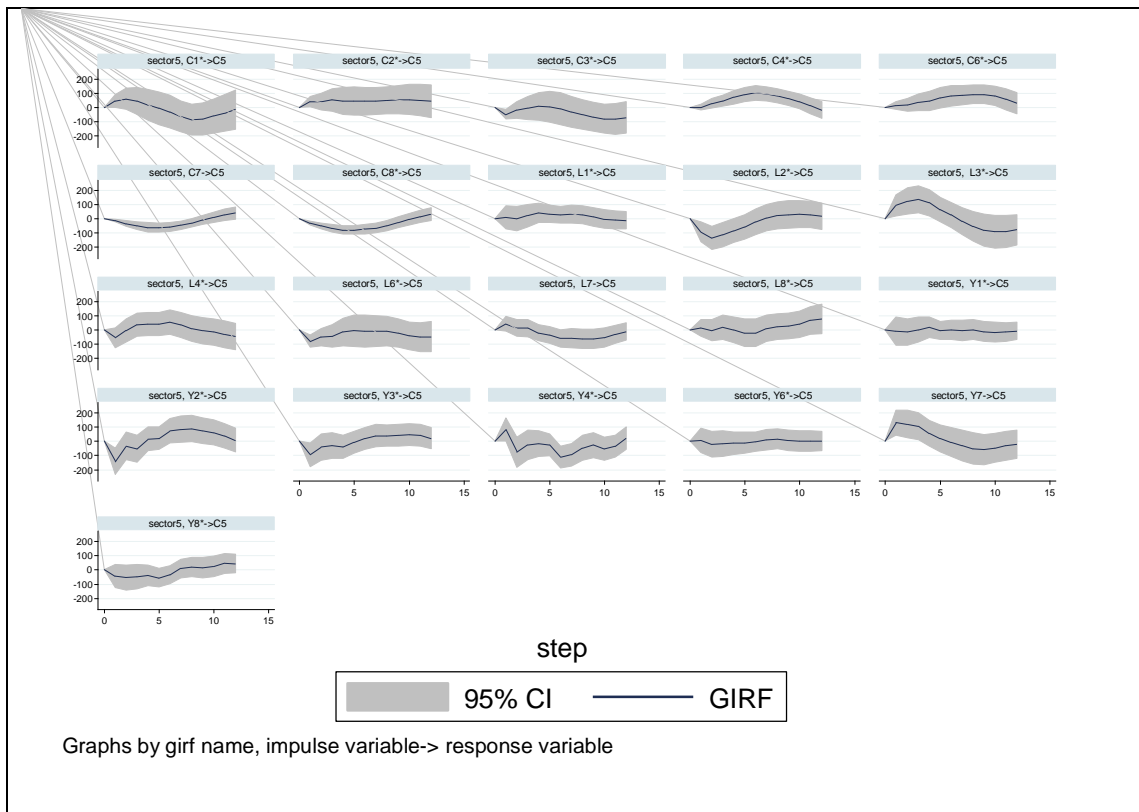




Όμοια, η απόκριση της εργασίας και της κατανάλωσης του κλάδου 5 σε μοναδιαία διαταραχή στις υπόλοιπες μεταβλητές των κλάδων παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.14.

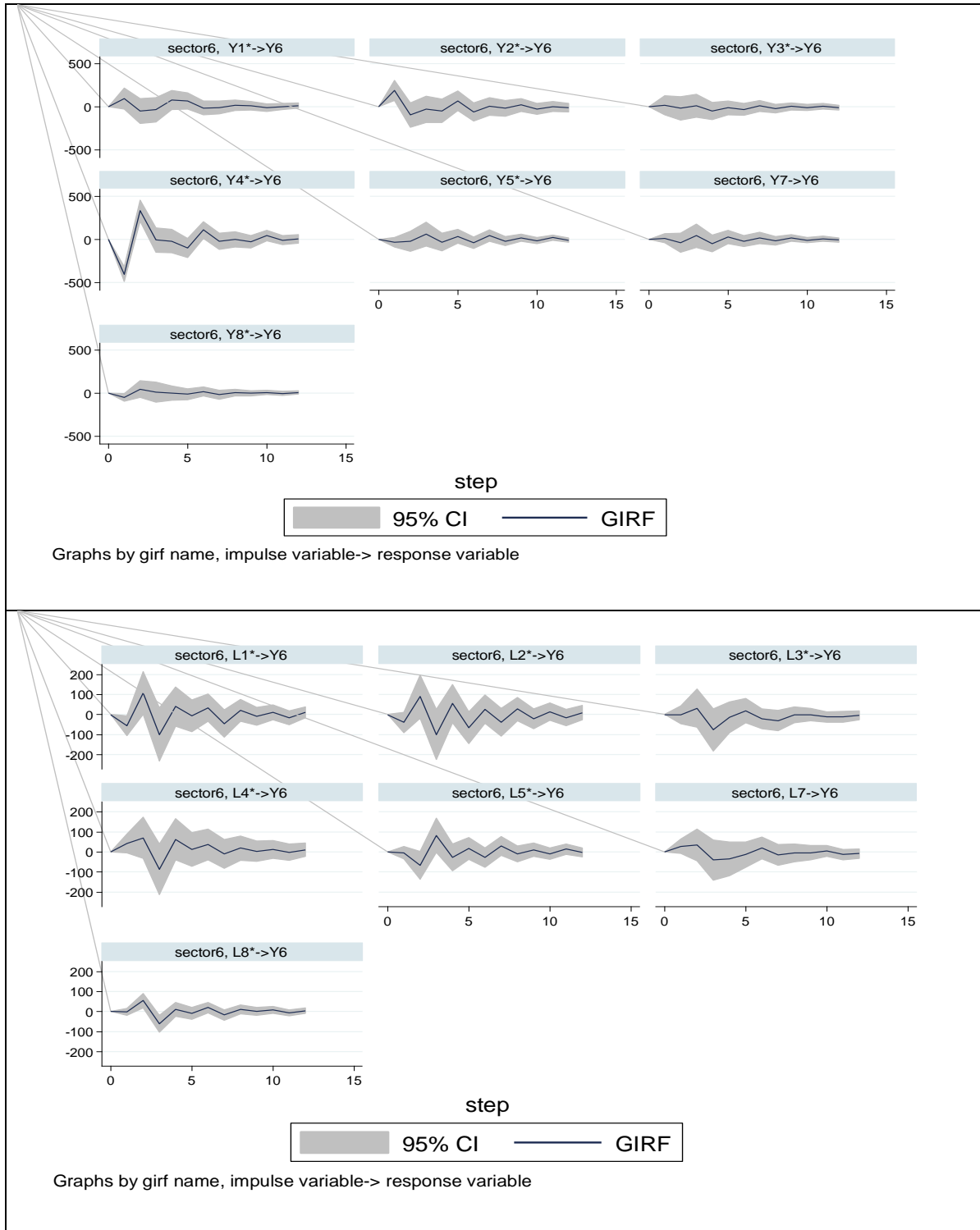
Γράφημα 5.14: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L5) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C5) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

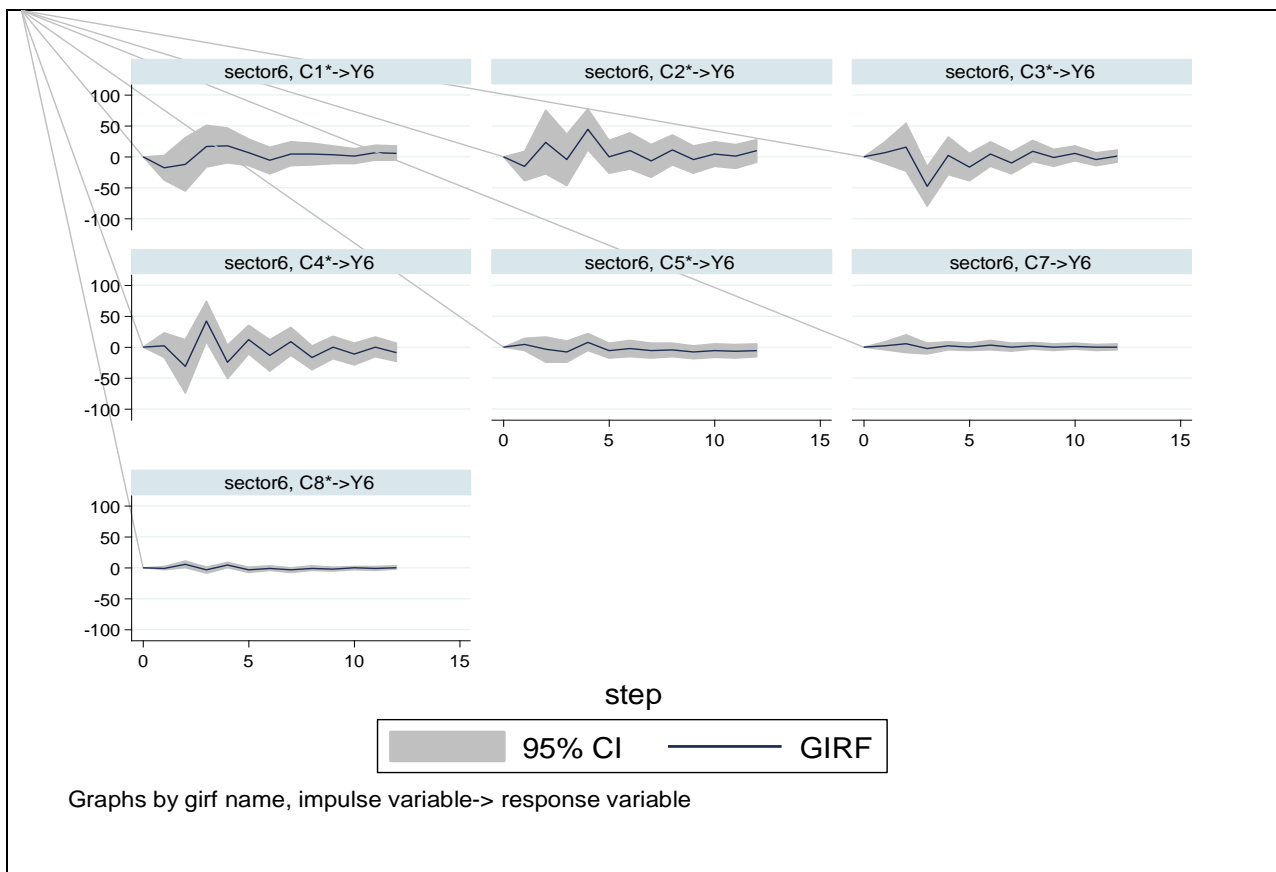




Εν συνεχεία, παρουσιάζουμε τις εκτιμήσεις GIRF της παραγωγής του κλάδου 6 σε μοναδιαία διαταραχή στην υπόλοιπη παραγωγή, εργασία και κατανάλωση των κλάδων στο Γράφημα 5.15, παρακάτω.

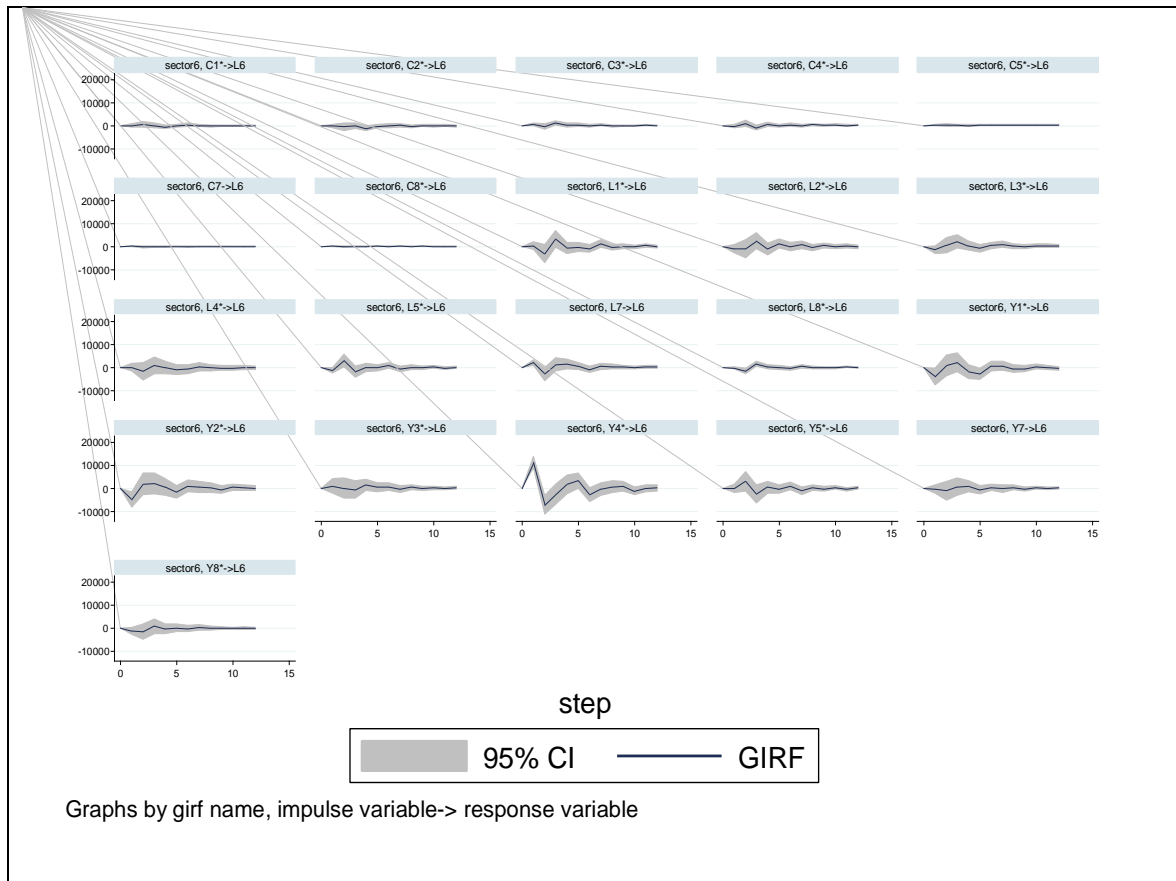
Γράφημα 5.15: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον έκτο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

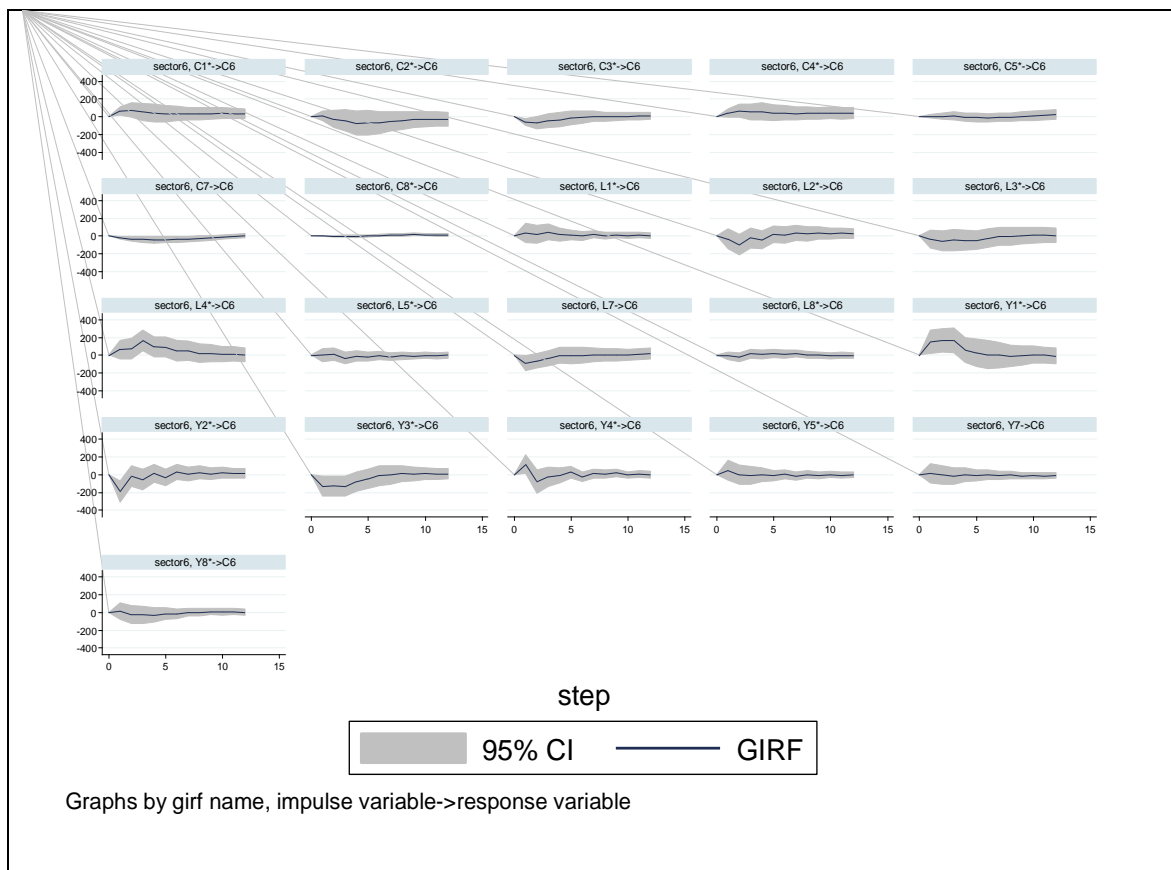




Όμοια, η απόκριση της εργασίας και της κατανάλωσης του κλάδου 6 σε μοναδιαία διαταραχή στις υπόλοιπες μεταβλητές των κλάδων παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.16.

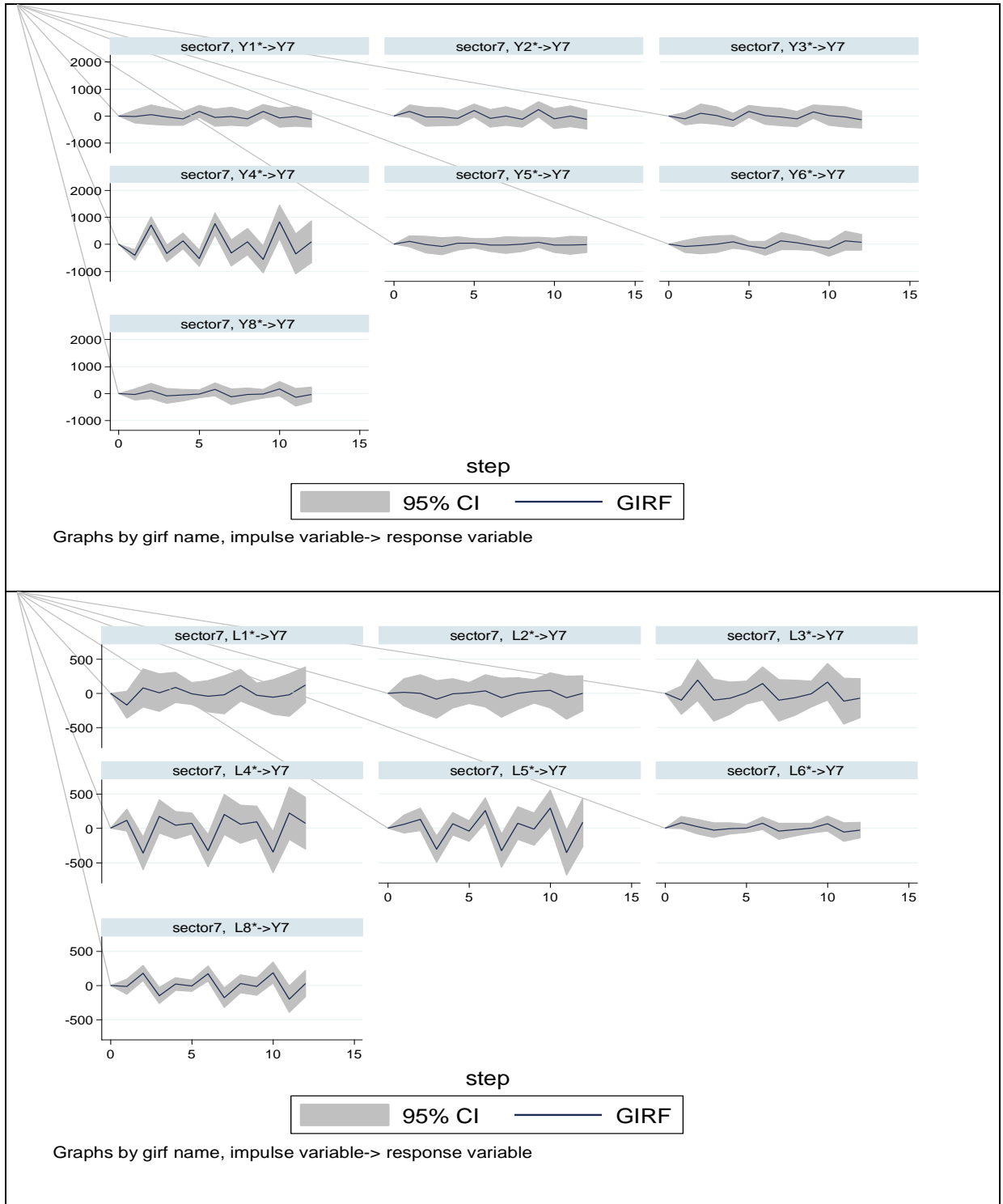
Γράφημα 5.16: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L6) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C6) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

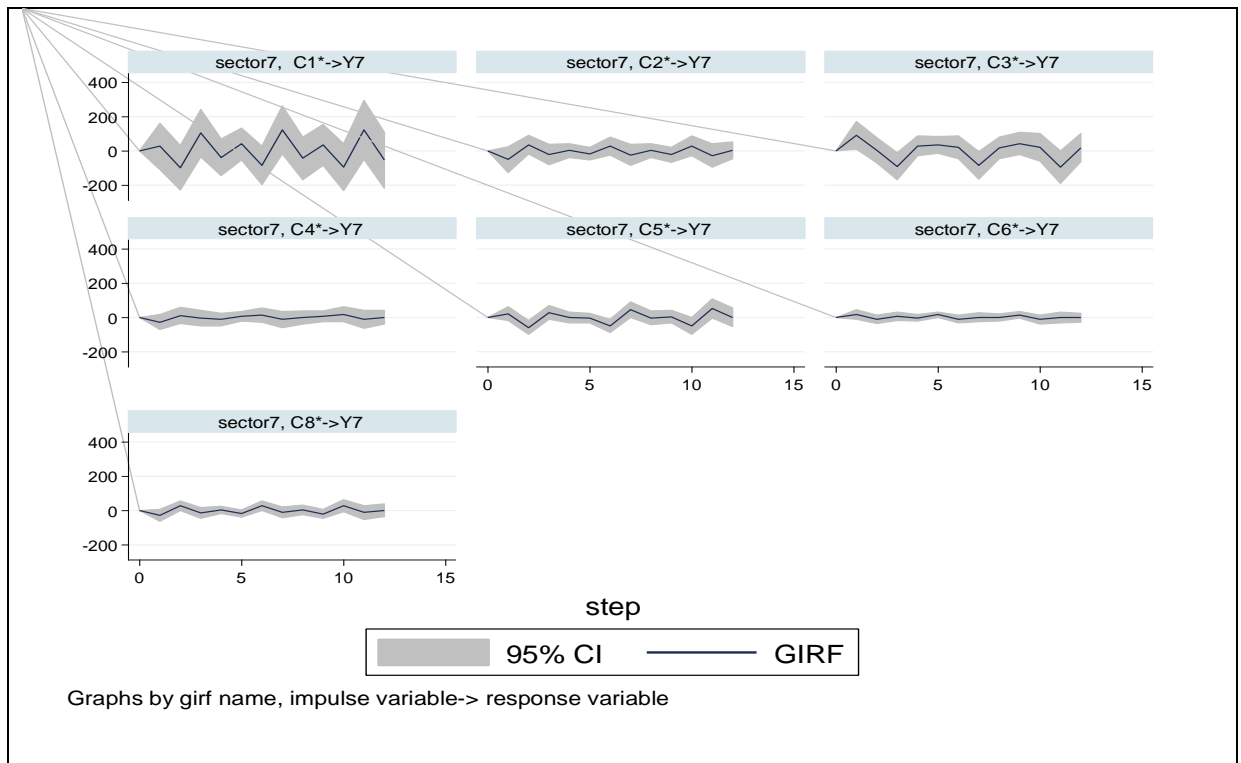




Όμοια, παρουσιάζουμε τις εκτιμήσεις GIRF της παραγωγής του κλάδου 7 σε μοναδιαία διαταραχή στην υπόλοιπη παραγωγή, εργασία και κατανάλωση των κλάδων στο Γράφημα 5.17, παρακάτω.

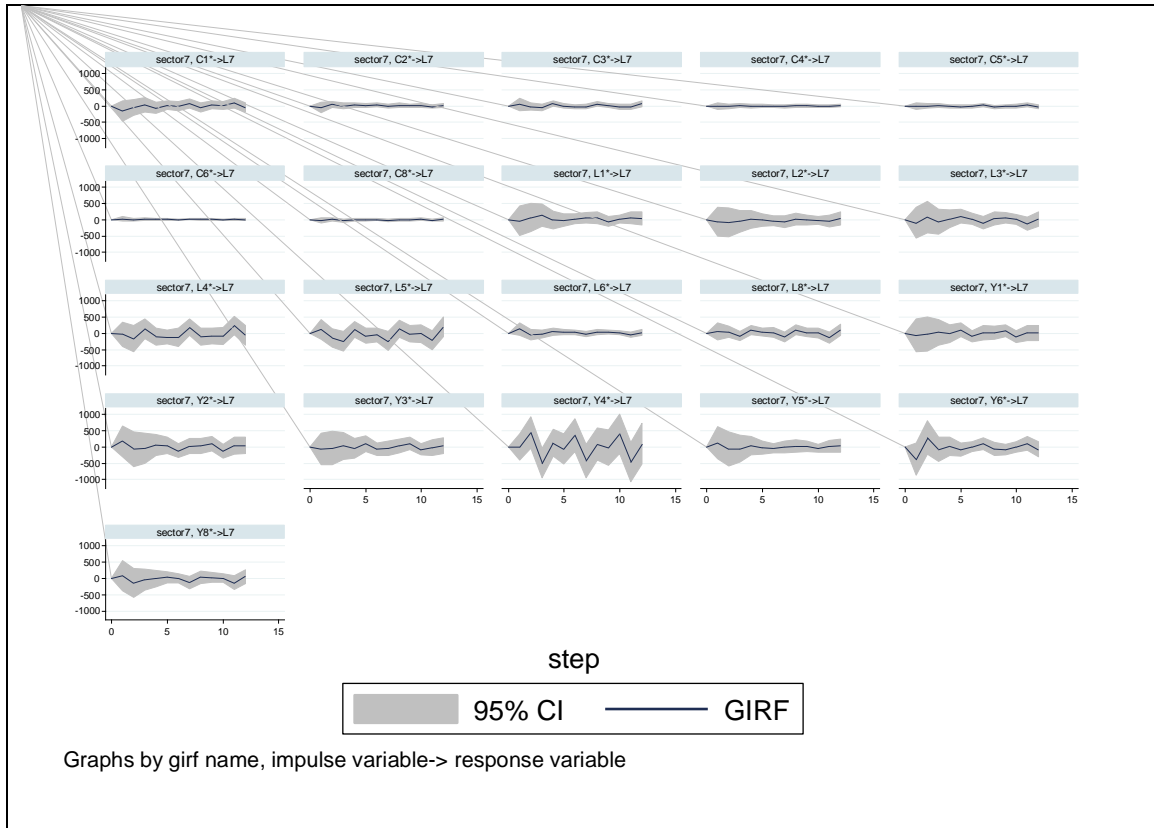
Γράφημα 5.17: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον έβδομο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.

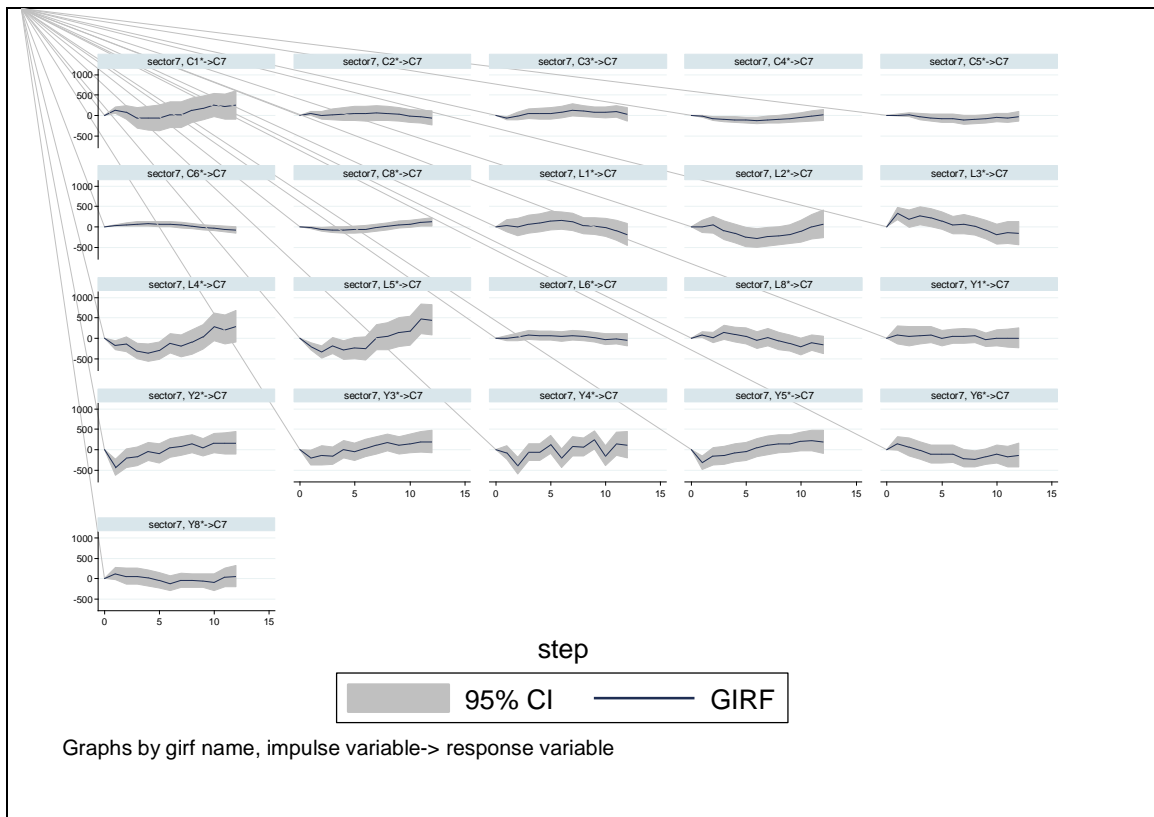




Όμοια, η απόκριση της εργασίας και της κατανάλωσης του κλάδου 7 σε μοναδιαία διαταραχή στις υπόλοιπες μεταβλητές των κλάδων παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.18.

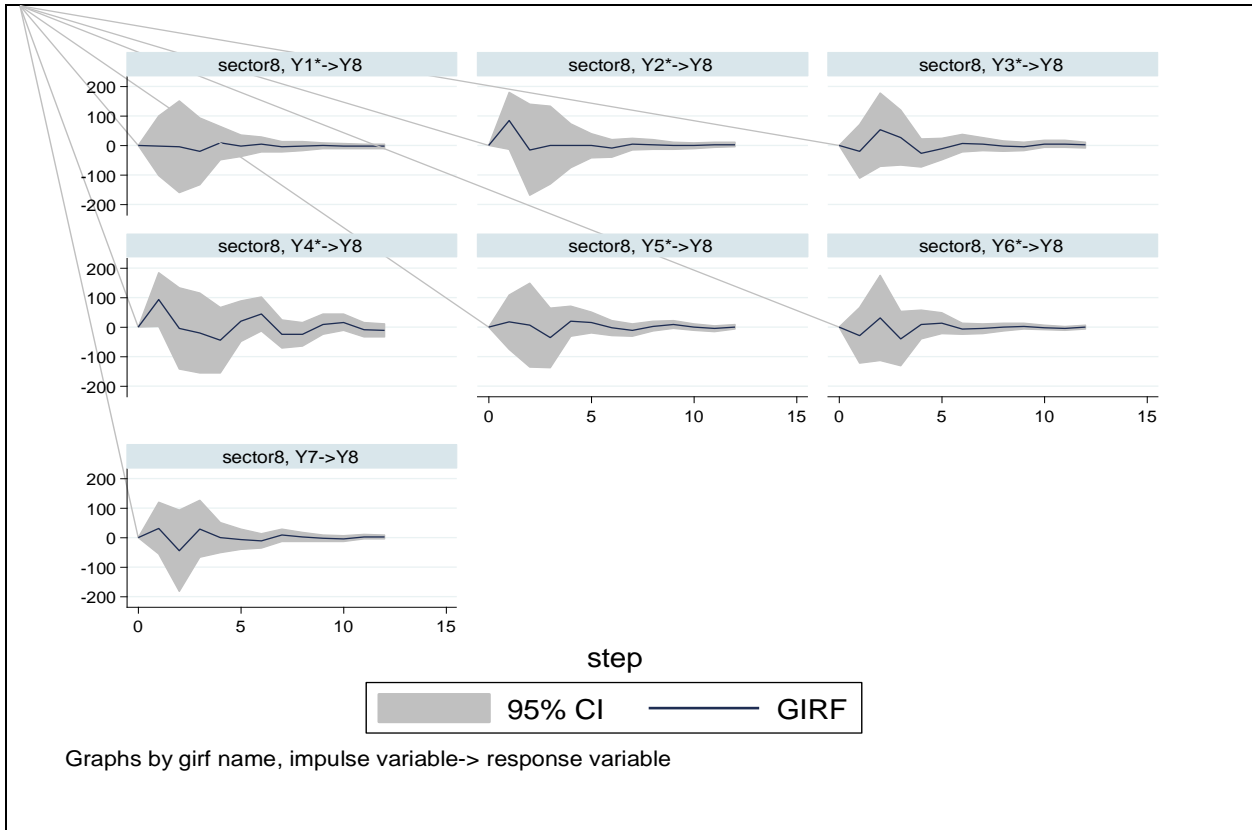
Γράφημα 5.18: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L7) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C7) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).

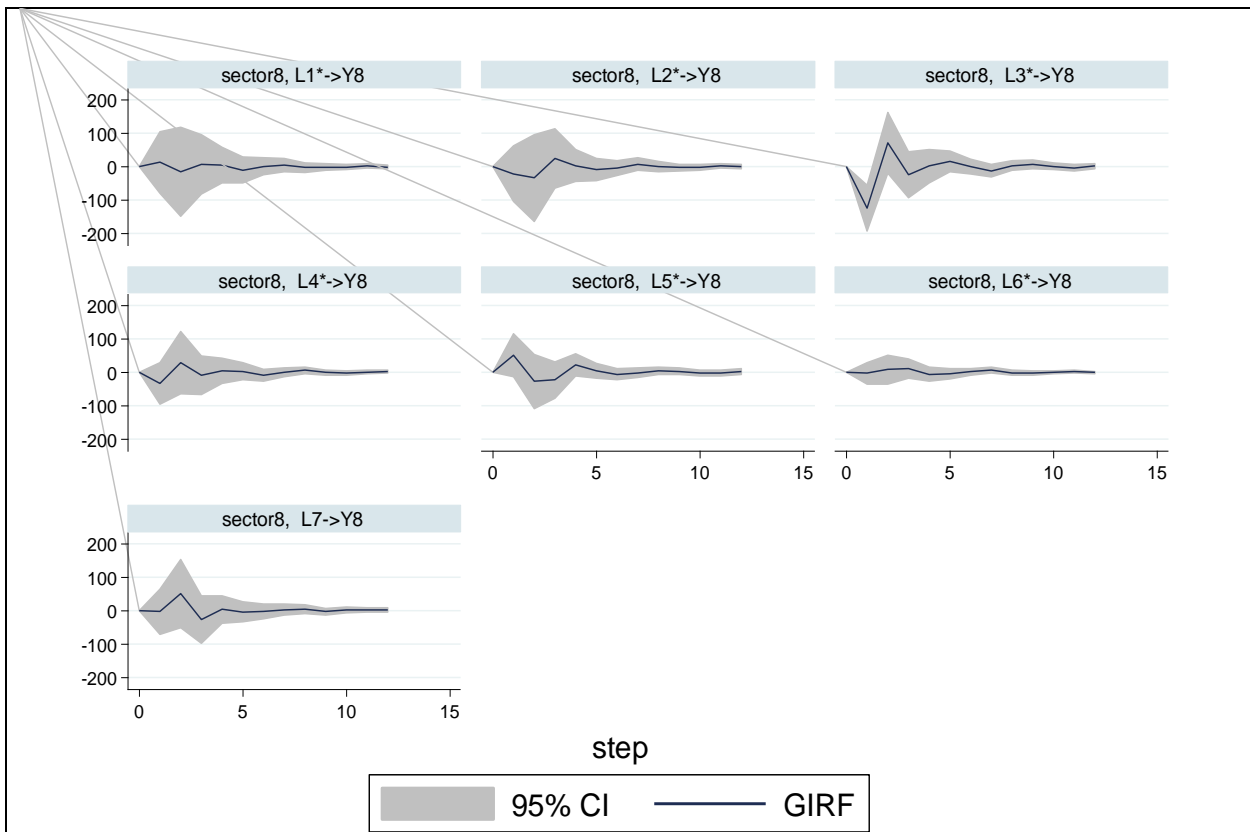




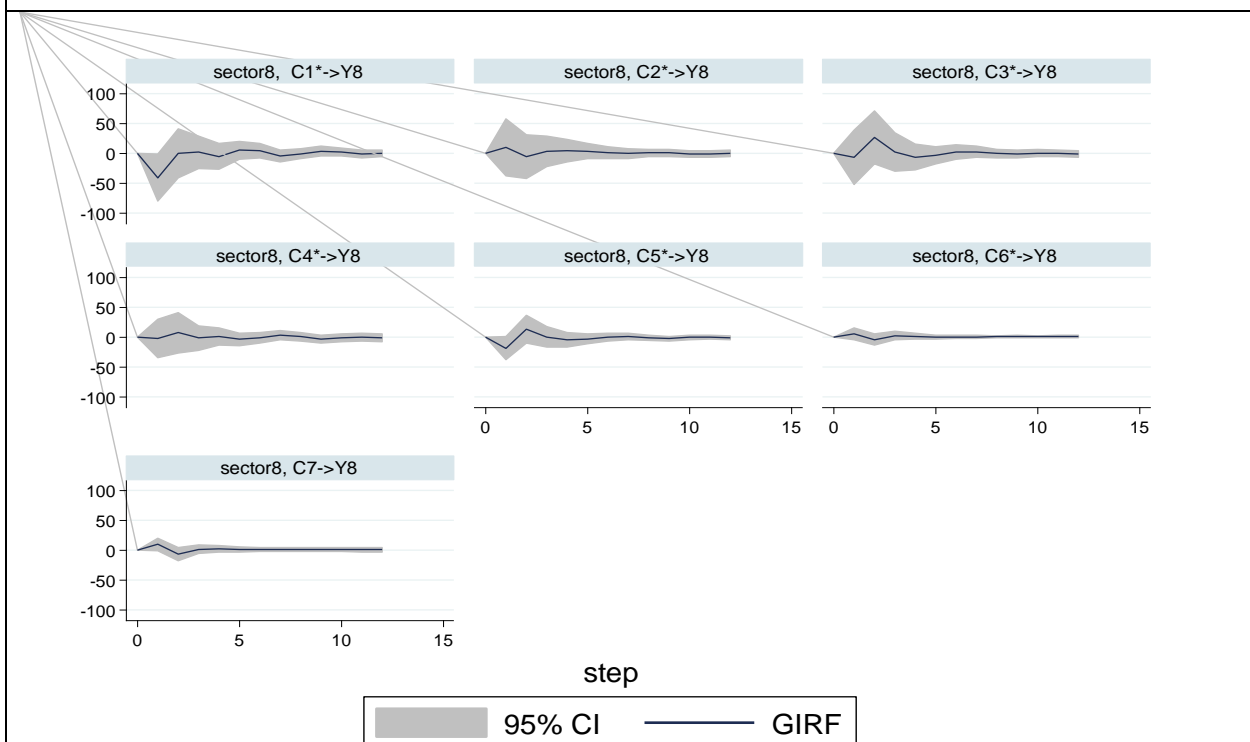
Τέλος, παρουσιάζουμε τις εκτιμήσεις GIRF της παραγωγής του κλάδου 8 σε μοναδιαία διαταραχή στην υπόλοιπη παραγωγή, εργασία και κατανάλωση των κλάδων στο Γράφημα 5.19, παρακάτω.

Γράφημα 5.19: Δυναμική απόκριση της παραγωγής για τον όγδοο κλάδο σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Σχήμα 1), στην Εργασία (Σχήμα 2) και στην Κατανάλωση (Σχήμα 3) των υπόλοιπων κλάδων.





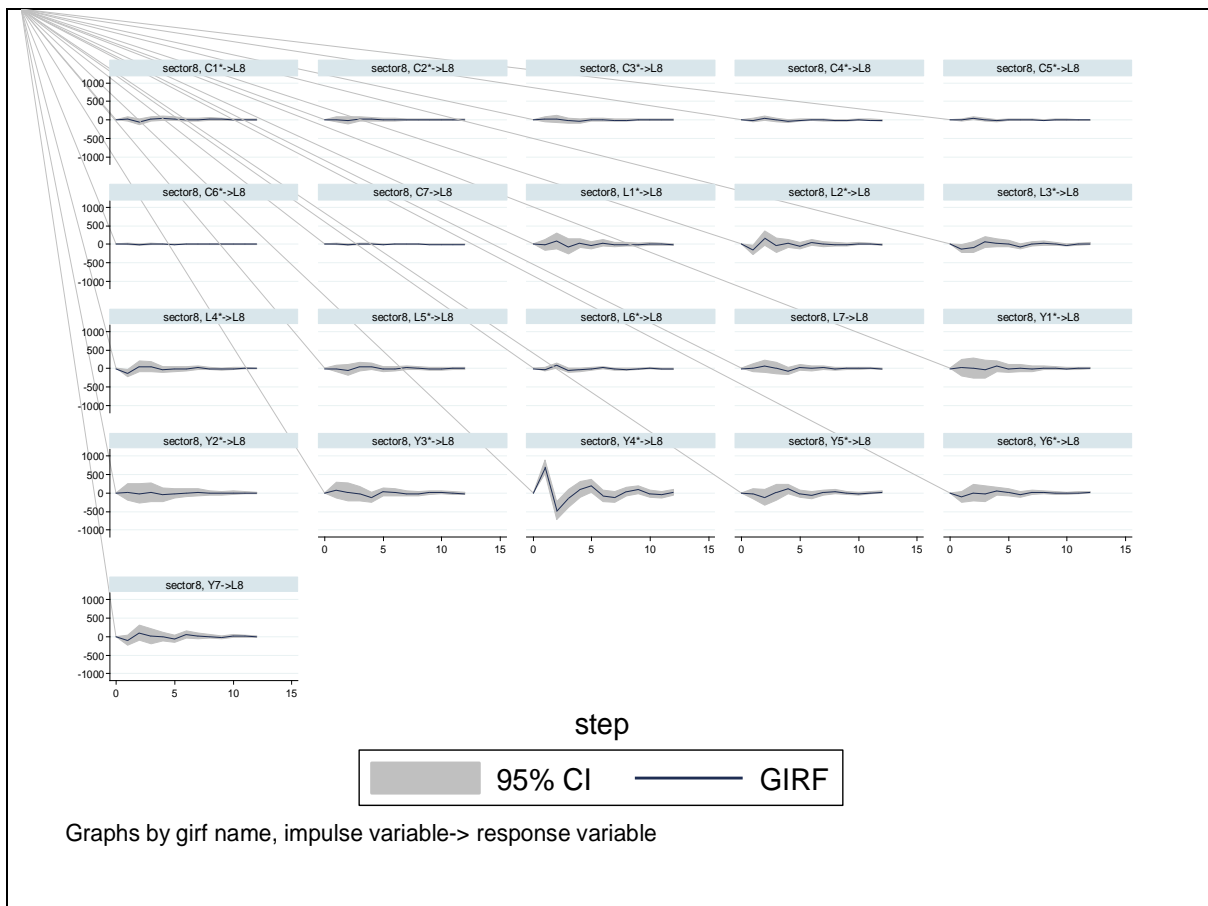
Graphs by girl name, impulse variable-> response variable

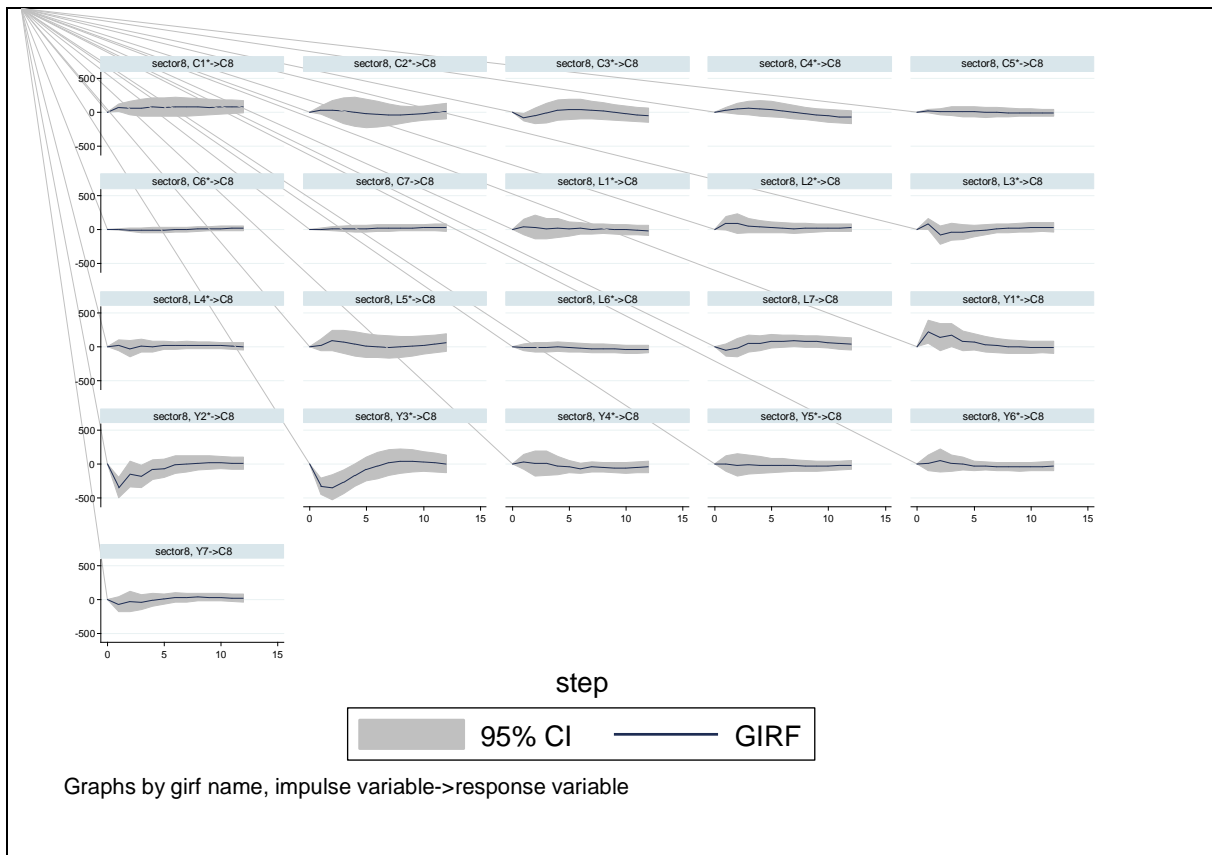


Graphs by girl name, impulse variable-> response variable

Η απόκριση της εργασίας και της κατανάλωσης του κλάδου 8 σε μοναδιαία διαταραχή στις υπόλοιπες μεταβλητές των κλάδων παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.20.

Γράφημα 5.20: Δυναμική απόκριση της Εργασίας (L8) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Κατανάλωση (C) (Σχήμα 1), και δυναμική απόκριση της Κατανάλωσης (C8) σε μοναδιαία διαταραχή στην Παραγωγή (Y) και στην Εργασία (L) (Σχήμα 2).





Συνοψίζοντας, με βάση τα ευρήματά μας, ο κυρίαρχος κλάδος στην αμερικανική οικονομία, για την περίοδο 1992-2015, είναι ο κλάδος χρηματοπιστωτικές και ασφαλιστικές δραστηριότητες, ενημέρωση και επικοινωνία, άλλες δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι σε όλους τους κλάδους η εργασία φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από την παραγωγή και αντίστροφα, ενώ η κατανάλωση φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή στους περισσότερους κλάδους, όπως αναμένεται λόγω της επεκτατικής δημοσιονομικής πολιτικής της αμερικανικής οικονομίας. Επιπλέον, με βάση τα ευρήματά μας, η οικονομία των ΗΠΑ φαίνεται να επωφελείται από την αύξηση της κινητικότητας της εργασίας σε κλάδους έντασης γνώσης, αποφεύγοντας έτσι την «παγίδα απασχόλησης» η οποία με τη σειρά της επέτρεψε στην αμερικανική οικονομία να ξεπεράσει την πρόσφατη χρηματοπιστωτική κρίση. Όσον αφορά τις συνέπειες στην πολιτική, τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής των ΗΠΑ κατάφεραν να αντισταθμίσουν μια πιθανή

"παγίδα απασχόλησης" από την πρόσφατη χρηματοπιστωτική κρίση των ΗΠΑ, εφαρμόζοντας στοχοθετημένα μέτρα που ευνοούσαν την κινητικότητα του εργατικού δυναμικού σε κλάδους έντασης γνώσης, αυξάνοντας έτσι την παραγωγικότητα από τη διάδοση γνώσεων (Agrawal et al., 2006 και Huggins and Thomson, 2014).

Στα παραπάνω αποτελέσματα, τα GIRF υποδεικνύουν ότι όλες οι διαταραχές δεν έχουν μακροχρόνια, μόνιμη επίδραση, όσον αφορά την κλαδική παραγωγή, την εργασία και την κατανάλωση, μεταξύ των διαφόρων κλάδων της αμερικανικής οικονομίας. Αυτό το εύρημα υποδηλώνει ότι η κλαδική οικονομία των ΗΠΑ έχει μάλλον ευέλικτο χαρακτήρα σε απροσδόκητα - απρόβλεπτα σοκ, είτε στην εργασία είτε στην κατανάλωση, ακόμα και στην παραγωγή. Όλα τα σοκ (διαταραχές) φαίνονται να έχουν προσωρινό χαρακτήρα, καθώς επιστρέφουν στην ισορροπία σχετικά γρήγορα, σε λιγότερο από οκτώ (8) τρίμηνα. Αξίζει να σημειωθεί ότι, σε όλες τις περιπτώσεις οι μεταβλητές επιστρέφουν στη θέση ισορροπίας.

Ο κλάδος 7, που είναι και ο κυρίαρχος, με βάση τα αντίστοιχα GIRF, δεν επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά από διαταραχές στους υπόλοιπους κλάδους.

Στη συνέχεια, τα GIRF υποδηλώνουν ότι οι κλάδοι 3, 5, 6 και 7, που αφορούν την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου, ατμού και κλιματισμού (κλάδος 3), τη μεταποίηση (κλάδος 5), το χονδρικό και λιανικό εμπόριο, επισκευή μηχανοκίνητων οχημάτων και μοτοσικλετών (κλάδος 6), και τις χρηματοπιστωτικές και ασφαλιστικές δραστηριότητες, ενημέρωση και επικοινωνία, άλλες δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών (κλάδος 7), είναι οι κλάδοι με τον υψηλότερο βαθμό διασυνδέσεων, όσον αφορά την παραγωγή, με τους υπόλοιπους κλάδους. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στη φύση αυτών των κλάδων, δεδομένου ότι ενεργούν είτε ως κύριος προμηθευτής για την παραγωγή άλλων αγαθών, π.χ. κλάδος 3 και 5 ή ως κορυφικοί κλάδοι ζήτησης για αγαθά, π.χ. κλάδοι 6 και 7. Έτσι, οι περισσότεροι από τους προαναφερθέντες κλάδοι παρουσιάζουν σημαντικές διασυνδέσεις με τουλάχιστον δύο άλλους κλάδους στην οικονομία των ΗΠΑ. Επιπλέον, οι

κλάδοι 2, 3, 4, 5, 6, 7 και 8, οι οποίοι αφορούν τα ορυχεία και λατομεία (κλάδος 2), την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου, ατμού και κλιματισμού (κλάδος 3), τις κατασκευές (κλάδος 4), τη μεταποίηση (κλάδος 5), το χονδρικό και λιανικό εμπόριο, επισκευή μηχανοκίνητων οχημάτων και μοτοσικλετών (κλάδος 6), την τεχνολογία της πληροφορίας, τις χρηματοοικονομικές υπηρεσίες και τις επικοινωνίες (κλάδος 7) και οι υπηρεσίες εκπαίδευσης και υγείας (κλάδος 8), είναι οι κλάδοι με τον υψηλότερο βαθμό διασύνδεσης από πλευράς εργασίας, με τους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας. Το γεγονός ότι μόνο ο κλάδος 1 δεν φαίνεται να έχει σημαντική διασύνδεση από πλευράς εργασίας με τους υπόλοιπους κλάδους μπορεί να αποδοθεί στον ιδιοσυγκρασιακό χαρακτήρα του πρώτου κλάδου, ο οποίος αντιπροσωπεύει την πρωτογενή παραγωγή αγαθών, δεδομένου ότι δεν απαιτεί καμία συγκεκριμένη εξειδίκευση από πλευράς εργασίας, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους κλάδους των ΗΠΑ. Επιπλέον, το γεγονός ότι ο κυρίαρχος κλάδος (κλάδος 7) είναι ο πλέον διασυνδεδεμένος κλάδος όσον αφορά την εργασία επαληθεύει την άποψη ότι οι υπηρεσίες - παρά η μεταποίηση - οδηγούν στη συνολική δυναμική απασχόλησης. Αυτό δεν πρέπει να αποτελεί έκπληξη, καθώς οι ΗΠΑ είναι μια οικονομία υπηρεσιών (Desmet και Fafchamps, 2005).

5.5 Έμμεση επίδραση ηλιακών γεγονότων στους διάφορους τομείς παραγωγής των ΗΠΑ, μέσω του κλάδου ηλεκτρικής ενέργειας

Στην παρούσα ενότητα, χρησιμοποιούμε ένα σύνολο δεδομένων που περιλαμβάνει τόσο κλαδικές οικονομικές μεταβλητές όσο και μεταβλητές που καταγράφουν την ηλιακή δραστηριότητα. Σε αυτό το πλαίσιο, για να μοντελοποιήσουμε κάθε κλάδο της αμερικανικής οικονομίας, χρησιμοποιούμε τα κλαδικά στοιχεία των ΗΠΑ, σχετικά με την παραγωγή κάθε κλάδου σε εκατομμύρια δολάρια, σε τρέχουσες τιμές. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται ο αποπληθωριστής του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) των ΗΠΑ το 2010, σε σταθερές τιμές. Επίσης, αντλήθηκαν τα δεδομένα: κεφάλαιο και αριθμός εργαζομένων, σε κάθε κλάδο σε χιλιάδες εργαζομένους. Τα στοιχεία προέρχονται από τον Οργανισμό Οικονομικής Ανάπτυξης (O.E.C.D.). Τα κλαδικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ελήφθησαν σε ετήσια μορφή και καλύπτουν την περίοδο 1998-2014. Ο αποπληθωριστής του ΑΕΠ των ΗΠΑ χρησιμοποιήθηκε για να μετασχηματίσει τις μεταβλητές χρονολογικών σειρών της κλαδικής παραγωγής και του κλαδικού κεφαλαίου, σε σταθερές τιμές του 2010. Όλα τα κλαδικά δεδομένα μετατράπηκαν σε μηνιαίες χρονολογικές σειρές, με βάση τους Pesaran et al. (2004).

Για να ποσοτικοποιήσουμε τα ηλιακά αποτελέσματα, χρησιμοποιούμε τρία διαφορετικά μέτρα. Ίσως, το πιο γνωστό μέτρο της ηλιακής δραστηριότητας όπως είδαμε είναι ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων που παρατηρούνται στην επιφάνεια του ήλιου. Ένα δεύτερο δημοφιλές μέτρο ποσοτικοποίησης της έντασης της ηλιακής δραστηριότητας είναι η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου (V_{sw}). Τέλος, ένα τρίτο μέτρο είναι οι ηλιακές εκλάμψεις, οι οποίες συνεπάγονται ακραίες εκρήξεις ενέργειας. Οι ηλιακές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι οι ηλιακές εκλάμψεις, που προέρχονται από το National Oceanic and Atmospheric Administration (N.O.A.A.), η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου (V_{sw}) μετρούμενη σε ($km * s^{-1}$) και ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων, και τα δύο προέρχονται από το omniweb της NASA. Οι εκλάμψεις ελήφθησαν σε μηνιαία μορφή, το V_{sw} και

ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων ελήφθησαν σε ημερήσια μορφή και μετατράπηκαν σε μηνιαίες χρονολογικές σειρές με άθροιση. Τα ηλιακά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καλύπτουν την περίοδο 1998 (M1) - 2014 (M12) με βάση τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Ο πίνακας 5.20, παρακάτω, συνοψίζει τους κωδικούς και τα ονόματα των κλαδικών δεδομένων και στους πίνακες 5.21 και 5.22 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των χρονοσειρών.

Πίνακας 5.20: Ονόματα και κωδικοί των κλάδων παραγωγής.

Όνομα κλάδου	Κωδικός
ΓΕΩΡΓΙΑ, ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΛΙΕΙΑ	A
ΟΡΥΧΕΙΑ ΚΑΙ ΛΑΤΟΜΕΙΑ	B
ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ	C
ΠΑΡΟΧΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ, ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ, ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΠΑΡΟΧΗ ΝΕΡΟΥ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ	D-E
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	F
ΧΟΝΔΡΙΚΟ ΚΑΙ ΛΙΑΝΙΚΟ ΕΜΠΟΡΙΟ, ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΤΟΣΙΚΛΕΤΩΝ	G
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	H
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΕΣΤΙΑΣΗΣ	I
ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ	J
ΧΡΗΜΑΤΟΠΙΣΤΩΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	K
ΔΙΧΕΙΡΙΣΗ ΑΚΙΝΗΤΗΣ ΠΕΡΙΟΥΣΙΑΣ, ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	L-N

Στην παρούσα ενότητα, χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες συντομογραφίες: ο κωδικός του κάθε κλάδου υποδηλώνει την κλαδική παραγωγή, ενώ δηλώνουμε το κεφάλαιο (του αντίστοιχου κλάδου), χρησιμοποιώντας τον κωδικό του κάθε κλάδου ακολουθούμενο από K, δηλαδή Code_K, και τον κλαδικό αριθμό εργαζομένων (αντίστοιχα), χρησιμοποιώντας τον κωδικό κάθε κλάδου ακολουθούμενο από L, δηλαδή Code_L. Ως εκ τούτου, για παράδειγμα, το A_K υποδηλώνει το κλαδικό κεφάλαιο του κλάδου της γεωργίας, της δασοκομίας και της αλιείας, ενώ η A_L υποδηλώνει τον αντίστοιχο αριθμό εργαζομένων του ίδιου κλάδου.

Πίνακας 5.21: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των κλάδων παραγωγής.

Οικονομικές μεταβλητές	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος
A	309.75	38.22	254.97	389.09	300.79
A_K	3398.65	1276.72	1922.23	6825.33	3027.76
A_L	182.60	7.01	173.14	195.30	180.47
B	389.20	43.57	308.58	475.78	388.17
B_K	8776.64	4593.64	3141.64	17695.83	9274.65
B_L	53.31	8.98	42.61	71.75	52.08
C	4196.02	351.06	3727.88	4735.65	4156.52
C_K	29507.72	4485.45	23279.94	38512.67	28820.39
C_L	1220.99	165.67	1006.78	1518.50	1232.04
D-E	403.35	40.61	316.15	505.20	395.21
D-E_K	7508.32	2081.05	4198.67	11499.83	6823.89
D-E_L	77.45	1.22	75.17	80.17	77.70

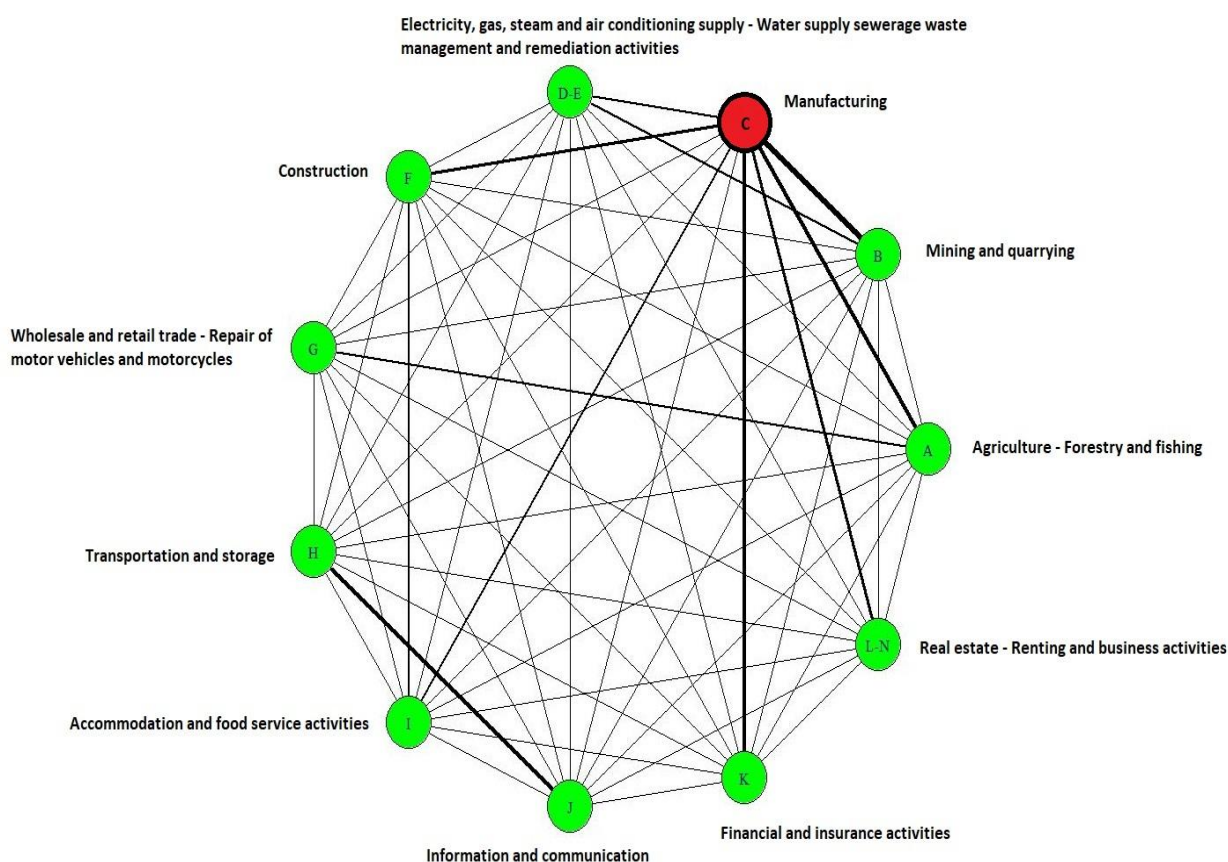
F	941.36	130.39	711.92	1177.81	898.67
F_K	2856.07	566.47	1614.59	3878.72	2816.91
F_L	707.26	68.40	604.27	821.49	718.83
G	1851.19	253.65	1352.73	2320.14	1887.88
G_K	11648.10	1516.83	9159.67	14586.92	11758.65
G_L	1950.03	45.33	1859.89	2026.94	1956.07
H	728.56	85.10	562.56	886.70	733.02
H_K	6194.26	1293.74	4166.16	10596.67	6211.61
H_L	469.48	12.32	442.79	488.19	471.02
I	547.15	51.87	447.17	667.79	547.30
I_K	2712.85	622.46	1950.85	4554.43	2423.85
I_L	939.84	61.38	825.83	1069.75	953.07
J	1097.19	218.84	659.52	1543.79	1081.23
J_K	19033.40	1977.39	14351.42	23379.08	19590.02
J_L	390.90	16.78	370.54	432.41	386.28
K	1394.00	262.12	797.86	1788.04	1522.01
K_K	11596.50	1357.96	9316.75	14932.33	11159.17
K_L	514.92	13.87	494.17	543.42	510.61
L-N	3838.62	428.08	3058.33	4574.44	3839.79
L-N_K	66047.25	12801.58	48826.00	91580.32	62342.87
L-N_L	1647.66	65.56	1510.17	1782.42	1632.49

Πίνακας 5.22: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των ηλιακών μεταβλητών.

Ηλιακές μεταβλητές	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος
Sunspot Number	1708.24	7338.54	-6119	11571	690.48
Vsw	-478.27	12213.67	-16927	12468	1272.97
Flares	1605.81	7623.17	-7094	11395	1061.11

Ξεκινάμε την ανάλυσή μας με την παρουσίαση της κλαδικής οικονομίας των ΗΠΑ ως δικτύου. Σε αυτό το πλαίσιο, στο Γράφημα 5.21 παρουσιάζεται το σταθμισμένο δίκτυο των κλάδων που εισέρχονται στο μοντέλο. Η δομή του δικτύου είναι «κυκλική», υπό την έννοια ότι όλοι οι τομείς αλληλοσυνδέονται μεταξύ τους. Μπορούμε να συμπεράνουμε οπτικά ότι ο κλάδος της μεταποίησης είναι ο κυρίαρχος κλάδος της δομής του δικτύου της αμερικανικής οικονομίας, από την άποψη της κεντρικότητας.

Γράφημα 5.21: Γράφημα δικτύου της κλαδικής οικονομίας των ΗΠΑ.



Ακολουθώντας τις μεθοδολογίες που έχουν περιγραφεί στο Κεφάλαιο 4 (Μεθοδολογία), διερευνήσαμε την ύπαρξη κυρίαρχου κλάδου, χρησιμοποιώντας την έννοια της κεντρικότητας (centrality). Σε αυτό το πλαίσιο, ο Πίνακας 5.23 παρουσιάζει τις τιμές του μετασχηματισμένου πίνακα εισροών-εκροών των ΗΠΑ. Με βάση τα ευρήματά μας, ο κλάδος C, ο οποίος αντιπροσωπεύει τη μεταποίηση, παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές κεντρικότητας, υποδηλώνοντας ότι διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στο δίκτυο.

Πίνακας 5.23: Τιμές της κεντρικότητας (centrality) του μετασχηματισμένου πίνακα εισροών-εκροών (ΙΟ) των ΗΠΑ.

Κλάδος	Alpha κεντρικότητα	Κεντρικότητα Ιδιοδιανυσμάτων
A	-1.31	0.47
B	-2.13	0.59
C	-3.28	1.00
D-E	-0.75	0.35
F	-0.51	0.36
G	-0.32	0.29
H	0.13	0.28
I	-0.45	0.33
J	0.13	0.30
K	-1.23	0.42
L-N	-0.78	0.37

Αφού προσδιορίσαμε την κυρίαρχη οντότητα στο δίκτυό μας, προχωράμε στους σχετικούς ελέγχους χρονοσειρών που πρέπει να υλοποιηθούν πριν από την εκτίμηση του μοντέλου δικτύου GVAR. Σε αυτό το πλαίσιο, αρχίζουμε εξετάζοντας τα χαρακτηριστικά στασιμότητας των χρονοσειρών. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.24, με βάση το τεστ Philips Peron, πολλές χρονολογικές σειρές είναι στάσιμες στις πρώτες διαφορές, δηλ. I(1).

Πίνακας 5.24: P-value του τεστ μοναδιαίας ρίζας Philips Peron για τις χρονοσειρές.

Κλάδος	PP τεστ	Βαθμός ολοκλήρωσης
A	0.99	I(1)
B	0.47	I(1)
C	0.99	I(1)
D-E	0.99	I(1)
F	0.75	I(1)
G	0.78	I(1)
H	0.96	I(1)
I	0.98	I(1)
J	0.81	I(1)
K	0.78	I(1)
L-N	0.90	I(1)
Sunspot_No	0.28	I(1)
Vsw	0.01	I(0)
Flares	0.01	I(0)

Παρουσία μεταβλητών I(1), πρέπει να εξετάσουμε την πιθανή ύπαρξη μακροχρόνιων σχέσεων συνολοκλήρωσης, μεταξύ των μεταβλητών που υπεισέρχονται στο μοντέλο μας. Ως εκ τούτου, ως επόμενο βήμα, χρησιμοποιούμε το τεστ συνολοκλήρωσης του Johansen (1995) για να ελέγξουμε εάν κάποια από τις χρονοσειρές είναι συνολοκληρωμένη. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.25, υπάρχουν αρκετές σχέσεις συνολοκλήρωσης μεταξύ της κλαδικής παραγωγής και του κεφαλαίου και του αριθμού των εργαζομένων. Αυτό, με τη σειρά του, συνεπάγεται ότι για κάθε κλάδο στο δίκτυο GVAR πρέπει να εκτιμηθεί ένα διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο διόρθωσης σφάλματος (VECX), αντί για ένα διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο (VARX).

Πίνακας 5.25: Έλεγχος συνολοκλήρωσης Johansen των χρονοσειρών.

T-statistics	r ≤ 2	r ≤ 1	r = 0
10pct (90% critical value)	6.50	12.91	18.90
A	0.44	4.31	31.60
B	0.09	7.84	32.04
C	8.03	8.55	26.76
D-E	1.50	11.64	21.11
F	2.76	12.02	26.83
G	1.58	10.03	32.31
H	0.20	7.18	13.96
I	0.73	14.44	28.57
J	2.21	10	24.78
K	0.08	5.49	24.22
L-N	1.92	8.89	20.53

Στη συνέχεια, εκτιμάμε το μοντέλο δικτύου GVAR. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα πλαίσια της ανάλυσης της παρούσας ενότητας, ο ενεργειακός κλάδος είναι ο μοναδικός κλάδος που έχει ως εξωγενείς μεταβλητές τις μεταβλητές που εκφράζουν την ηλιακή δραστηριότητα, δηλαδή τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων, την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου και τις ηλιακές εκλάμψεις. Στο Γράφημα 5.22 παρουσιάζεται εποπτικά η ευστάθεια του μοντέλου.

Γράφημα 5.22 (Γραφήματα A1-A11): Γραφήματα ευστάθειας των μοντέλων VECM για κάθε κλάδο.

Figure A1.1, stability of VECM, sector A

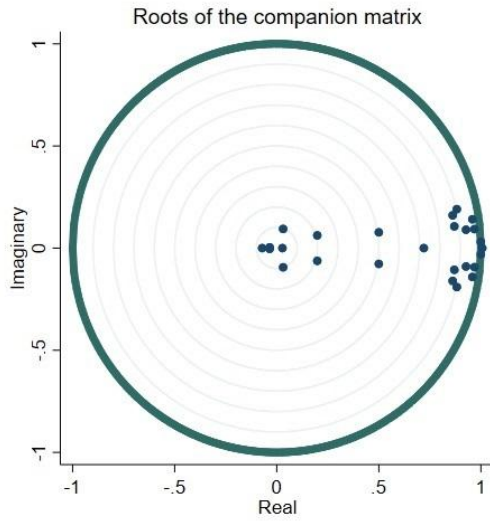


Figure A1.2, stability of VECX, sector B

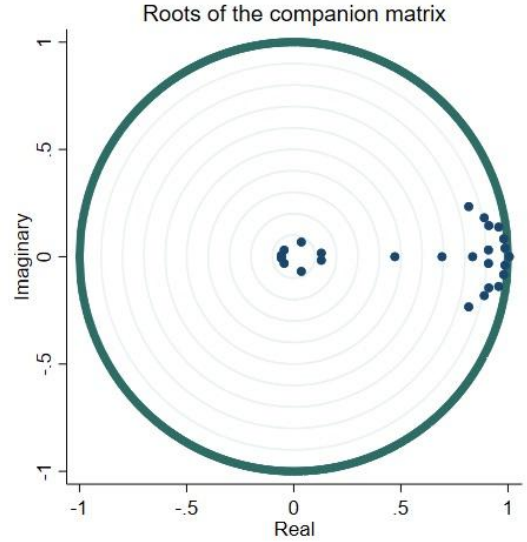


Figure A1.3, stability of VECM, sector C

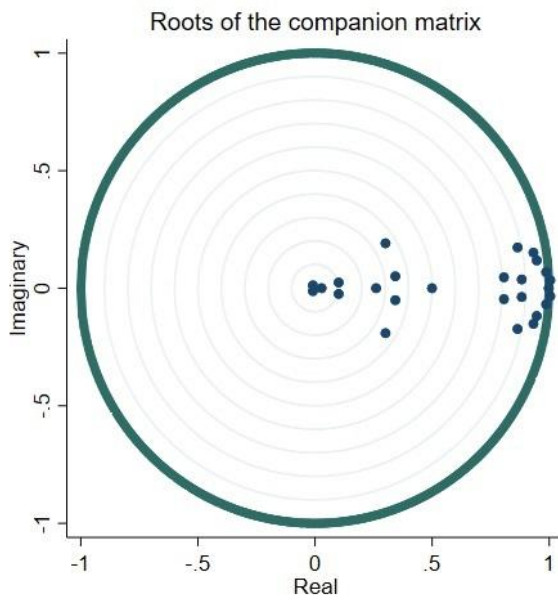


Figure A1.4, stability of VECM, sector D-E

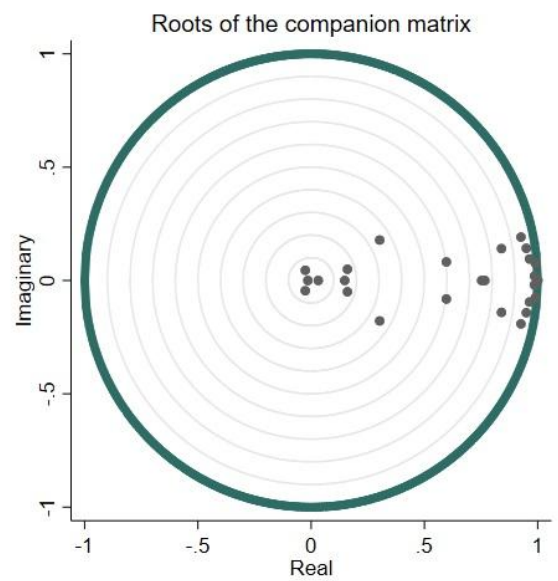


Figure A1.5, stability of VECM, sector F

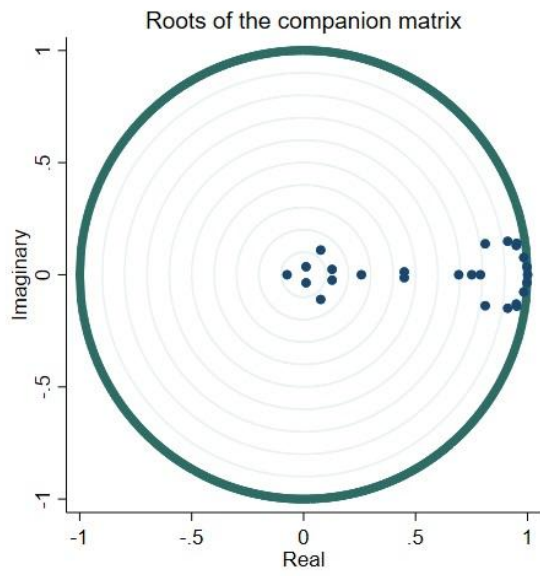


Figure A1.6, stability of VECM, sector G

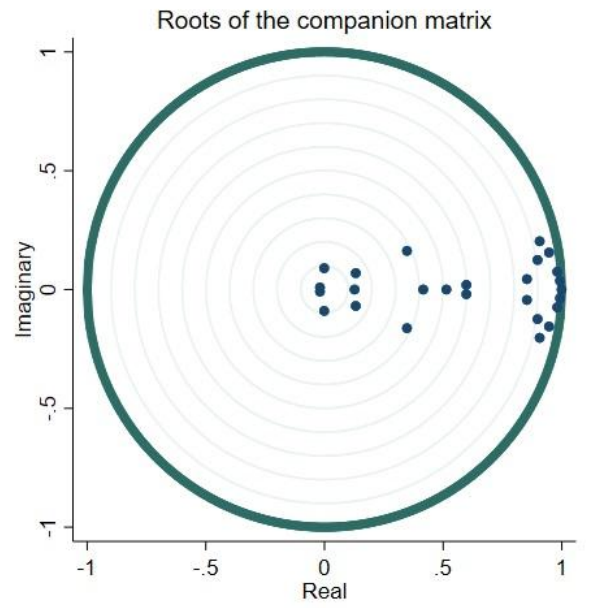


Figure A1.7, stability of VECM, sector H

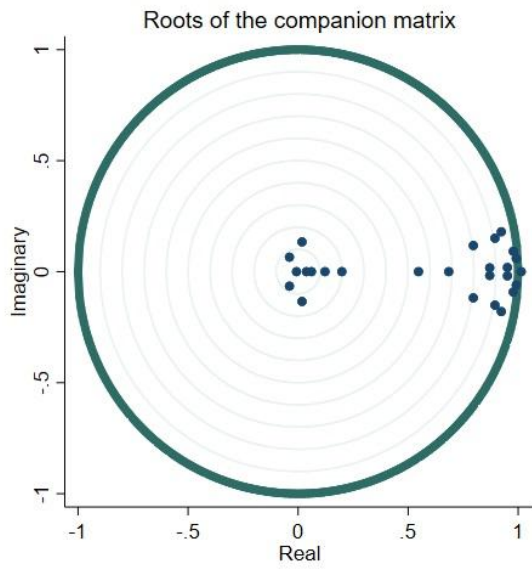


Figure A1.8, stability of VECM, sector I

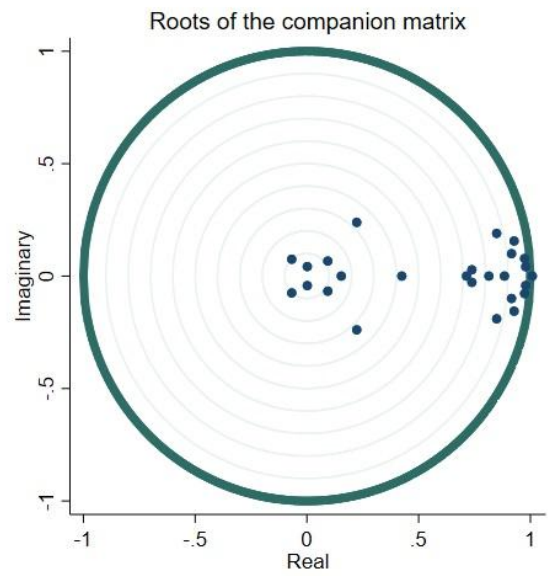


Figure A1.9, stability of VECM, sector J

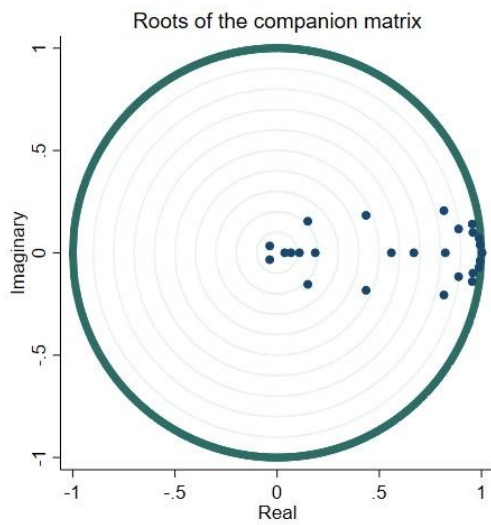


Figure A1.10, stability of VECM, sector K

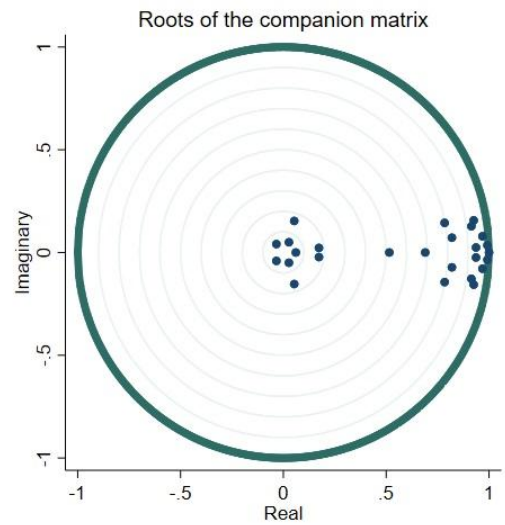
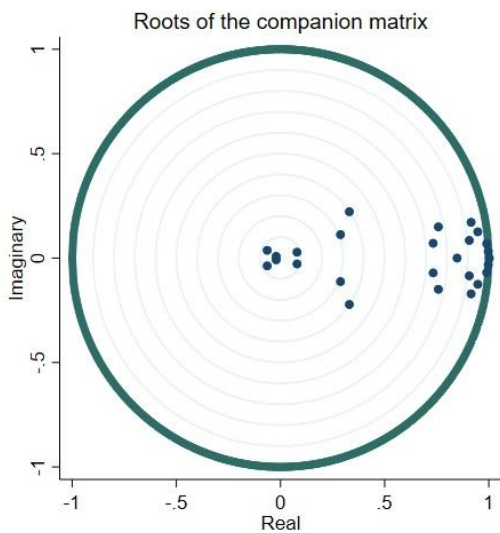
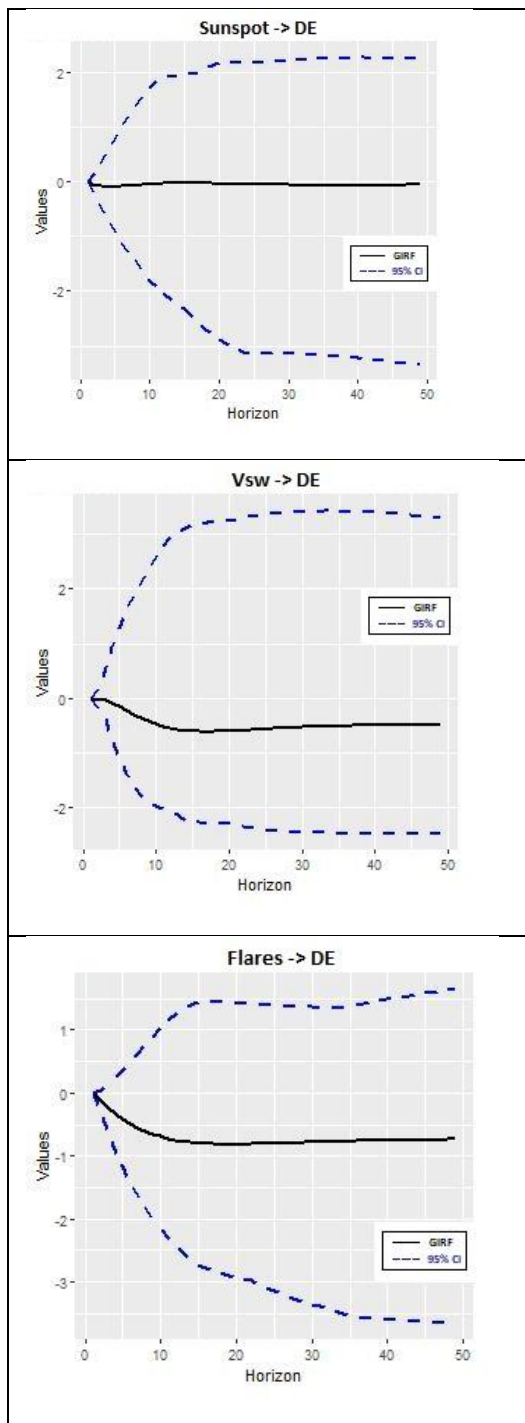


Figure A1.11, stability of VECM, sector L-N

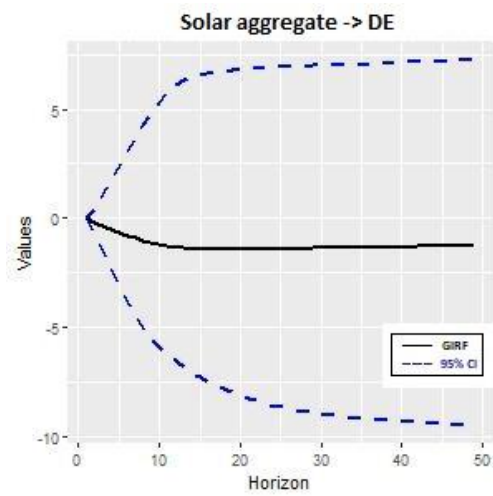


Από το Γράφημα 5.22 παρατηρούμε ότι υπάρχει ευστάθεια και, επομένως, μπορούμε στη συνέχεια να περάσουμε στην ανάλυση των συναρτήσεων απόκρισης. Σε αυτό το πλαίσιο, αποτυπώνουμε το σοκ των εξωγενών μεταβλητών στον ενεργειακό κλάδο, καθώς και το συνολικό αποτέλεσμα των ηλιακών επιδράσεων στον ενεργειακό κλάδο μέσω των αντίστοιχων GIRF (Γράφημα 5.23 & Γράφημα 5.24).

Γράφημα 5.23: Αντίδραση του κλάδου ενέργειας σε διαταραχές των ηλιακών μεταβλητών (ηλιακές κηλίδες, ταχύτητα ηλιακού ανέμου και ηλιακές εκλάμψεις).

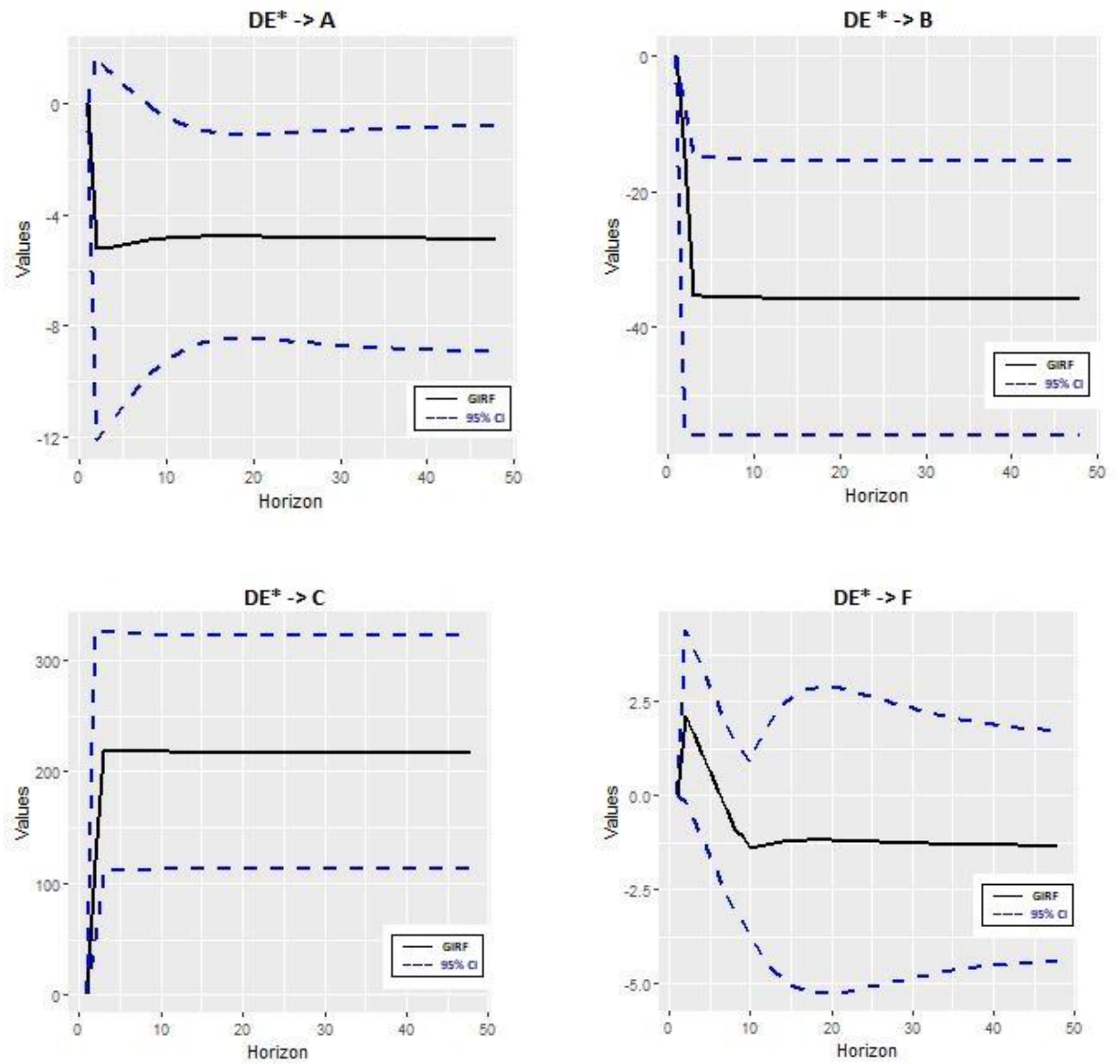


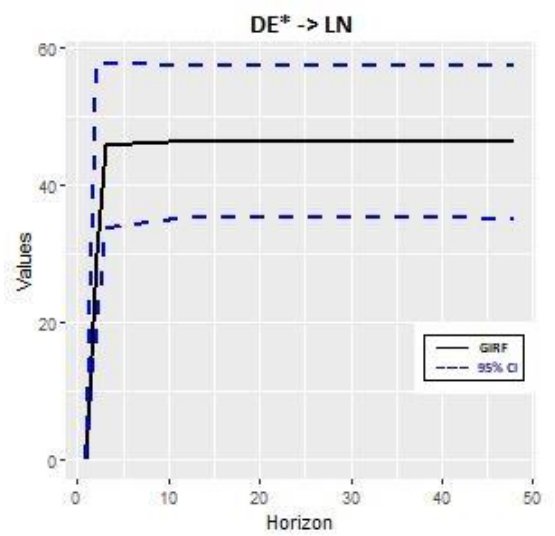
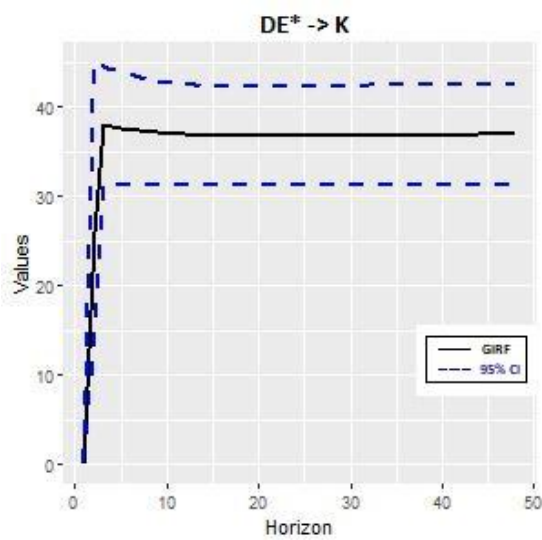
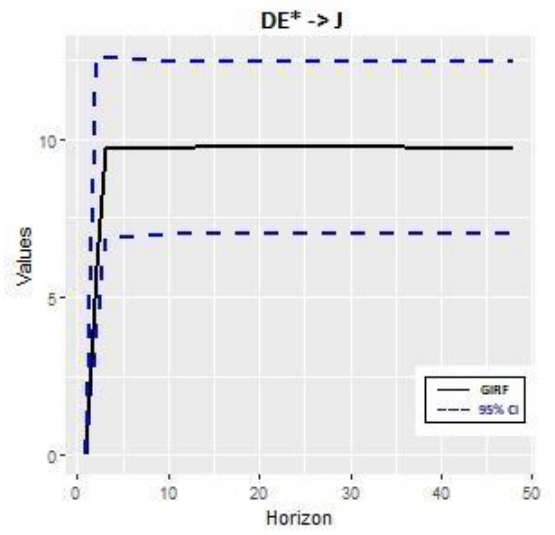
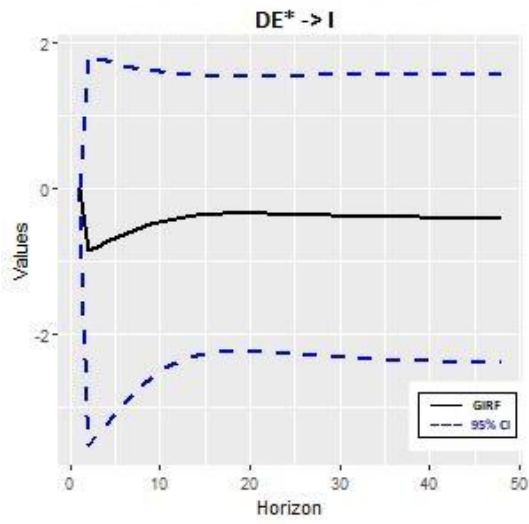
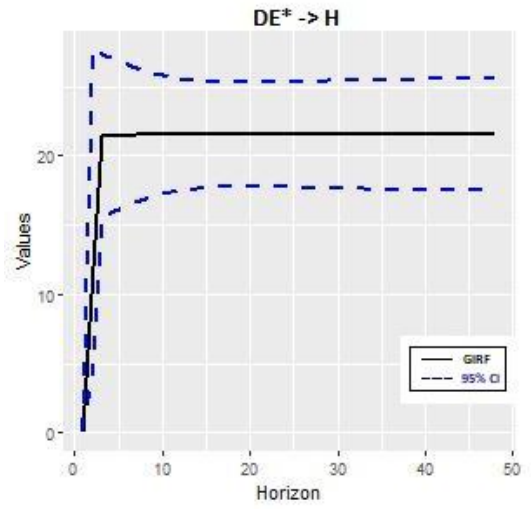
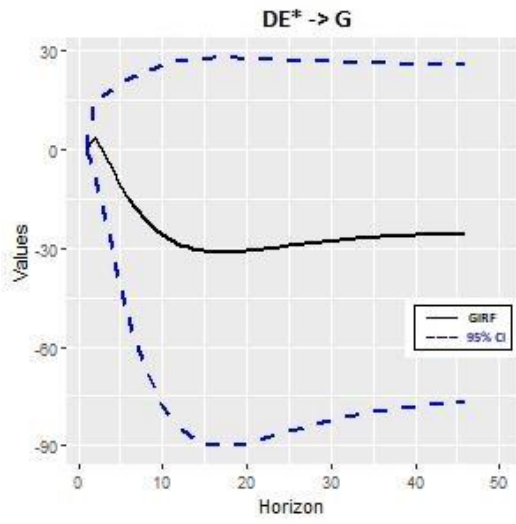
Γράφημα 5.24: Αντίδραση του κλάδου ενέργειας σε μοναδιαίο σοκ των αθροιστικών ηλιακών μεταβλητών (άθροιση σοκ όλων των ηλιακών μεταβλητών μαζί).



Στη συνέχεια, με τη χρήση των έμμεσων GIRFs, καταγράφουμε την έμμεση επίδραση του σοκ από τον ενεργειακό κλάδο (D-E) στους άλλους κλάδους της οικονομίας (Γράφημα 5.25).

Γράφημα 5.25: Αντίδραση παραγωγής κάθε κλάδου (A,B,C,F,G,H,I,J,K,LN) σε αθροιστική έμμεση μοναδιαία διαταραχή των ηλιακών μεταβλητών στον κλάδο ενέργειας.





Σύμφωνα με το Γράφημα 5.25, η απόκριση της παραγωγής των κλάδων: μεταποίηση και αποθήκευση, ενημέρωση και επικοινωνία, χρηματοπιστωτικές και ασφαλιστικές δραστηριότητες, ακίνητα και μίσθωση, και επιχειρηματικές δραστηριότητες, για το έμμεσο, αθροιστικό σοκ των ηλιακών μεταβλητών στον ενεργειακού κλάδο, είναι θετική και στατιστικά σημαντική. Από την άλλη πλευρά, η αντίδραση της παραγωγής των κλάδων: γεωργία, δασοκομία και αλιεία, ορυχεία και λατομεία σε συνολικές μονάδες διαταραχών στις ηλιακές μεταβλητές του ενεργειακού κλάδου είναι αρνητική και, επίσης, στατιστικά σημαντική. Όσον αφορά τις κατασκευές, τον κλάδο των δραστηριοτήτων υπηρεσιών παροχής καταλύματος και υπηρεσιών εστίασης, καθώς και τον κλάδο χονδρικού και λιανικού εμπορίου και επισκευών μηχανοκίνητων οχημάτων και των μοτοσικλετών, οι αντιδράσεις δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

Ωστόσο, λόγω της διασύνδεσης της κλαδικής οικονομίας, η επίδραση ακραίων ηλιακών γεγονότων δεν περιορίζεται μόνο στον ενεργειακό κλάδο, αλλά επηρεάζει έμμεσα και τους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην εγγενή εξάρτηση όλων των κλάδων.

Ο κλάδος ενέργειας δείχνει να έχει ιδιαίτερη σημασία για τη σωστή λειτουργία και των υπολοίπων. Αυτό δεν θα έπρεπε να κάνει εντύπωση, καθώς, όπως δείχνουν οι Kuruppuarachchi και Premachandra (2016), ο κλάδος της ενέργειας έχει τον υψηλότερο βαθμό διασύνδεσης σε σύγκριση με άλλους κλάδους, με συνεχείς συσχετισμούς μεταξύ ενεργειακών και μη ενεργειακών κλάδων. Πιο αναλυτικά, στον κλάδο των μεταφορών, η ζήτηση ενέργειας αυξήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς παρατηρείται αύξηση των μεταφερόμενων εμπορευμάτων και επιβατών (Khana et al., 2018). Έτσι, το στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα της έμμεσης εξάπλωσης του ηλιακού και του διαστημικού καιρού σε αυτόν τον κλάδο είναι ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα. Επίσης, ο κλάδος της μεταποίησης είναι γνωστό ότι χρησιμοποιεί την ενέργεια για τις διαδικασίες μετασχηματισμού και επίσης ως μηχανική και κινητήρια δύναμη (Bergasse και Paczynski, 2013). Αυτό

σημαίνει ότι ένα απρόβλεπτο/απροσδόκητο σοκ που προκαλείται από ακραία ηλιακά φαινόμενα θα είχε αρνητικό αντίκτυπο στον συγκεκριμένο κλάδο. Την ίδια εικόνα παρουσιάζουν και οι κλάδοι των υπηρεσιών (π.χ. εκπαίδευση, εμπόριο, τουρισμός) που καταναλώνουν ενέργεια για τις ανάγκες τους (φωτισμός, μαγείρεμα, ζεστό νερό, θέρμανση, κλιματισμός, πληροφορική, τηλεπικοινωνίες). Όσον αφορά τον χρηματοοικονομικό κλάδο, η κατανάλωση ενέργειας φαίνεται να ενισχύει τις επιδόσεις του κλάδου αυτού (Ishioro, 2019), πράγμα που σημαίνει ότι ο χρηματοοικονομικός κλάδος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον ενεργειακό κλάδο.

Συνοψίζοντας, στο παρόν κεφάλαιο μελετήθηκε η επίδραση των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στην οικονομική δραστηριότητα, και πιο συγκεκριμένα στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών της Γαλλίας καθώς και στους κλάδους των τηλεπικοινωνιών και των χρηματοοικονομικών υπηρεσιών των ΗΠΑ. Επίσης, μελετήθηκε η άμεση επίδραση στον κλάδο ενέργειας των ΗΠΑ και η έμμεση διάχυση από τον κλάδο της ενέργειας σε όλους τους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας των ΗΠΑ. Σε ότι ακολουθεί, στο ίδιο πλαίσιο ανάλυσης, μελετάται η επίδραση του ηλιακού και διαστημικού καιρού στη χρηματοοικονομική δραστηριότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
ΣΤΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

6.1 Επίδραση ηλιακού και διαστημικού καιρού στον δείκτη τιμών Nasdaq

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυση του παρόντος κεφαλαίου, ήταν ο δείκτης Dst, η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου (Vsw) (όλα προέρχονται από το κέντρο πτήσης Space Goddard) και τον δείκτη τιμών του χρηματοπιστωτικού κλάδου του NASDAQ σε τρέχουσες τιμές. Αν και οι περισσότεροι ερευνητές, σε αντίστοιχες μελέτες, χρησιμοποίησαν τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων, εμείς, στην ανάλυσή μας, χρησιμοποιήσαμε τον δείκτη Dst και την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου (Vsw), προκειμένου να καταγράψουμε καλύτερα τόσο τις ηλιακές όσο και τις διαστημικές καιρικές επιδράσεις, καθώς δεν έχει πραγματοποιηθεί καμία σχετική μελέτη. Επίσης, το Vsw αποτελεί χαρακτηριστικό των ηλιακών ρευμάτων, τα οποία διασχίζουν το διαπλανητικό πεδίο, το οποίο είναι πιο κοντά στη Γη από τις ηλιακές κηλίδες οι οποίες υπάρχουν στην επιφάνεια του ήλιου. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί πιο άμεση και πιο «απτή» παρατήρηση, και επίσης, ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων δεν συνεπάγεται πάντοτε ακραία ηλιακή δραστηριότητα. Όλα τα δεδομένα ελήφθησαν σε ημερήσια μορφή και μετατράπηκαν σε εβδομαδιαία χρονολογική σειρά, χρησιμοποιώντας άθροιση. Χρησιμοποιήσαμε άθροιση για να μετατρέψουμε τα ηλιακά δεδομένα και να μη χάσουμε πληροφορία λόγω του ημερολογιακού κενού των χρηματιστηριακών αγορών (5 ημέρες την εβδομάδα). Βάσει της διαθεσιμότητας των δεδομένων, το σύνολο των δεδομένων μας κυμαίνεται από την εβδομάδα 51 του έτους 1998 έως την εβδομάδα 4 του έτους 2018. Όλα τα δεδομένα είναι σε τρέχουσες τιμές. Ελήφθησαν υπόψη σχεδόν 2 ηλιακοί κύκλοι, για να αποφευχθεί τυχόν μεροληψία λόγω ακραίων γεγονότων. Ο Πίνακας 6.1 παρουσιάζει τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των χρονοσειρών που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν κεφάλαιο.

Πίνακας 6.1: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των μεταβλητών (NASDAQ's Finance Sector Price Index, Vsw, Dst).

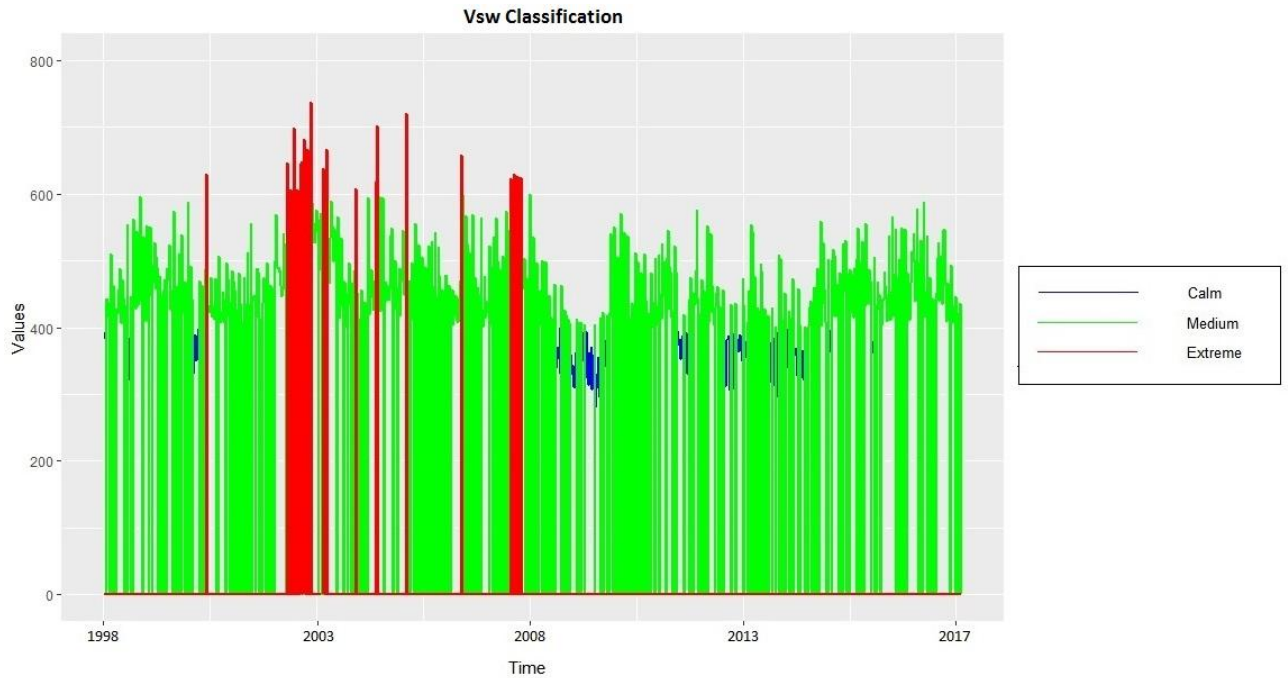
Μεταβλητή	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστο	Μέγιστο
NASDAQ's Finance Sector Price Index	12.33	4.30	3.46	29.39
Vsw	437.90	116.15	279	3320.60
Dst	-12.47	13.21	-101	15.14

Για την καλύτερη απεικόνιση της διαφοράς ανάμεσα σε ήρεμα, μεσαία και ακραία γεγονότα, στην παρούσα εργασία ταξινομήσαμε τα ηλιακά και διαστημικά φαινόμενα, όπως φαίνονται στο Γράφημα 6.1 και Γράφημα 6.2, με βάση τα κριτήρια ταξινόμησης του Πίνακα 6.2.

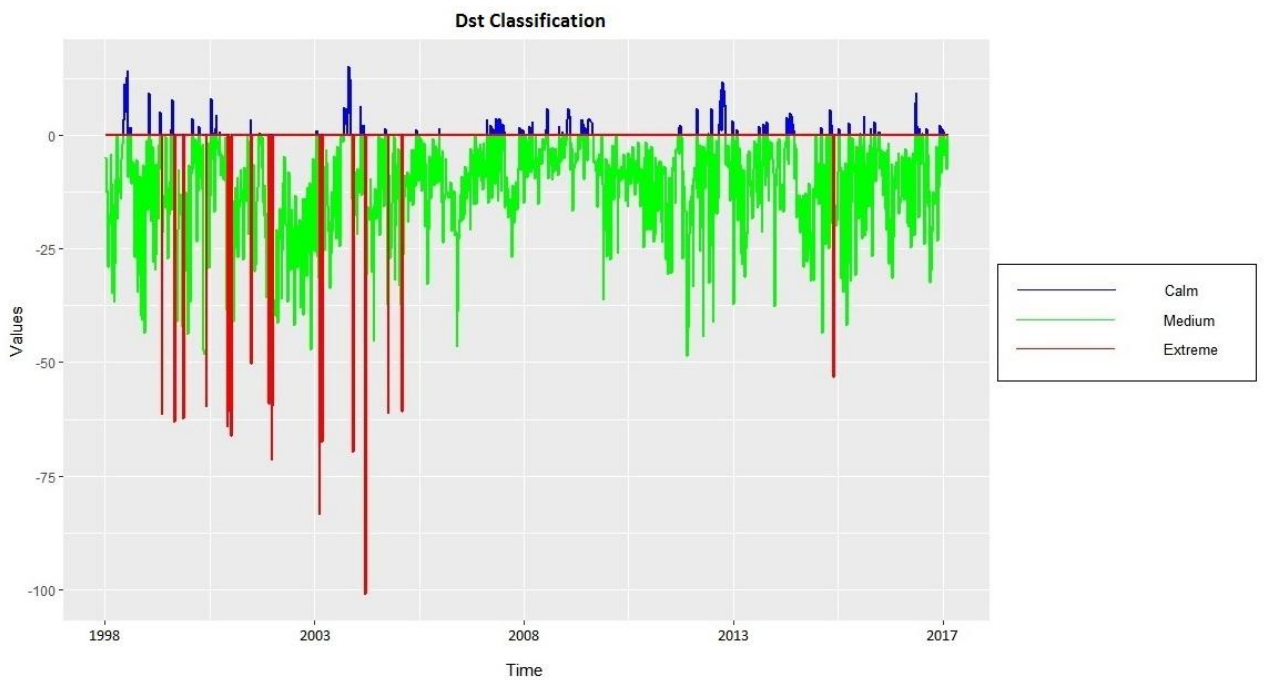
Πίνακας 6.2: Ταξινόμηση της ταχύτητας του ηλιακού ανέμου (Vsw) και του δείκτη Dst, με βάση ήπια, μέτρια και ακραία γεγονότα (ένταση).

Χαρακτηρισμός	Vsw	Dst
Ήπια (Calm)	≤ 400	> 0
Μέτρια (Medium)	$400 < \& \leq 600$	$\leq 0 \& > -50$
Ακραία (Extreme)	> 600	≤ -50

Γράφημα 6.1: Ταξινόμηση της ταχύτητας ηλιακού ανέμου (Vsw) με βάση τον Πίνακα 6.2.



Γράφημα 6.2: Ταξινόμηση δείκτη Dst με βάση τον Πίνακα 6.2.



Στο παρόν κεφάλαιο, χρησιμοποιούμε μια γραμμική και όχι μια μη γραμμική δομή μεταβλητότητας, καθώς είναι η απλούστερη μέθοδος με καλά αποτελέσματα, όπως έχει δείχθει από πολλούς ερευνητές για τη μοντελοποίηση της μεταβλητότητας των χρηματιστηριακών δεδομένων (Van Gysen et al., 2013; Kashif και Arshad, 2017). Επιπλέον, εφαρμόζοντας μερικά από τα πιο γνωστά μη γραμμικά μοντέλα της οικογένειας GARCH, όπως το μη γραμμικό μοντέλο ARCH των Higgins et al. (1992) και το μη γραμμικό ασυμμετρικό μοντέλο GARCH των Engle και Ng (1993), η στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών του μοντέλου ήταν κακή (~ 0,4-0,5). Αυτός είναι ο λόγος που προτιμήσαμε το γραμμικό μοντέλο GARCH στην ανάλυσή μας. Προκειμένου να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα του γραμμικού μοντέλου σε σύγκριση με το μη γραμμικό, στην παρούσα ανάλυση, χρησιμοποιούμε δύο εναλλακτικά μοντέλα, ένα γραμμικό και ένα μη γραμμικό μοντέλο GARCH και συγκρίναμε τις τιμές P-value αυτών των μοντέλων.

Με την εφαρμογή του μοντέλου ARIMA-GARCH με εξωγενείς μεταβλητές, όπως επιλέγονται βάσει των κριτηρίων Akaike, Bayes, Shibata, Hannan-Quinn, εξάγουμε τα κατάλοιπα του μοντέλου. Το βασικό μοντέλο μας ήταν ένα μοντέλο ARIMA-GARCH χωρίς εξωγενείς, αφήνοντας 12 παρατηρήσεις εκτός δείγματος. Προβλέψαμε αυτές τις παρατηρήσεις χρησιμοποιώντας το υπόδειγμα ARIMA-GARCH (με και χωρίς εξωγενείς μεταβλητές, συγκριτικά) και στη συνέχεια εξήχθη το MAPE και το μέσο σφάλμα πρόβλεψης RMSFE για αμφότερες τις περιπτώσεις, για λόγους σύγκρισης.

Συγκρίνοντας το MAPE και το RMSFE, μπορούμε να εξετάσουμε αν οι μεταβλητές του ήλιου και του διαστημικού καιρού μπορούν να συμβάλουν στην πρόβλεψη των τιμών των μετοχών του Δείκτη Τιμών Χρηματοπιστωτικού Κλάδου NASDAQ. Το εμπειρικό μοντέλο βάσης χωρίς τις εξωγενείς, ηλιακές μεταβλητές, είναι το ακόλουθο:

$$\Delta y_t = \mu + \sum_{i=1}^2 \varphi_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^2 \theta_j u_{t-j} + e_t \quad (6.1)$$

με $\varepsilon_t \sim i.i.d(0,1)$, μ ο σταθερός όρος, $e_t = \sigma_{t|t-1} \varepsilon_t$ με $\varepsilon_t \sim i.i.d(0,1)$ και

$$u_{t-1} = \overline{\Delta Y_{t-2}} - \overline{\Delta Y_{t-1}}$$

$$u_{t-2} = \overline{\Delta Y_{t-3}} - \overline{\Delta Y_{t-2}}$$

Στη συνέχεια, μ_t είναι ο μέσος όρος του μοντέλου:

$$\mu_t = \mu + \sum_{i=1}^2 \varphi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^2 \theta_j u_{t-j} \quad (6.2)$$

και σ_t , ο όρος διακύμανσης του μοντέλου:

$$\sigma_t = \omega + \sum_{i=1}^1 \alpha_i e_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^1 \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (6.3)$$

Το βασικό GARCH μοντέλο σύγκρισης που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυσή μας, ήταν το GARCH(1,1), και αντίστοιχα το ARIMA(2,1,2), όπως μας υπέδειξαν τα κριτήρια που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Ο Πίνακας 6.4 παρουσιάζει τις εκτιμήσεις του βασικού μοντέλου.

Πίνακας 6.3: Σύνοψη βασικού μοντέλου ARIMA(2,1,2) - GARCH(1,1) με εύρωστα τυπικά σφάλματα (robust standard errors).

Εύρωστα σφάλματα	τυπικά	Εκτίμηση	Τυπικό Σφάλμα	Pr(> t)
μ		0.03	0.01	$9 \cdot 10^{-3}$
φ_1		0.52	0.15	10^{-3}
φ_2		0.40	0.15	$6 \cdot 10^{-3}$
θ_1		-0.41	0.12	10^{-5}
θ_2		-0.49	0.10	10^{-5}
ω		10^{-3}	10^{-3}	0.219
α_1		0.06	0.02	10^{-5}
β_1		0.94	0.02	10^{-5}

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 6.4, οι συντελεστές α και β είναι ελάχιστα μικρότερες από 1, το οποίο δείχνει ότι το υπόδειγμα που εκτιμήσαμε, ARIMA(2,1,2) - GARCH(1,1) έχει νόημα.

Τα μέτρα προβλεπτικής ικανότητας MAPE και RMFSE του υποδείγματος απεικονίζονται στον Πίνακα 6.5, παρακάτω.

Πίνακας 6.4: Τιμές των κριτηρίων MAPE και RMFSE για το βασικό μοντέλο, για χρονικό ορίζοντα $h=1, \dots, 12$ εβδομάδων.

Ορίζοντας	MAPE	RMFSE
h=1	2.44	0.70
h=2	1.30	0.50
h=3	0.89	0.41
h=4	0.72	0.36
h=5	0.93	0.34
h=6	1.62	0.38
h=7	1.60	0.36
h=8	2.47	0.38
h=9	2.24	0.36
h=10	2.07	0.36
h=11	2.26	0.36
h=12	2.36	0.38

Το εναλλακτικό μοντέλο ARIMA (2,1,2) - GARCH (1,1) που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυση μας ήταν το ίδιο μοντέλο με το βασικό, συμπεριλαμβανομένων όμως των εξωγενών μεταβλητών (ταχύτητα ηλιακού ανέμου - V_{sw} και δείκτης Dst). Τα αποτελέσματα του μοντέλου απεικονίζονται στον Πίνακα 6.5 και τα μέτρα της ικανότητας πρόβλεψης MAPE, RMFSE αυτού του μοντέλου απεικονίζονται στον Πίνακα 6.6.

Έτσι, το εναλλακτικό μοντέλο έχει την εξής δομή:

$$\Delta y_t = \mu + \kappa x_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \varphi_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^2 \theta_j u_{t-j} + e_t \quad (6.4)$$

με $e_t \sim i.i.d(0,1)$, μ ο σταθερός όρος, $e_t = \sigma_{t|t-1} \varepsilon_t$ with $\varepsilon_t \sim i.i.d(0,1)$, x_{t-1} η εξωγενής μεταβλητή σε υστέρηση (V_{sw} για τη δική μας περίπτωση). Έχει προταθεί ότι οι υστερήσεις της εξωγενούς μεταβλητής μπορούν να επιλεγούν

με βάση μια λογική ερμηνεία (Prastyo et al., 2018). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, στην ηλιακή φυσική, τα ηλιακά φαινόμενα μπορεί να επηρεάσουν τη Γη με χρονική καθυστέρηση, λόγω του γεγονότος ότι αυτά τα φαινόμενα χρειάζονται μερικές ημέρες ή και εβδομάδες για να επηρεάσουν τελικά τη Γη (Gerontidou et al., 2018).

Επίσης,

$$u_{t-1} = \overline{\Delta y_{t-2}} - \overline{\Delta y_{t-1}}$$

$$u_{t-2} = \overline{\Delta y_{t-3}} - \overline{\Delta y_{t-2}}$$

όπου, μ_t , είναι:

$$\mu_t = \mu + \kappa x_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \varphi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^2 \theta_j u_{t-j} \quad (6.5)$$

και σ_t , ο όρος διακύμανσης του μοντέλου:

$$\sigma_t = \omega + \sum_{i=1}^1 \alpha_i e_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^1 \beta_j \sigma_{t-j}^2 + \gamma_1 \chi_{1t-1}^2 + \gamma_2 \chi_{2t-1}^2 + v_t \quad (6.6)$$

$$\text{ή, } \sigma_t = \omega + \alpha_1 e_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \gamma_1 \chi_{1t-1}^2 + \gamma_2 \chi_{2t-1}^2 + v_t \quad (6.7)$$

Όπου:

$$\sigma_t^2 = E \left[(\Delta y_t - \mu_t)^2 | \mathcal{F}_{t-1} \right]$$

και \mathcal{F}_t το σύνολο των διαθέσιμων πληροφοριών τη χρονική στιγμή t

$$\text{ή} \quad \sigma_t^2 = \sum_{i=1}^T \left[(\Delta y_t - \mu_t)^2 \right] = \sum_{i=t}^T e_t^2$$

όπου x_{1t-1} είναι η μία εξωγενής μεταβλητή (Vsw) και x_{2t-1} είναι η άλλη εξωγενής μεταβλητή (δείκτης Dst).

Ο Πίνακας 6.6 περιέχει τόσο τα αποτελέσματα του γραμμικού μοντέλου GARCH με εξωγενείς μεταβλητές (όπως προαναφέραμε) αλλά και του μη γραμμικού μοντέλου GARCH με εξωγενείς μεταβλητές, δικαιολογώντας την επιλογή μας, του γραμμικού μοντέλου ως καλύτερου.

Πίνακας 6.5: Χαρακτηριστικά των μοντέλων ARIMA(2,1,2) - GARCH(1,1) με εξωγενείς μεταβλητές (Γραμμικό και μη-γραμμικό μοντέλο GARCH) με εύρωστα τυπικά σφάλματα.

Εύρωστα τυπικά σφάλματα	Γραμμικό μοντέλο GARCH			Μη-γραμμικό μοντέλο GARCH		
	Εκτίμηση	Τυπικό σφάλμα	P - Value	Εκτίμηση	Τυπικό σφάλμα	P - Value
μ	0.04	0.01	0	0.04	0.03	0.21
φ_1	-1.51	0.11	0	0.63	0.07	0
φ_2	-0.70	0.09	0	0.32	0.09	$7.43 \cdot 10^{-4}$
θ_1	1.62	0.09	0	-0.51	$8 \cdot 10^{-3}$	0
θ_2	0.80	0.08	0	-0.43	0.03	0
κ	-35	0	0	$-3.7 \cdot 10^{-5}$	$7.2 \cdot 10^{-5}$	0.60
ω	0	0	0.99	10^{-6}	$2.9 \cdot 10^{-4}$	0.99
α_1	0.05	$8 \cdot 10^{-3}$	0	0.06	0.01	$2.1 \cdot 10^{-5}$
β_1	0.94	$7 \cdot 10^{-3}$	0	0.94	0.02	0
γ_1	$1.1 \cdot 10^{-5}$	0	0	$2.1 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-5}$	0.06
γ_2	$2.7 \cdot 10^{-4}$	0	0	$4.6 \cdot 10^{-4}$	$3.22 \cdot 10^{-4}$	0.15

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 6.6, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο συντελεστής του Vsw στον μέσο όρο του μοντέλου GARCH είναι αρνητικός, ίσος με $-3 \cdot 10^{-5}$. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου έχει αρνητικό αντίκτυπο στη χρηματιστηριακή αγορά, γεγονός που αποκαλύπτει ότι τα ηλιακά φαινόμενα μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τη χρηματιστηριακή αγορά, μέσα από την επιρροή στις υπηρεσίες του κλάδου αυτού.

Αξιζει να τονιστεί ότι οι τιμές p-value των k , γ^2 στο μη γραμμικό μοντέλο δεν είναι στατιστικά σημαντικές και γι 'αυτό στην ανάλυση μας, στο παρόν κεφάλαιο, χρησιμοποιούμε το γραμμικό μοντέλο GARCH.

Η επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στον δείκτη NFI (Nasdaq finance sector price index) είναι σχετικά μικρή, αλλά στατιστικά σημαντική, όπως φαίνεται από τις τιμές p-values, οι οποίες είναι κοντά στο μηδέν. Αυτό, με τη σειρά του, συνεπάγεται ότι για την οικονομετρική μοντελοποίηση της μεταβλητότητας των NFI θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ηλιακή δραστηριότητα, λόγω της στατιστικής σημαντικότητάς της. Επίσης, το αποτέλεσμα της ηλιακής δραστηριότητας, δηλαδή το μέγεθος του συντελεστή, αναμένεται να είναι μικρό, αφού στις περισσότερες φορές ο ήλιος είναι μάλλον ήρεμος. Παρ 'όλα αυτά, σε περιόδους υψηλής ηλιακής έντασης, οι δείκτες Vsw και Dst καθίστανται τριπλάσιοι ή τετραπλάσιοι, δηλαδή ο δείκτης Vsw σε ήρεμες ηλιακές συνθήκες παίρνει μια τιμή στην περιοχή των 200-400 km/s, ενώ σε υψηλές ηλιακές εντάσεις οι τιμές κυμαίνονται στο εύρος των 500-900 km/s (Gerontidou et al., 2018). Στο ίδιο πλαίσιο, ο δείκτης Dst, κατά τη διάρκεια ήρεμου ηλίου, λαμβάνει τιμές στην περιοχή 0-50, ενώ σε περιόδους υψηλής ηλιακής έντασης οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ -100 και -400. Επομένως, παρά το μικρό απόλυτο μέγεθος, το ηλιακό αποτέλεσμα στο NFI είναι αρκετά μεγάλο σε σχετικούς όρους.

Ο συντελεστής των Vsw και του δείκτη Dst του τμήματος της συμεταβλητής (covariate) του μοντέλου GARCH, είναι θετικός, υποδεικνύοντας ότι οι εξωγενείς μεταβλητές αυξάνουν τη μεταβλητότητα του εξεταζόμενου χρηματιστηριακού δείκτη.

Επιπλέον, το άθροισμα των συντελεστών άλφα και βήτα του μοντέλου είναι μικρότερο από 1, πράγμα που σημαίνει ότι το εκτιμώμενο μοντέλο ARIMA (2,1,2) - GARCH (1,1) με εξωγενείς μεταβλητές, έχει νόημα. Οι τιμές p-value των α, β , του συντελεστή του Vsw στο τμήμα του μέσου του μοντέλου GARCH, ο συντελεστής του Vsw και του δείκτη Dst στο τμήμα της

διακύμανσης του μοντέλου GARCH, είναι στατιστικά σημαντικοί με τιμές p-value ίσες με το μηδέν σε όλες τις περιπτώσεις.

Πίνακας 6.6: Τιμές των κριτηρίων MAPE και RMFSE για το εναλλακτικό (γραμμικό) μοντέλο με εξωγενείς μεταβλητές, για κάθε χρονικό ορίζοντα $h=1, \dots, 12$ εβδομάδων.

Ορίζοντας	MAPE	RMFSE
h=1	2.40	0.69
h=2	1.29	0.49
h=3	0.88	0.40
h=4	0.72	0.35
h=5	0.92	0.33
h=6	1.60	0.37
h=7	1.56	0.35
h=8	2.40	0.36
h=9	2.17	0.35
h=10	2.00	0.35
h=11	2.18	0.35
h=12	2.26	0.37

Τέλος, δίνεται ο πίνακας με τα κριτήρια πληροφορίας, τόσο για την περίπτωση του βασικού μοντέλου, όσο και του εναλλακτικού (Πίνακας 6.8).

Πίνακας 6.7: Σύγκριση των μοντέλων ARIMA(2,1,2) - GARCH(1,1) με και χωρίς εξωγενείς μεταβλητές, με βάση τα κριτήρια πληροφορίας.

Κριτήριο πληροφορίας	Βασικό μοντέλο (χωρίς εξωγενείς μεταβλητές)	Εναλλακτικό μοντέλο (με εξωγενείς μεταβλητές)
Akaike	0.44	0.41
Bayes	0.48	0.46
Shibata	0.44	0.40
Hannan-Quinn	0.46	0.43

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.8, καλύτερη εκτίμηση παρέχεται στην περίπτωση του μοντέλου ARIMA (2,1,2) - GARCH (1,1) με εξωγενείς μεταβλητές, από ότι παρέχει το βασικό μοντέλο ARIMA (2,1,2) - GARCH (1,1) χωρίς εξωγενείς μεταβλητές. Αυτό το εύρημα αναδεικνύει τη συμβολή των εξωγενών μεταβλητών στη μοντελοποίηση της μεταβλητότητας του NFI στο μοντέλο ARIMA (2,1,2) - GARCH (1,1).

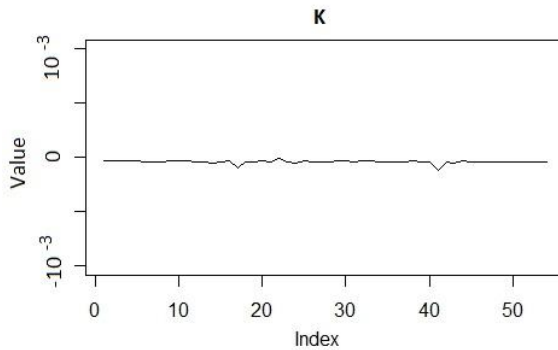
Όσον αφορά την προβλεπτική ικανότητα των μοντέλων (Πίνακες 6.5, 6.7 και 6.9), τα σχετικά κριτήρια (MAPE και RMSFE) δείχνουν ότι το εναλλακτικό μοντέλο με εξωγενείς μεταβλητές είναι καλύτερο σε κάθε χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης σε σύγκριση με το βασικό μοντέλο χωρίς εξωγενείς μεταβλητές. Αυτό σημαίνει ότι οι μεταβλητές της ηλιακής δραστηριότητας και του διαστημικού καιρού όχι μόνο συμβάλλουν με στατιστικά σημαντικές πληροφορίες στη μοντελοποίηση της μεταβλητότητας αλλά αυξάνουν και την ικανότητα πρόβλεψης της μεταβλητότητας του δείκτη τιμών του χρηματοπιστωτικού κλάδου NASDAQ, κατά την περίοδο 1998-2018.

Πίνακας 6.8: Αλγεβρική διαφορά των κριτηρίων MAPE και RMFSE, των δύο μοντέλων (βασικό και εναλλακτικό), για εκτός δείγματος πρόβλεψη, για χρονικό ορίζοντα $h=1, \dots, 12$ εβδομάδων.

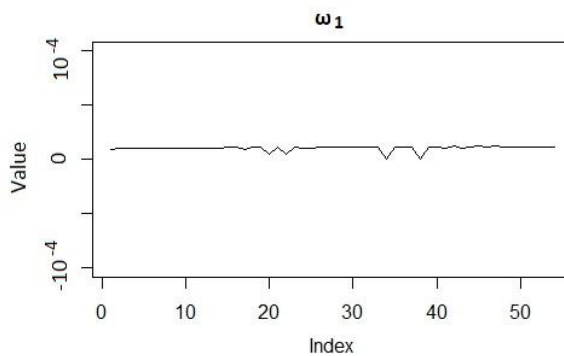
Ορίζοντας	MAPE	RMFSE
h=1	0.04	0.01
h=2	0.01	0.01
h=3	0.00	0.01
h=4	0.00	0.01
h=5	0.01	0.01
h=6	0.03	0.01
h=7	0.04	0.01
h=8	0.07	0.01
h=9	0.07	0.01
h=10	0.07	0.01
h=11	0.09	0.01
h=12	0.10	0.01

Προκειμένου να ελεγχθεί η ευρωστία των αποτελεσμάτων, εφαρμόσαμε ένα κυλιόμενο παράθυρο σταθερού μήκους (rolling window) 952 παρατηρήσεων. Λόγω της διαθεσιμότητας των δεδομένων και της ανάγκης του μοντέλου GARCH για πολλές παρατηρήσεις, χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο ARIMA-GARCH με εξωγενείς μεταβλητές σε ένα κυλιόμενο παράθυρο 952 παρατηρήσεων και παρουσιάζουμε τα διαγράμματα των συντελεστών του μοντέλου (Γραφήματα 6.3, 6.4, 6.5). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι σημαντικοί συντελεστές, που ερμηνεύουν την επίδραση των μεταβλητών στον Δείκτη Τιμών Χρηματοπιστωτικού Κλάδου NASDAQ, είναι πάντα στο ίδιο εύρος τιμών. Αυτό επιβεβαιώνει την ευρωστία του μοντέλου μας.

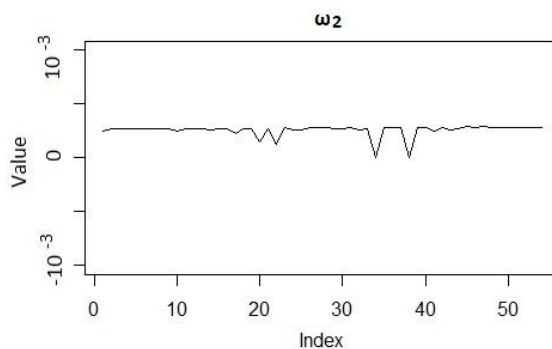
Γράφημα 6.3: Γραφική παράσταση του συντελεστή κ , όπως αυτός αντλήθηκε από το ARIMA-GARCH μοντέλο με εξωγενείς μεταβλητές, σε ένα κυλιόμενο παράθυρο 952 παρατηρήσεων.



Γράφημα 6.4: Γραφική παράσταση του συντελεστή ω_1 , όπως αυτός αντλήθηκε από το ARIMA-GARCH μοντέλο με εξωγενείς μεταβλητές, σε ένα κυλιόμενο παράθυρο 952 παρατηρήσεων.



Γράφημα 6.5: Γραφική παράσταση του συντελεστή ω_2 , όπως αυτός αντλήθηκε από το ARIMA-GARCH μοντέλο με εξωγενείς μεταβλητές, σε ένα κυλιόμενο παράθυρο 952 παρατηρήσεων.



6.2 Έμμεση επίδραση ηλιακών γεγονότων στους διάφορους κλάδους παραγωγής των ΗΠΑ

Στο παρόν κεφάλαιο, χρησιμοποιούμε ένα σύνολο δεδομένων που περιλαμβάνει τόσο κλαδικές μεταβλητές όσο και μεταβλητές που καταγράφουν την ηλιακή δραστηριότητα. Για να μοντελοποιήσουμε κάθε κλάδο της αμερικανικής οικονομίας, χρησιμοποιούμε τα κλαδικά στοιχεία των ΗΠΑ, σχετικά με την παραγωγή κάθε κλάδου σε εκατομμύρια δολάρια σε τρέχουσες τιμές. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται ο αποπληθωριστής του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) των ΗΠΑ του 2010, σε σταθερές τιμές. Επίσης, αντλήθηκαν τα δεδομένα κεφάλαιο και αριθμός εργαζομένων σε κάθε κλάδο σε χιλιάδες εργαζομένους. Τα στοιχεία προέρχονται από τον Οργανισμό Οικονομικής Ανάπτυξης (Ο.Ε.Κ.Δ.). Τα κλαδικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ελήφθησαν σε ετήσια μορφή και καλύπτουν την περίοδο 1998-2014. Ο αποπληθωριστής του ΑΕΠ των ΗΠΑ χρησιμοποιήθηκε για να μετασχηματιστούν οι μεταβλητές χρονολογικών σειρών της κλαδικής παραγωγής και του κλαδικού κεφαλαίου σε σταθερές τιμές του 2010. Όλα τα κλαδικά δεδομένα μετατράπηκαν σε μηνιαίες χρονολογικές σειρές, με βάση τους Pesaran et al. (2004).

Για να ποσοτικοποιήσουμε τα ηλιακά αποτελέσματα, χρησιμοποιούμε τρία διαφορετικά μέτρα. Όπως είδαμε, το πιο γνωστό μέτρο της ηλιακής δραστηριότητας είναι ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων που παρατηρούνται στην επιφάνεια του ήλιου. Ένα δεύτερο δημοφιλές μέτρο ποσοτικοποίησης της έντασης της ηλιακής δραστηριότητας είναι η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου (V_{sw}). Τέλος, ένα τρίτο μέτρο είναι οι ηλιακές εκλάμψεις, οι οποίες συνεπάγονται ακραίες εκρήξεις ενέργειας. Οι ηλιακές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι οι ηλιακές εκλάμψεις, που προέρχονται από το National Oceanic and Atmospheric Administration (N.O.A.A.), η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου (V_{sw}) μετρούμενη σε ($km * s^{-1}$) και ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων, και τα δύο προέρχονται από το omniweb της NASA. Οι εκλάμψεις ελήφθησαν σε μηνιαία μορφή, το V_{sw} και ο αριθμός των ηλιακών

κηλίδων ελήφθησαν σε ημερήσια μορφή και μετατράπηκαν σε μηνιαίες χρονολογικές σειρές με άθροιση. Τα ηλιακά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, καλύπτουν την περίοδο 1998 (M1) - 2014 (M12) με βάση τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Ο πίνακας 6.9 παρακάτω συνοψίζει τους κωδικούς και τα ονόματα των κλαδικών δεδομένων και στους πίνακες 6.10 και 6.11 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των χρονοσειρών.

Πίνακας 6.9: Ονόματα και κωδικοί των κλάδων παραγωγής.

Όνομα κλάδου	Κωδικός
ΓΕΩΡΓΙΑ, ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΛΙΕΙΑ	A
ΟΡΥΧΕΙΑ ΚΑΙ ΛΑΤΟΜΕΙΑ	B
ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ	C
ΠΑΡΟΧΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ, ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ, ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΠΑΡΟΧΗ ΝΕΡΟΥ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ	D-E
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	F
ΧΟΝΔΡΙΚΟ ΚΑΙ ΛΙΑΝΙΚΟ ΕΜΠΟΡΙΟ, ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΤΟΣΙΚΛΕΤΩΝ	G
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	H
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΕΣΤΙΑΣΗΣ	I
ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ	J
ΧΡΗΜΑΤΟΠΙΣΤΩΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	K
ΔΙΧΕΙΡΙΣΗ ΑΚΙΝΗΤΗΣ ΠΕΡΙΟΥΣΙΑΣ, ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	L-N

Στην παρούσα ενότητα, χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες συντομογραφίες: ο κωδικός του κάθε κλάδου υποδηλώνει την κλαδική παραγωγή, ενώ δηλώνουμε το κεφάλαιο (του αντίστοιχου κλάδου), χρησιμοποιώντας τον κωδικό του κάθε κλάδου ακολουθούμενο από K, δηλαδή Code_K, και τον κλαδικό αριθμό εργαζομένων (αντίστοιχα), χρησιμοποιώντας τον κωδικό κάθε κλάδου ακολουθούμενο από L, δηλαδή Code_L. Ως εκ τούτου, για παράδειγμα, το A_K υποδηλώνει το κλαδικό κεφάλαιο του κλάδου της γεωργίας, της δασοκομίας και της αλιείας, ενώ η A_L υποδηλώνει τον αντίστοιχο αριθμό εργαζομένων του ίδιου κλάδου.

Πίνακας 6.10: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των κλάδων παραγωγής.

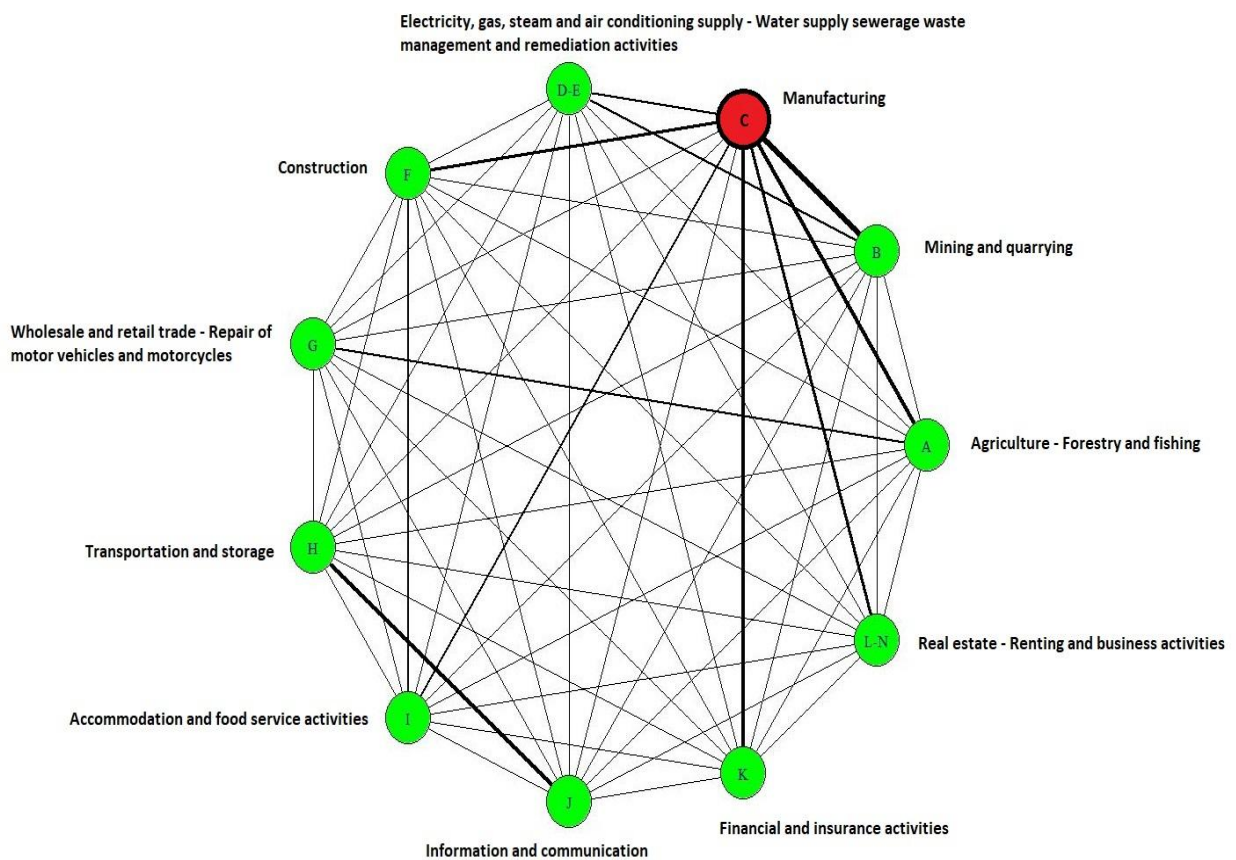
Οικονομικές μεταβλητές	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος
A	309.75	38.22	254.97	389.09	300.79
A_K	3398.65	1276.72	1922.23	6825.33	3027.76
A_L	182.60	7.01	173.14	195.30	180.47
B	389.20	43.57	308.58	475.78	388.17
B_K	8776.64	4593.64	3141.64	17695.83	9274.65
B_L	53.31	8.98	42.61	71.75	52.08
C	4196.02	351.06	3727.88	4735.65	4156.52
C_K	29507.72	4485.45	23279.94	38512.67	28820.39
C_L	1220.99	165.67	1006.78	1518.50	1232.04
D-E	403.35	40.61	316.15	505.20	395.21
D-E_K	7508.32	2081.05	4198.67	11499.83	6823.89
D-E_L	77.45	1.22	75.17	80.17	77.70

F	941.36	130.39	711.92	1177.81	898.67
F_K	2856.07	566.47	1614.59	3878.72	2816.91
F_L	707.26	68.40	604.27	821.49	718.83
G	1851.19	253.65	1352.73	2320.14	1887.88
G_K	11648.10	1516.83	9159.67	14586.92	11758.65
G_L	1950.03	45.33	1859.89	2026.94	1956.07
H	728.56	85.10	562.56	886.70	733.02
H_K	6194.26	1293.74	4166.16	10596.67	6211.61
H_L	469.48	12.32	442.79	488.19	471.02
I	547.15	51.87	447.17	667.79	547.30
I_K	2712.85	622.46	1950.85	4554.43	2423.85
I_L	939.84	61.38	825.83	1069.75	953.07
J	1097.19	218.84	659.52	1543.79	1081.23
J_K	19033.40	1977.39	14351.42	23379.08	19590.02
J_L	390.90	16.78	370.54	432.41	386.28
K	1394.00	262.12	797.86	1788.04	1522.01
K_K	11596.50	1357.96	9316.75	14932.33	11159.17
K_L	514.92	13.87	494.17	543.42	510.61
L-N	3838.62	428.08	3058.33	4574.44	3839.79
L-N_K	66047.25	12801.58	48826.00	91580.32	62342.87
L-N_L	1647.66	65.56	1510.17	1782.42	1632.49

Πίνακας 6.11: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των ηλιακών μεταβλητών.

Ηλιακές μεταβλητές	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος
Sunspot Number	1708.24	7338.54	-6119	11571	690.48
Vsw	-478.27	12213.67	-16927	12468	1272.97
Flares	1605.81	7623.17	-7094	11395	1061.11

Γράφημα 6.6: Γράφημα δικτύου της κλαδικής οικονομίας των ΗΠΑ.



Η ανάλυσή μας ξεκίνησε με την παρουσίαση της κλαδικής οικονομίας των ΗΠΑ ως δικτύου. Σε αυτό το πλαίσιο, στο Γράφημα 6.6 παρουσιάζεται το σταθμισμένο δίκτυο των επιλεγμένων κλάδων που υπεισέρχονται στο μοντέλο. Η δομή του δικτύου είναι «κυκλική», υπό την έννοια ότι όλοι οι κλάδοι αλληλοσυνδέονται μεταξύ τους. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μεταποίηση είναι ο κυρίαρχος κλάδος της δομής του δικτύου της αμερικανικής οικονομίας.

Ακολουθώντας τις μεθοδολογίες που έχουν περιγραφεί στη Μεθοδολογία, όμοια με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε στην ενότητα 5.5, διερευνήσαμε την ύπαρξη κυρίαρχου κλάδου. Σε αυτό το πλαίσιο, ο Πίνακας 6.13 παρουσιάζει τις τιμές αυτές alpha centrality και eigenvector centrality του μετασχηματισμένου πίνακα εισροών-εκροών (input-output) των ΗΠΑ. Με βάση τα ευρήματά μας, ο κλάδος C, ο οποίος αντιπροσωπεύει τη μεταποίηση, παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές, τόσο της alpha centrality όσο και της eigenvector centrality, υποδηλώνοντας ότι διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στο δίκτυο.

Πίνακας 6.12: Τιμές κεντρικότητας (centrality) του μετασχηματισμένου πίνακα εισροών-εκροών (ΙΟ) των ΗΠΑ.

Κλάδος	Alpha κεντρικότητα	Κεντρικότητα Ιδιοδιανυσμάτων
A	-1.31	0.47
B	-2.13	0.59
C	-3.28	1.00
D-E	-0.75	0.35
F	-0.51	0.36
G	-0.32	0.29
H	0.13	0.28
I	-0.45	0.33
J	0.13	0.30
K	-1.23	0.42
L-N	-0.78	0.37

Προσδιορίζοντας τον κυρίαρχο κλάδο στο δίκτυό μας, προχωράμε στους σχετικούς ελέγχους χρονοσειρών που πρέπει να υλοποιηθούν πριν από την εκτίμηση του μοντέλου δικτύου GVAR. Σε αυτό το πλαίσιο, αρχίζουμε εξετάζοντας τα χαρακτηριστικά στασιμότητας των χρονοσειρών. Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.13, με βάση το τεστ Philips Perron, πολλές χρονολογικές σειρές είναι στάσιμες στις πρώτες διαφορές, δηλ. I(1).

Πίνακας 6.13: P-value του τεστ μοναδιαίας ρίζας Philips Peron για τις χρονοσειρές.

Κλάδος	PP τεστ	Βαθμός ολοκλήρωσης
A	0.99	I(1)
B	0.47	I(1)
C	0.99	I(1)
D-E	0.99	I(1)
F	0.75	I(1)
G	0.78	I(1)
H	0.96	I(1)
I	0.98	I(1)
J	0.81	I(1)
K	0.78	I(1)
L-N	0.90	I(1)
Sunspot_No	0.28	I(1)
Vsw	0.01	I(0)
Flares	0.01	I(0)

Παρουσία μεταβλητών I(1), πρέπει να εξετάσουμε την πιθανή ύπαρξη μακροχρόνιων σχέσεων συνολοκλήρωσης, μεταξύ των μεταβλητών που υπεισέρχονται στο μοντέλο μας. Ως εκ τούτου, ως επόμενο βήμα, χρησιμοποιούμε το τεστ συνολοκλήρωσης του Johansen (2010) για να ελέγξουμε εάν κάποια από τις χρονοσειρές είναι συνολοκληρωμένη. Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.14, υπάρχουν αρκετές σχέσεις συνολοκλήρωσης μεταξύ της κλαδικής παραγωγής και του κεφαλαίου και του αριθμού των εργαζομένων. Αυτό, με τη σειρά του, συνεπάγεται ότι για κάθε κλάδο στο δίκτυο GVAR πρέπει να εκτιμηθεί ένα διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο διόρθωσης σφάλματος (VECX), αντί για ένα διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο (VARX).

Πίνακας 6.14: Τεστ συνολοκλήρωσης Johansen των χρονοσειρών.

T-statistics	r <= 2	r <= 1	r = 0
10pct (90% critical value)	6.50	12.91	18.90
A	0.44	4.31	31.60
B	0.09	7.84	32.04
C	8.03	8.55	26.76
D-E	1.50	11.64	21.11
F	2.76	12.02	26.83
G	1.58	10.03	32.31
H	0.20	7.18	13.96
I	0.73	14.44	28.57
J	2.21	10	24.78
K	0.08	5.49	24.22
L-N	1.92	8.89	20.53

Ύστερα, εκτιμάμε το μοντέλο δικτύου GVAR. Στα πλαίσια της ανάλυσης της παρούσας ενότητας, ο χρηματοοικονομικός κλάδος είναι ο μοναδικός κλάδος που έχει ως εξωγενείς μεταβλητές τις μεταβλητές που εκφράζουν την ηλιακή δραστηριότητα, δηλαδή τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων, την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου και τις ηλιακές εκλάμψεις. Στο Γράφημα 6.7 παρουσιάζεται εποπτικά η ευστάθεια του μοντέλου.

Γράφημα 6.7 (Γραφήματα A1-A11): Γραφήματα ευστάθειας των μοντέλων VECM για κάθε κλάδο.

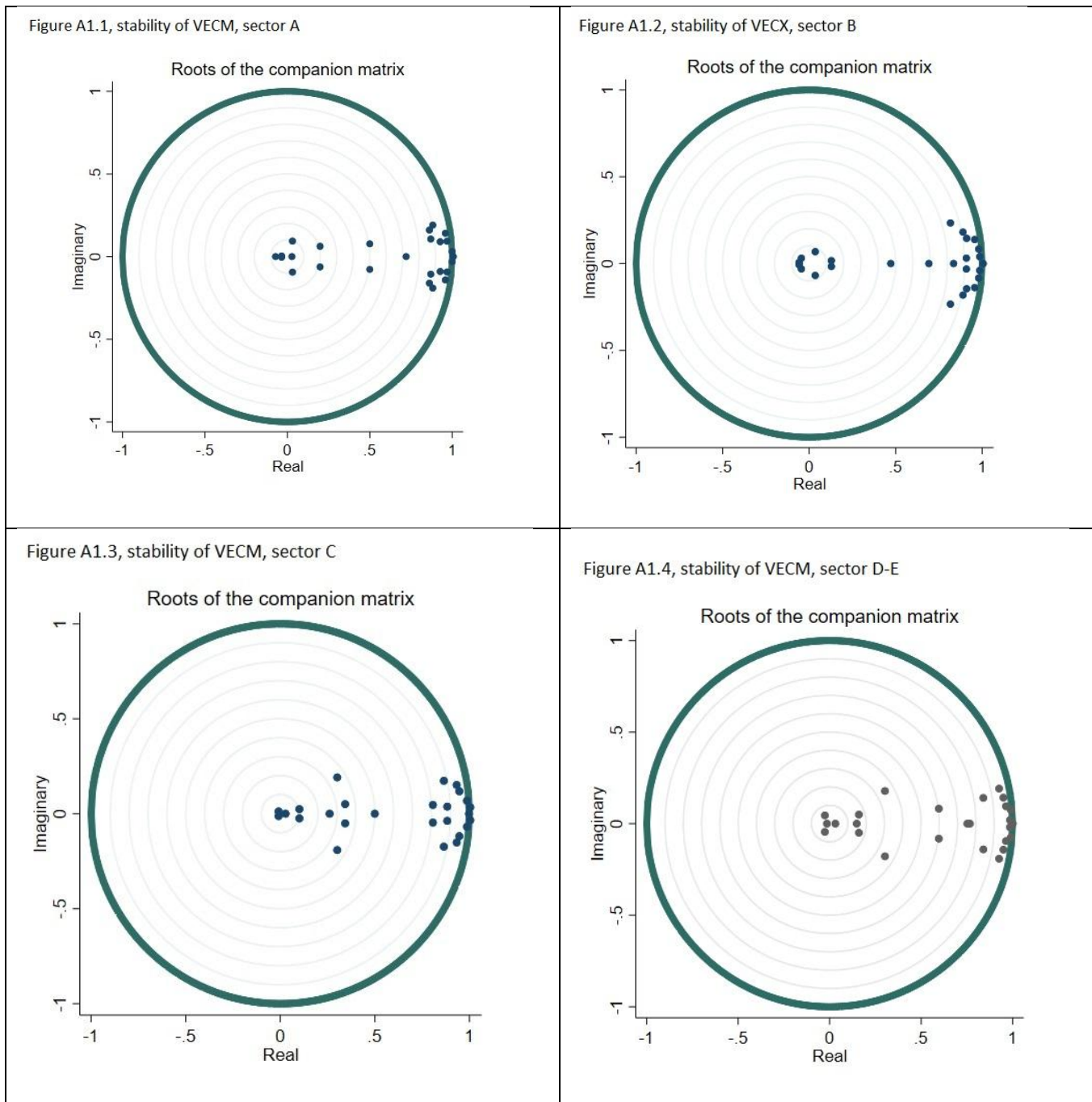


Figure A1.5, stability of VECM, sector F

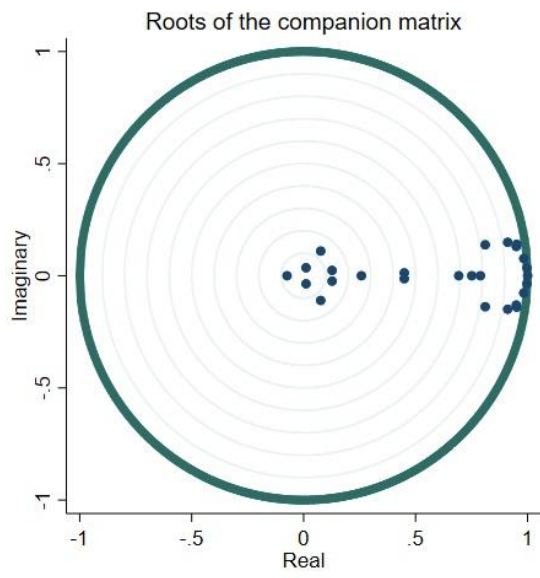


Figure A1.6, stability of VECM, sector G

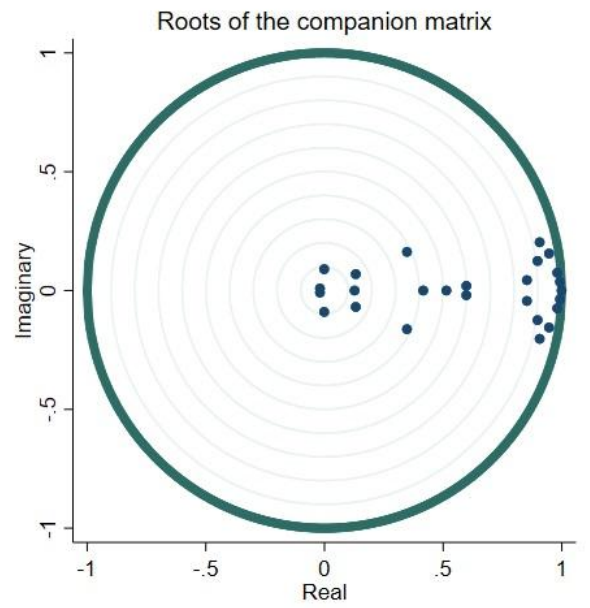


Figure A1.7, stability of VECM, sector H

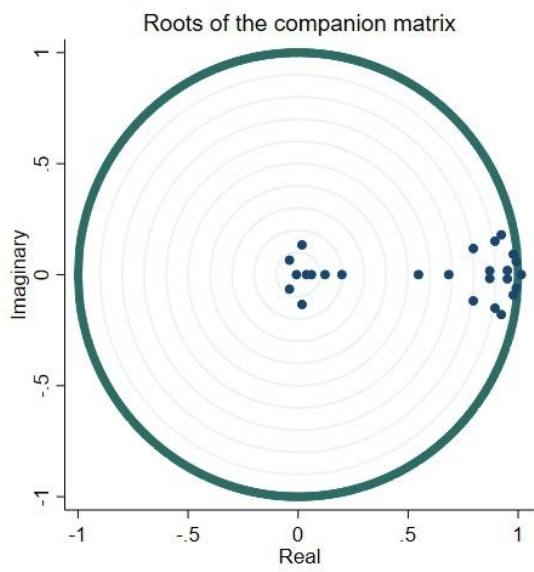
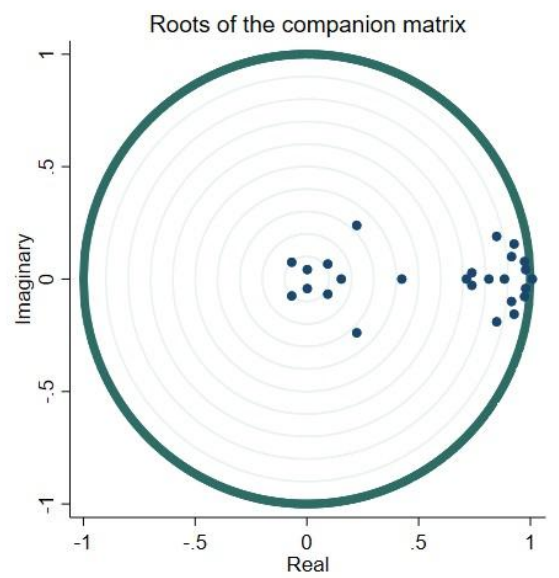
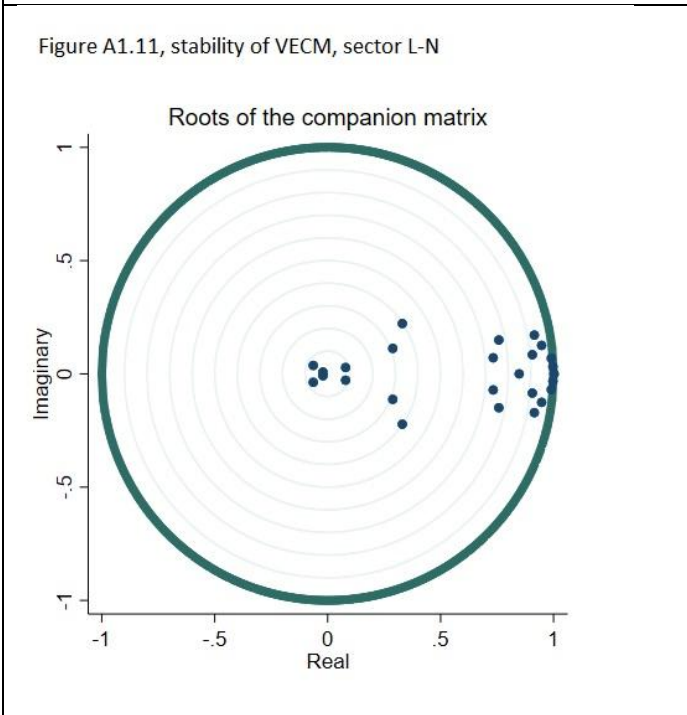
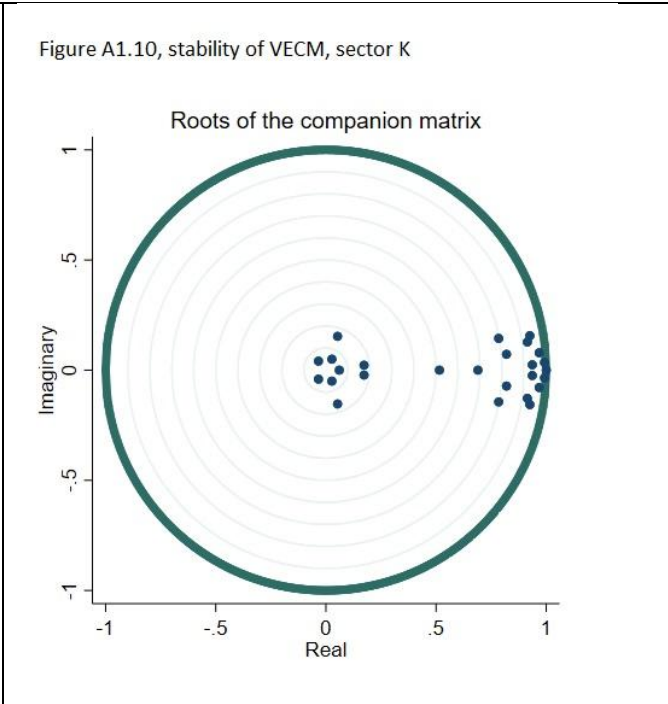
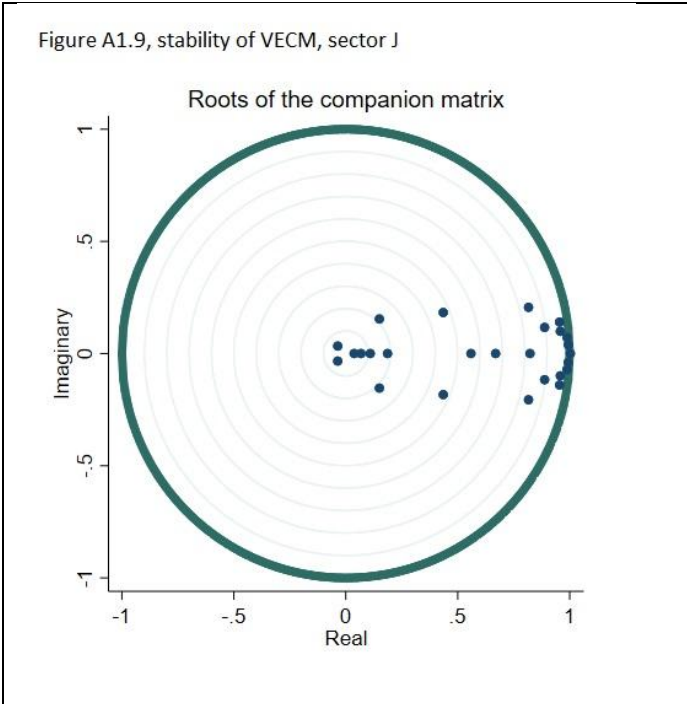


Figure A1.8, stability of VECM, sector I

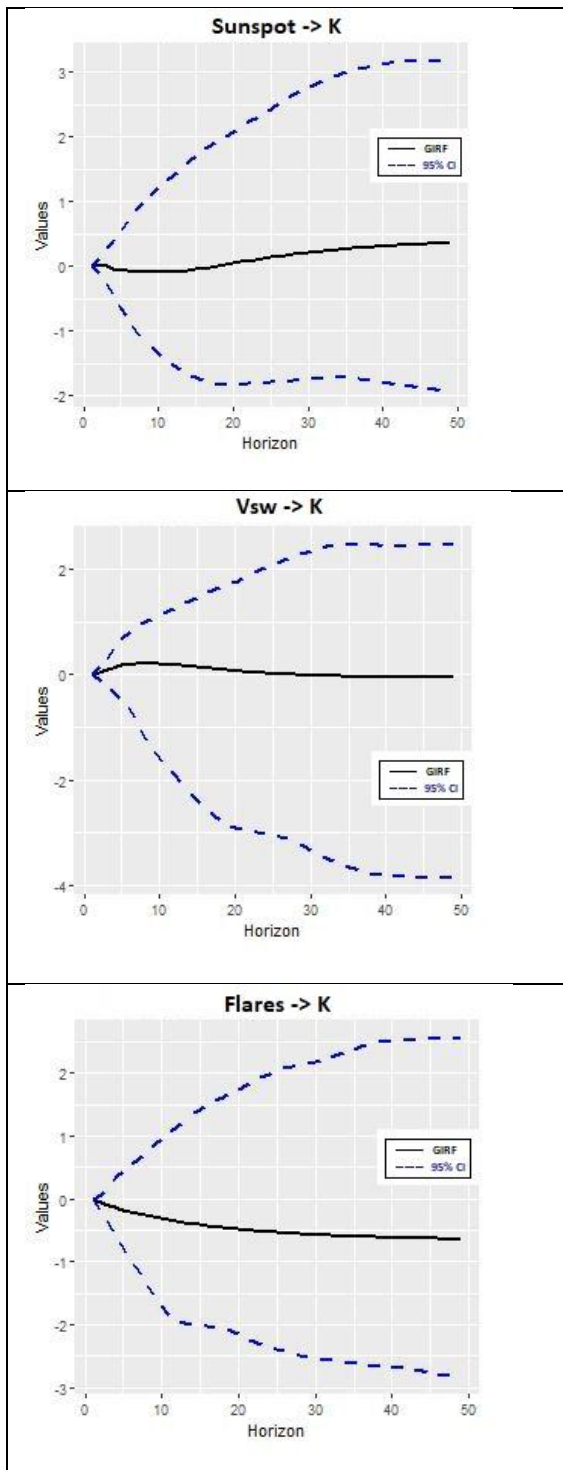




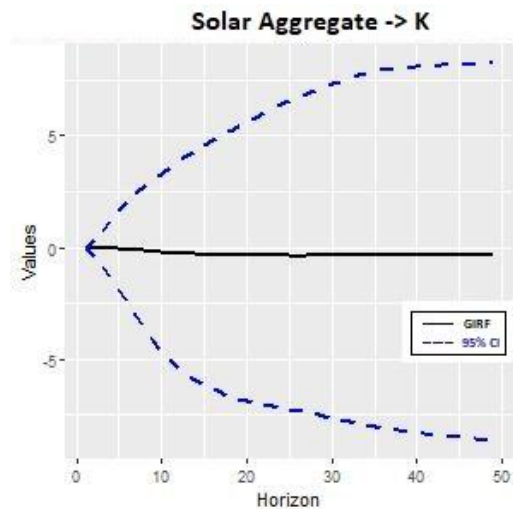
Τα αποτελέσματα του Γραφήματος 6.7 δείχνουν ότι υπάρχει ευστάθεια και, επομένως, μπορούμε να περάσουμε στην ανάλυση των συναρτήσεων απόκρισης (impulse-response). Σε αυτό το πλαίσιο, αποτυπώνουμε το σοκ των εξωγενών μεταβλητών στον χρηματοοικονομικό κλάδο, καθώς και το

συνολικό αποτέλεσμα των ηλιακών επιδράσεων στον χρηματοοικονομικό, μέσω των αντίστοιχων GIRF (Γράφημα 6.8 & Γράφημα 6.9).

Γράφημα 6.8: Αντίδραση του κλάδου χρηματοοικονομικών σε μοναδιαίο σοκ των ηλιακών μεταβλητών (ηλιακές κηλίδες, ταχύτητα ηλιακού ανέμου και ηλιακές εκλάμψεις).

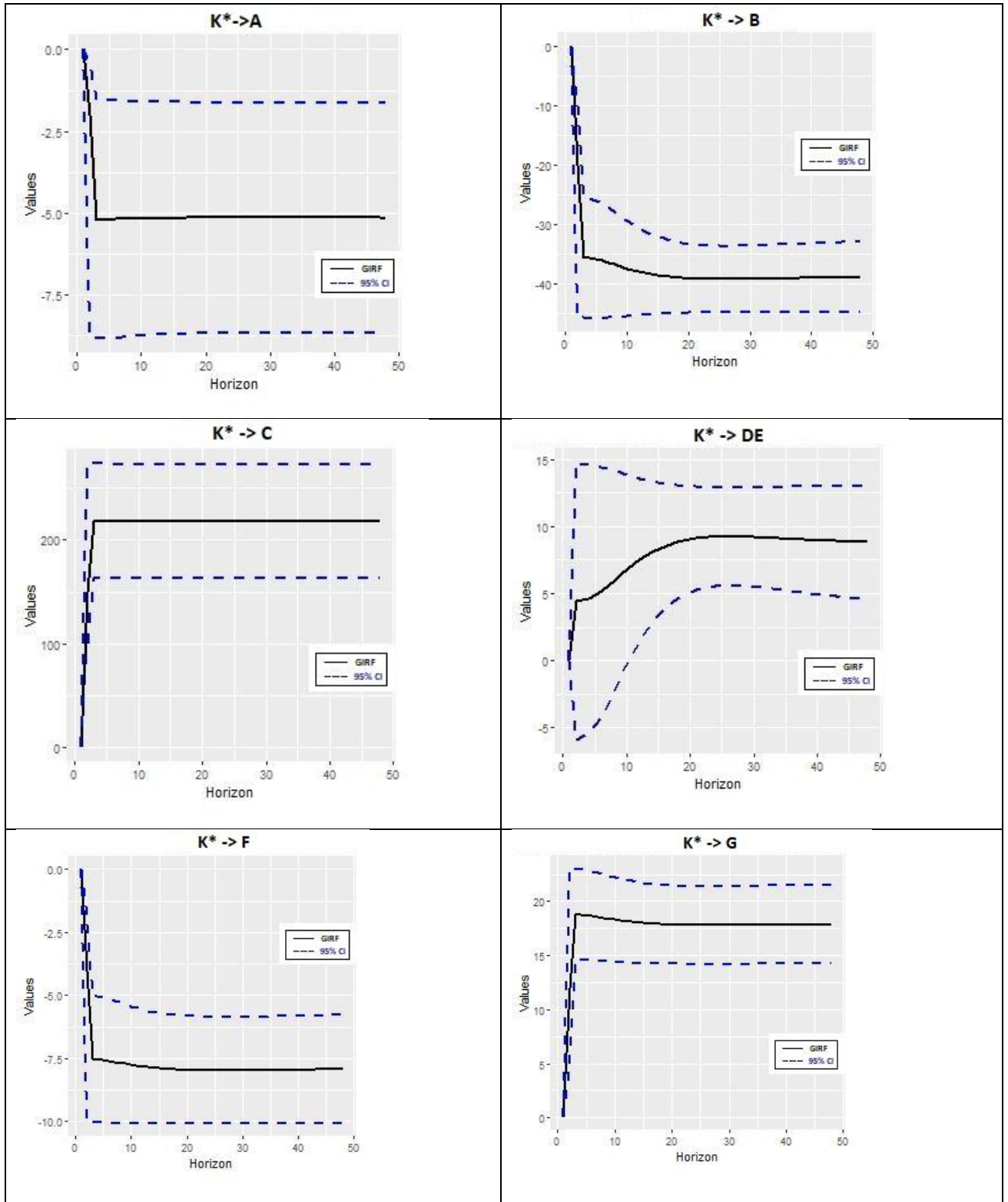


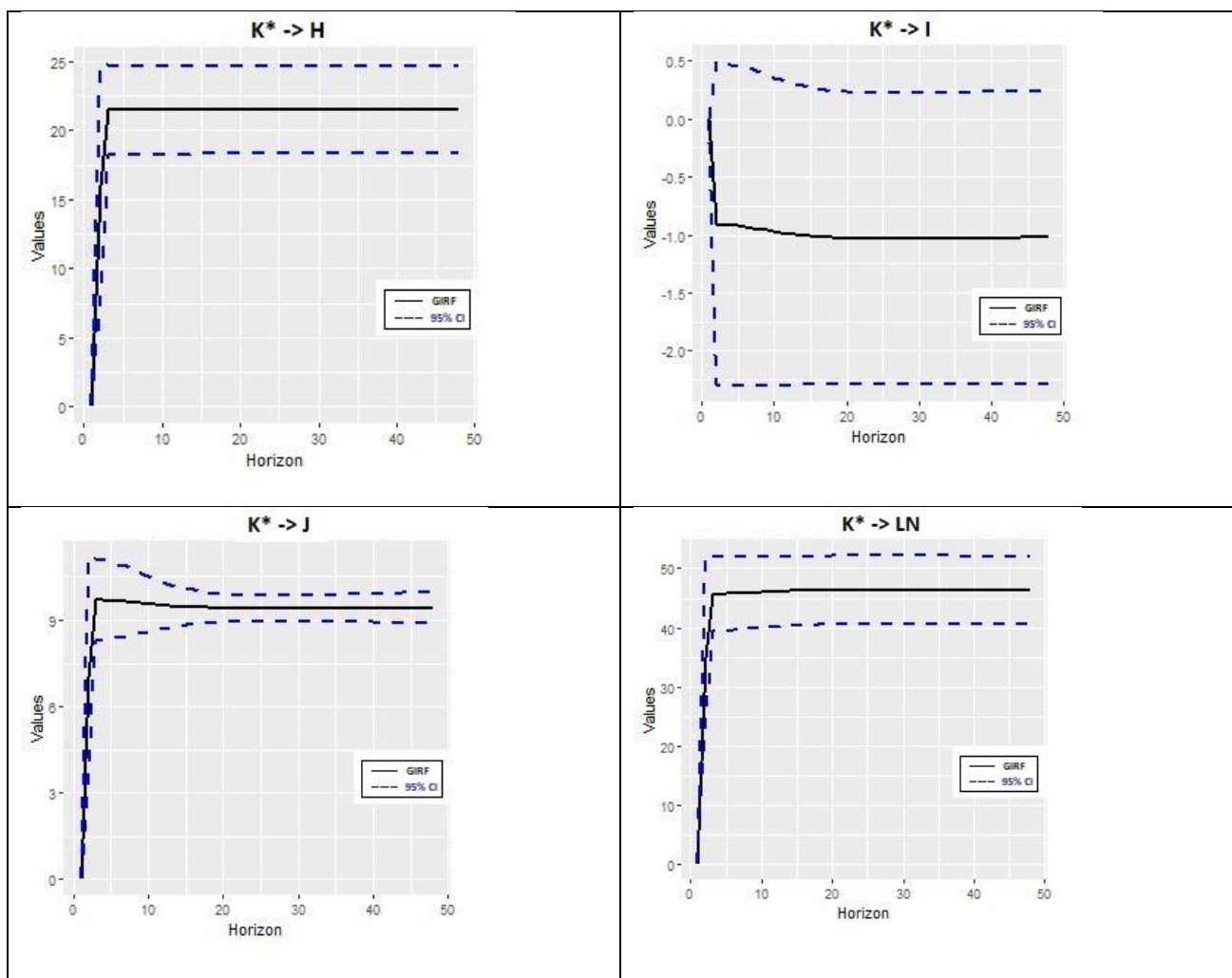
Γράφημα 6.9: Αντίδραση του κλάδου χρηματοοικονομικών σε μοναδιαίο σοκ των αθροιστικών ηλιακών μεταβλητών (άθροιση σοκ όλων των ηλιακών μεταβλητών μαζί).



Τέλος, για να καταγράψουμε τις έμμεσες επιπτώσεις από τις μεταβλητές της ηλιακής δραστηριότητας στους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας, χρησιμοποιούμε τα έμμεσα GIRF που παρουσιάστηκαν στη «Μεθοδολογία». Το σχήμα 6.10 παρουσιάζει την απόκριση κάθε κλαδικής παραγωγής (δηλαδή A, B, C, DE, F, G, H, I, J, LN) σε ένα συνολικό μοναδιαίο σοκ στις μεταβλητές της ηλιακής ενέργειας.

Γράφημα 6.10: Αντίδραση παραγωγής κάθε κλάδου (A,B,C,DE,F,G,H,I,J,LN) αθροιστικά ως απάντηση σε σοκ των ηλιακών μεταβλητών στον κλάδο χρηματοοικονομικών.





Σύμφωνα με το σχήμα 6.10, η απόκριση της παραγωγής των κλάδων: μεταποίηση, ενέργεια, μεταφορά και αποθήκευση, χονδρικό και λιανικό εμπόριο, επισκευή μηχανοκίνητων οχημάτων και μοτοσικλετών, ενημέρωση και επικοινωνία, για το έμμεσο, αθροιστικό, σοκ των ηλιακών μεταβλητών στον κλάδο των χρηματοπιστωτικών, είναι θετική και στατιστικά σημαντική. Με άλλα λόγια, αυτοί οι κλάδοι επηρεάζονται στατιστικά σημαντικά από το συνολικό μοναδιαίο σοκ στις ηλιακές μεταβλητές που υπεισέρχονται στο μοντέλο του χρηματοοικονομικού κλάδου. Από την άλλη, η απόκριση της παραγωγής των κλάδων: γεωργία, δασοκομία και αλιεία, ορυχεία και λατομεία, κατασκευές, σε μοναδιαίο σοκ στην παραγωγή του χρηματοοικονομικού κλάδου είναι αρνητική και στατιστικά σημαντική. Όσον αφορά τον κλάδο υπηρεσιών παροχής καταλύματος και υπηρεσιών

εστίασης, η απόκριση της παραγωγής σε ένα μοναδιαίο σοκ στην παραγωγή του χρηματοοικονομικού κλάδου δεν είναι στατιστικά σημαντική.

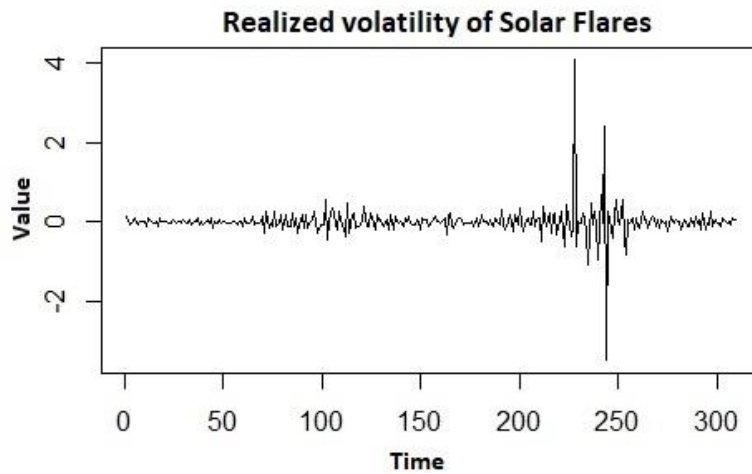
6.3 Επίδραση ηλιακής δραστηριότητας στην πετρελαϊκή δραστηριότητα

Τα ηλιακά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν υποκεφάλαιο, ήταν οι ηλιακές εκλάμψεις και αντλήθηκαν από το NOAA. Οι οικονομικές μεταβλητές είναι ο δείκτης τιμών καταναλωτή (CPI), τα δεκαετή ομόλογα (GS10), ενώ και οι δύο αντλήθηκαν από το Fred St Lewis. Όσον αφορά τις τιμές της αγοράς πετρελαίου, ο δείκτης WTI (West Texas Intermediate) αντλήθηκε επίσης από το Fred St Lewis. Οι CPI και GS10 ελήφθησαν σε μηνιαία μορφή, ενώ ο WTI και οι ηλιακές εκλάμψεις, σε ημερήσια μορφή. Η πραγματοποιηθείσα μεταβλητότητα των εκλάμψεων και του WTI υπολογίστηκε, σε μηνιαία μορφή. Το σύνολο των δεδομένων αφορούν από τον Μάιο του 1987 έως τον Δεκέμβριο του 2014, οπότε υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Ο Πίνακας 6.16 παρουσιάζει τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία της χρονοσειράς που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυσή μας, ενώ τα Σχήματα 6.11 και 6.12 δείχνουν την πραγματοποιηθείσα μεταβλητότητα των δεδομένων μας.

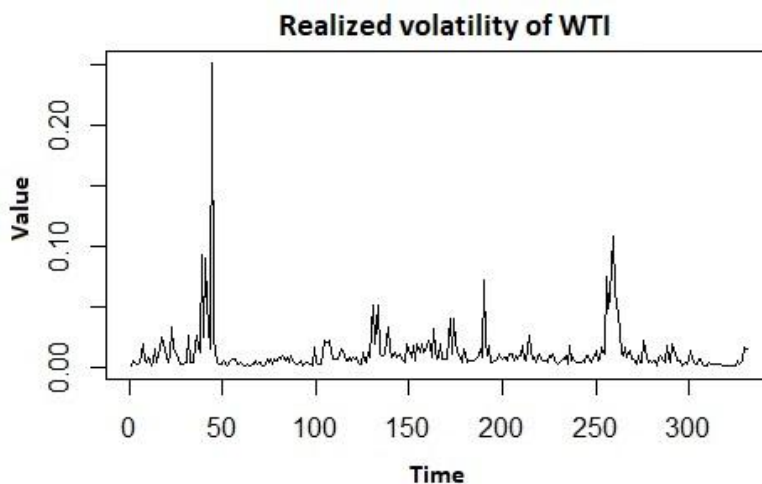
Πίνακας 6.15: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των χρονοσειρών.

Μεταβλητή	Μέσος όρος	Διάμεσος	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστο	Μέγιστο
RV_WTI	0.01	$7 \cdot 10^{-3}$	0.02	10^{-3}	0.25
CPI	177.16	176.10	35.99	113.50	237.50
GS10	5.31	5.110	2.04	1.53	9.52
RV_Flares	$-8 \cdot 10^{-3}$	0.025	1.35	-5.39	5.82

Γράφημα 6.11: Γραφική παράσταση πραγματοποιηθείσας μεταβλητότητας των ηλιακών εκλάμψεων.



Γράφημα 6.12: Γραφική παράσταση πραγματοποιηθείσας μεταβλητότητας του δείκτη West Texas Intermediate (WTI).



Στην παρούσα εργασία, εκτιμούμε την πραγματοποιηθείσα μεταβλητότητα για το δείκτη WTI και τις ηλιακές εκλάμψεις.

Η δομή των μοντέλων, μετά την εκτίμηση των συντελεστών, είναι η εξής:

Βασικό μοντέλο:

$$RV_{WTI_t} = 0.01 + 0.15 * RV_{WTI_{t-1}} + 0.23 * RV_{WTI_{t-2}} + 0.25 * RV_{WTI_{t-3}} \quad (6.8)$$

Εναλλακτικό_1 μοντέλο:

$$RV_{WTI_t} = -3 * 10^{-3} + 0.16 * RV_{WTI_{t-1}} + 0.23 * RV_{WTI_{t-2}} + 0.25 * RV_{WTI_{t-3}} + 2.3 * 10^{-8} * CPI_t + 7 * 10^{-4} * GS10_t \quad (6.9)$$

Εναλλακτικό_2 μοντέλο:

$$RV_{WTI_t} = -8 * 10^{-3} + 0.09 * RV_{WTI_{t-1}} + 0.20 * RV_{WTI_{t-2}} + 0.20 * RV_{WTI_{t-3}} + 3.7 * 10^{-8} * CPI_t + 0.01 * GS10_t + 9 * 10^{-4} * RV_{Flares_t} \quad (6.10)$$

Οι Πίνακες 6.17-6.20 απεικονίζουν τα αποτελέσματα των κριτηρίων πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυσή μας (RMSFE, MAE, MAPE, Theil's U). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όλα τα κριτήρια (εκτός από το MAPE στον ορίζοντα 1) δίνουν καλύτερα αποτελέσματα προβλέψεων για το μοντέλο Εναλλακτικό_1 στη σύγκριση μεταξύ του ίδιου και του βασικού μοντέλου. Επιπλέον, το Εναλλακτικό_2 είναι καλύτερο από άποψη πρόβλεψης από το Εναλλακτικό_1. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το Εναλλακτικό_2 είναι καλύτερο από το μοντέλο Εναλλακτικό_1, το οποίο με τη σειρά του είναι καλύτερο από το βασικό μοντέλο. Αυτό σημαίνει ότι οι μακροοικονομικές μεταβλητές συμβάλλουν στην πρόβλεψη του WTI και, επιπλέον, οι ηλιακές εκλάμψεις συμβάλλουν επιπροσθέτως στην πρόβλεψη του WTI.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα του Diebold-Mariano τεστ για το βασικό μοντέλο και το μοντέλο Εναλλακτικό_1 καθώς και για τα μοντέλα Εναλλακτικό_1 και Εναλλακτικό_2, είναι στατιστικά σημαντικά, εκτός από τις περιπτώσεις του όγδου, εντάκατου και του δωδέκατου ορίζοντα.

Πίνακας 6.16: Αποτελέσματα του κριτηρίου RMSFE για το βασικό, το Εναλλακτικό_1, και το Εναλλακτικό_2, μοντέλα.

Ορίζοντας	Βασικό μοντέλο	Εναλλακτικό_1 μοντέλο	Εναλλακτικό_2 μοντέλο
H=1	0.0118*	0.0088*	0.0073*
H=2	0.0126*	0.0076*	0.0064*
H=3	0.0110*	0.0073*	0.0062*
H=4	0.0099*	0.0070*	0.0061*
H=5	0.0092*	0.0067*	0.0058*
H=6	0.0091*	0.0064*	0.0056*
H=7	0.0085*	0.0062*	0.0056*
H=8	0.0081	0.0061*	0.0055*
H=9	0.0079*	0.0061*	0.0055*
H=10	0.0077*	0.0060*	0.0056*
H=11	0.0075	0.0060*	0.0056*
H=12	0.0075	0.0061*	0.0057*

Πίνακας 6.17: Αποτελέσματα του κριτηρίου MAE για το βασικό, το Εναλλακτικό_1, και το Εναλλακτικό_2, μοντέλα.

Ορίζοντας	Βασικό μοντέλο	Εναλλακτικό_1 μοντέλο	Εναλλακτικό_2 μοντέλο
H=1	0.0118*	0.0088*	0.0073*
H=2	0.0126*	0.0076*	0.0064*
H=3	0.0110*	0.0072*	0.0062*
H=4	0.0098*	0.0069*	0.0060*
H=5	0.0091*	0.0066*	0.0057*
H=6	0.0090*	0.0062*	0.0055*
H=7	0.0083*	0.0061*	0.0055*
H=8	0.0079	0.0060*	0.0055*
H=9	0.0077*	0.0060*	0.0055*
H=10	0.0075*	0.0059*	0.0055*
H=11	0.0073	0.0059*	0.0056*
H=12	0.0072	0.0060*	0.0057*

Πίνακας 6.18: Αποτελέσματα του κριτηρίου MAPE για το βασικό, το Εναλλακτικό_1, και το Εναλλακτικό_2, μοντέλα.

Οριζοντας	Βασικό μοντέλο	Εναλλακτικό_1 μοντέλο	Εναλλακτικό_2 μοντέλο
H=1	0.7850*	0.5899*	0.4856*
H=2	0.7883*	0.4770*	0.4028*
H=3	1.0773*	0.6715*	0.5826*
H=4	1.2919*	0.8183*	0.7271*
H=5	1.5552*	0.9672*	0.8575*
H=6	1.4853*	0.9312*	0.8328*
H=7	2.7030*	1.5153*	1.4247*
H=8	3.0865	1.8626*	1.7547*
H=9	2.9189*	1.9725*	1.8767*
H=10	2.7632*	2.0332*	1.9516*
H=11	2.9585	2.2171*	2.1533*
H=12	2.8651	2.2680*	2.2215*

Πίνακας 6.19: Αποτελέσματα του κριτηρίου Theil's U για το βασικό, το Εναλλακτικό_1, και το Εναλλακτικό_2, μοντέλα.

Οριζοντας	Βασικό μοντέλο	Εναλλακτικό_1 μοντέλο	Εναλλακτικό_2 μοντέλο
H=1	5.3431*	4.0150*	3.3050*
H=2	1.1447*	0.6456*	0.5674*
H=3	1.6779*	0.9996*	0.8843*
H=4	2.3226*	1.3615*	1.2295*
H=5	2.0594*	1.4007*	1.2623*
H=6	2.2687*	0.9935*	0.9388*
H=7	2.4616*	1.2715*	1.2264*
H=8	2.1642	1.3702*	1.3225*
H=9	2.0154*	1.4562*	1.4139*
H=10	2.3419*	1.6175*	1.5812*
H=11	2.2087	1.6917*	1.6670*
H=12	2.3909	1.8260*	1.8124*

Συνοψίζοντας, στο παρόν κεφάλαιο μελετήθηκε η επίδραση των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων στη χρηματοοικονομική δραστηριότητα, και πιο συγκεκριμένα στον δείκτη τιμών του NASDAQ. Επιπλέον, μελετήθηκε η άμεση επίδραση στον κλάδο των χρηματοοικονομικών και ασφαλιστικών υπηρεσιών των ΗΠΑ και η έμμεση επίδραση της διάχυσης από τον κλάδο των χρηματοοικονομικών και ασφαλιστικών υπηρεσιών σε όλους τους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας των ΗΠΑ. Έχοντας μελετήσει την επίδραση των ηλιακών και γεωμαγνητικών φαινομένων, τόσο στην οικονομική όσο και στη χρηματοοικονομική δραστηριότητα, στη συνέχεια εξετάσαμε την επίδραση του ηλιακού καιρού στη δραστηριότητα άντλησης πετρελαίου, η οποία σχετίζεται άμεσα και με την τιμή του. Με αυτό τον τρόπο, μελετήσαμε την επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στις τιμές του πετρελαίου. Σε ό,τι ακολουθεί θα συνοψίσουμε τα βασικά συμπεράσματα της διδακτορικής διατριβής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής, τα ηλιακά και γεωμαγνητικά φαινόμενα έχουν πολλαπλή επίδραση, τόσο στην οικονομική δραστηριότητα, όσο και στη χρηματοοικονομική δραστηριότητα, αλλά και στην πετρελαϊκή αγορά. Συγκεκριμένα, ο διαστημικός καιρός, όπως εκφράζεται μέσω του γεωμαγνητικού δείκτη Dst, επηρεάζει την παραγωγή του κλάδου των τηλεπικοινωνιών και του κλάδου ενημέρωσης και επικοινωνίας των ΗΠΑ. Αυτό συμβαίνει επειδή οι δορυφόροι είτε παύουν να λειτουργούν παροδικά, είτε καταστρέφονται ολοσχερώς εξαιτίας γεωμαγνητικών διαταραχών, ιδίως γεωμαγνητικών καταιγίδων, με αποτέλεσμα αυτό να έχει επίπτωση στην παραγωγή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

Στην περίπτωση της Γαλλίας, φαίνεται να επιδρά και άλλος ένας παράγοντας, εκτός του διαστημικού καιρού, και αυτός είναι η δυναμική των ηλιακών κηλίδων. Μέσα από δευτερογενή φαινόμενα που προκαλούν οι ηλιακές κηλίδες, σε σύμπραξη με τις γεωμαγνητικές ανωμαλίες, προκαλούν αρνητική επίδραση στον ίδιο κλάδο, με τον ανάλογο μηχανισμό.

Εκτός αυτού όμως, με βάση τα εκτιμηθέντα μοντέλα, υπάρχει και μια ταυτόχρονη επίδραση στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών και στον κλάδο των χρηματοοικονομικών δραστηριοτήτων. Αυτό μας δείχνει τη φύση της επίδρασης της ηλιακής δραστηριότητας, όπως αυτή εκδηλώνεται με τις ηλιακές κηλίδες αλλά και του διαστημικού καιρού. Η λογική είναι ότι τα ηλιακά και γεωμαγνητικά φαινόμενα δημιουργούν προβλήματα στους δορυφόρους, τους οποίους είτε καταστρέφουν, είτε προκαλούν τη δυσλειτουργία τους, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν έτσι την επικοινωνία, τις συναλλαγές, τη σωστή λειτουργία του τραπεζικού και χρηματοοικονομικού συστήματος, και άρα και την οικονομία συνολικά.

Εκτός από τα άμεσα αποτελέσματα στην οικονομία, η ηλιακή δραστηριότητα έχει και έμμεσο αντίκτυπο σε όλους τους κλάδους στην περίπτωση της οικονομίας των ΗΠΑ. Η ηλιακή δραστηριότητα, εκτός των προαναφερθέντων κλάδων, επηρεάζει και τον κλάδο ενέργειας με άμεσο τρόπο, καθώς μέσα από την ενίσχυση των ρευμάτων που διέρχονται από την

ατμόσφαιρα της γης, μπορεί να προκληθεί καταστροφή μετασχηματιστών, ηλεκτρικών συσκευών, ακόμα και η διαταραχή εργοστασίων ενέργειας. Έτσι, μέσα από μοντέλα θεωρίας δικτύων, αναδείξαμε τη σχέση των διαφόρων κλάδων, και αφού ο ήλιος επηρεάζει τη δραστηριότητα του κλάδου ενέργειας επηρεάζει και όλους τους άλλους κλάδους. Πιο συγκεκριμένα, οι ηλιακές εκλάμψεις, η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου αλλά και οι ηλιακές κηλίδες, σχετίζονται με τη λειτουργία του κλάδου ενέργειας και του κλάδου χρηματοοικονομικών, μέσα από τον μηχανισμό που αναλύθηκε προηγούμενα. Στη συνέχεια, αυτοί οι κλάδοι, με μοναδικό τρόπο ο καθένας, επηρεάζουν και τους υπόλοιπους.

Κάτι ανάλογο συμβαίνει και για τον κλάδο χρηματοοικονομικών, πάλι για την περίπτωση της οικονομίας των ΗΠΑ. Έτσι, και σε αυτή την περίπτωση, η ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει άμεσα τον κλάδο των χρηματοοικονομικών, με τον μηχανισμό που προαναφέραμε, δηλαδή με τη διακοπή και διαταραχή των λειτουργιών του χρηματοοικονομικού κλάδου, λόγω βλάβης στη δορυφορική επικοινωνία, κατά τις συναλλαγές, κτλ. Στη συνέχεια, αυτός ο κλάδος, έχει αντίκτυπο στους υπόλοιπους κλάδους, π.χ. μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευση, χονδρικό και λιανικό εμπόριο, επισκευή μηχανοκίνητων οχημάτων και μοτοσικλετών, ενημέρωση και επικοινωνία.

Άλλο ένα εύρημα της παρούσας διδακτορικής διατριβής, είναι η επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας, όπως αυτή εκφράζεται από την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου, και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, όπως αυτή εκφράζεται από τον δείκτη Dst, στον χρηματοοικονομικό δείκτη Nasdaq. Τα ευρήματα μας δείχνουν ότι η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου, αλλά και οι γεωμαγνητικές διαταραχές, επιδρούν στις συναλλαγές ταχείας κλίμακας, με αποτέλεσμα την απορρύθμιση του συστήματος, προκαλώντας συχνά και αλυσιδωτή αποδιοργάνωση πολλών επενδυτών.

Επομένως, η παρούσα διατριβή αναδεικνύει πως τα ηλιακά φαινόμενα και ο διαστημικός καιρός, πέραν των επιπτώσεων στην ανθρώπινη συμπεριφορά που έχουν ερευνηθεί από τη διεθνή βιβλιογραφία, μπορούν

επίσης να επηρεάσουν την αγορά σε χρηματιστήρια υψηλής συχνότητας, λόγω της επίδρασης στις τεχνολογίες που σχετίζονται με τον κλάδο αυτόν. Η ηλιακή δραστηριότητα και ο διαστημικός καιρός είναι συχνά υπεύθυνα για τις διαταραχές που προκαλούνται γενικά στη ηλεκτρική τροφοδοσία, στους δορυφόρους και στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Οι διαταραχές αυτές έχουν σοβαρό αρνητικό αντίκτυπο στις οικονομικές συναλλαγές, μειώνοντας τις αποδόσεις και την κερδοφορία των εταιρειών και καθιστώντας τις μετοχές των εταιρειών λιγότερο ελκυστικές για τους επενδυτές. Η μειωμένη επενδυτική επιθυμία έχει αρνητικές επιπτώσεις στον δείκτη τιμών του χρηματιστηρίου NASDAQ.

Τέλος, στην περίπτωση της πετρελαϊκής αγοράς, η παρούσα διδακτορική διατριβή ανέδειξε την επίδραση των ηλιακών φαινομένων στην αγορά πετρελαίου. Έτσι, ένα ακραίο ηλιακό φαινόμενο με μεγάλη σημασία για το γήινο περιβάλλον, οι ηλιακές εκλάμψεις, προκαλούν διάφορες διαπλανητικές μεταβολές και αναταράξεις, με αποτέλεσμα την ενίσχυση και τον ιονισμό των ατόμων που ενυπάρχουν στην ιονόσφαιρα και γενικότερα, στην ατμόσφαιρα της γης. Ο ιονισμός των σωματιδίων μπορεί να προκαλέσει συνθήκες παρόμοιες με αυτές των κεραυνών, με αποτέλεσμα την καταστροφή μηχανημάτων αλλά και δεξαμενών που σχετίζονται με το πετρέλαιο. Μια τέτοια καταστροφή μπορεί να έχει τεράστιο αντίκτυπο στην ποσότητα διάθεσης του πετρελαίου στην αγορά, επηρεάζοντας και την τιμή του, αντιστοίχως.

Συνοψίζοντας, η ηλιακή δραστηριότητα μπορεί να μετρηθεί με πολλούς τρόπους. Εμείς χρησιμοποιήσαμε τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων, τις ηλιακές εκλάμψεις και την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου. Από την άλλη, η γεωμαγνητική δραστηριότητα εκφράζεται με πολλούς δείκτες, όμως ένας από τους πιο σημαντικούς είναι ο δείκτης Dst, τον οποίο χρησιμοποιήσαμε και εμείς στην ανάλυσή μας. Τα ηλιακά και γεωμαγνητικά φαινόμενα επηρεάζουν τους κλάδους των τηλεπικοινωνιών και χρηματοοικονομικών, και μάλιστα ταυτόχρονα σε ορισμένες περιπτώσεις. Αντίστοιχα, η ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει τους κλάδους ενέργειας, τηλεπικοινωνιών και

χρηματοοικονομικών με άμεσο τρόπο. Ο κλάδος ενέργειας και ο κλάδος χρηματοοικονομικών επηρεάζουν, στη συνέχεια, πολλούς από τους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι έντονη η εξάρτηση όλων των κλάδων από αυτούς τους δύο, με αποτέλεσμα τα ηλιακά φαινόμενα να επηρεάζουν έμμεσα πολλούς (αν όχι όλους), από τους κλάδους της οικονομίας των ΗΠΑ. Τέλος, η ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει τη διαδικασία εξόρυξης πετρελαίου, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η ποσότητα του πετρελαίου που διαχέεται στην αγορά και άρα και η τιμή του. Επομένως, η ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει και την τιμή του πετρελαίου, και τη μεταβλητότητα αυτής.

Προφανώς, η παρούσα διδακτορική διατριβή ανοίγει αρκετά πεδία για περαιτέρω διερεύνηση. Στο σύνολο της οικονομίας, θα μπορούσε να διερευνηθεί η πιθανή επίδραση στη συνολική παραγωγικότητα (TFP), ή να επεκταθεί το υπόδειγμα έμμεσης διάχυσης και σε άλλες χώρες, με τη μορφή υπομοντέλων, όπου μέσα από πολλαπλά δίκτυα οι κλάδοι μιας χώρας επηρεάζονται και επηρεάζουν αυτούς άλλων χωρών. Αντίστοιχα, στον κλάδο της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας, θα είχε ενδιαφέρον η συμπερίληψη μεταβλητών όπως τα ταχεία ηλιακά ρεύματα (HSSWSs) και οι ενδοπλανητικές στεμματικές εκτινάξεις μάζας (ICMEs).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία:

Abdel-Rahmanab H.I. and Marzouka B.A. (2018), Statistical method to predict the sunspots number, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, Volume 7, Issue 2, December 2018, Pages 175-179.

Acemoglu D., Carvalho V.M., Ozdaglar A. and Tahbaz-Salehi A. (2012), The Network Origins of Aggregate Fluctuations, *Econometrica*, 80, 1977–2016.

Adhikari Dipa and Chen Yanying (2013), Energy Consumption and Economic Growth: A Panel Cointegration Analysis for Developing Countries, *Review of Economics and Finance*, vol. 3, pages 68-80.

Ahluwalia H.S. (2015), North–south excess of hemispheric sunspot numbers and cosmic ray asymmetric solar modulation, *Advances in space Research*, 56, 2645–2648.

Ahluwalia H.S. (2018), Evolution of sunspot number timeline for next several cycles beyond 2016, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 176 57–60.

Ahmad N., Hayat M.F., Hamad N. and Luqman M. (2012), Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from Pakistan, *Australian Journal of Business and Management Research*, 2(6), 9-14.

Akhtari Mitra (2011), Reassessment of the Weather Effect: Stock Prices and Wall Street Weather, *Undergraduate Economic Review*, 7,1-25.

Akimov V. V., Ambroz P., Belov A. V., Berlicki A., Chertok I. M., Karlicky M., Kurt V. G., Leikov N. G., Litvinenko Yu. E., Magun A., Minko-Wasiluk A., Rompolt B. and Somov B. V. (1996), Evidence for prolonged acceleration based on a detailed analysis of the long-duration solar gamma-ray flare of June 15 1991, *Solar Physics*, 166, 107.

Akinlo, A. E. (2009). Electricity consumption and Economic growth in Nigeria: Evidence from Cointegration and Co-feature Analysis, *Journal of Policy Modelling*, 31, 681 – 693.

Akinwale Y., Jesuleye O. and Siyanbola W. (2013), Empirical Analysis of Causal Relationship between Electricity Consumption and Economic Growth in Nigeria, *British Journal of Economics, Management and Trade*, 3(3): 277 – 295.

Akomolafe K.J. and Danladi J.D. (2014), Electricity Consumption and Economic Growth in Nigeria: A Multivariate Investigation, *International Journal of Economics, Finance and Management*, 3(1), 28 – 33.

Aktas C. and Yilmaz V. (2008), *Causal Relationship between Oil Consumption and Economic Growth in Turkey*, *Kocaeli Universitesi Sosyal Bilimler Enstitusu Dergisi* (15)2008/1: 45 -55.

Allan G., Hanley N., McGregor P., Swales K. and Turner K. (2007), The impact of increased efficiency in the industrial use of energy A computable general equilibrium analysis for the United Kingdom, *Energy Economics*, 29(4), 779-798.

Altinay G. and Karagol E. (2005), Electricity Consumption and Economic Growth: Evidence from Turkey, *Energy Economics*, 27, 849 – 856.

Alvarex LJ, Hurtado S, Sanchez I and Thomas C (2009), The impact of oil price changes on Spanish and Euro area consumer price inflation, *Banco de Espana*.

An L., Jin X. and Ren X. (2014), Are the macroeconomic effects of oil price shock symmetric?:A factor-augmented vector autoregressive approach, *Energy Economics*, 45, 217-228.

Apergis Nicholas, Gabrielsen Alexandros, Smales A. Lee (2016), (Unusual) weather and stock returns – I am not in the mood for mood: further evidence from international markets, *Financial Markets and Portfolio Management*, 30:63–94.

Asakereh A., Shiekhdavoodi M.J. and Akram A. (2010), Investigation of Energy Consumption in Agriculture Sector of Iran and their Effect on Air Pollution and Social Cost, *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology*, 2(5), 401 – 406.

Asikainen Timo, Mursula Kalevi, Kerttula Raine, Friedel Reiner, Baker Daniel, Soraas Finn, Fennell F. Hoseph and Blake J. Bernard (2005), Global view of energetic particles during a major magnetic storm. The inner Magnetosphere: Physics and Modeling, *Geophysical Monograph*, Series 155.

Asplund Martin, Grevesse Nicolas and Sauval A. Jacques (2006), The solar chemical composition, *Nuclear Physics A*, 777, 1–4.

Awartani B. M. and Corradi V. (2005), Predicting the volatility of the s&p-500 stock index via GARCH models: the role of asymmetries, *International Journal of Forecasting*, 21,167–183.

Babcock, H. W, (1961), The Topology of the Sun's Magnetic Field and the 22-YEAR Cycle, *The Astrophysical Journal*, 133: 572–587.

Bailey N., Kapetanios G. and Pesaran H. (2016), Exponent of Cross-Sectional Dependence: Estimation and Inference, *Journal of Applied Econometrics*, 31(6):929-960.

Banshwar Anuj, Sharma Kumar Naveen, Sood Raj Yog and Shrivastava Rajnish, Market-based participation of energy storage scheme to support renewable energy sources for the procurement of energy and spinning reserve, *Renewable Energy*, Elsevier, vol. 135(C), 236-344.

Bakas Dimitrios and Triantafyllou Athanasios (2019), Volatility forecasting in commodity markets using macro uncertainty, *Energy Economics*, 81, 79–94.

Baker D.N, Elkington S.R. and Li X. (2005), Particle Acceleration in the Inner Magnetosphere, The inner Magnetosphere: Physics and Modeling, *Geophysical Monograph*, Series 155.

Baker D. N., Kanekal S. G., Li X., Monk S. P., Goldstein J., and Burch J. L. (2004), *Nature*, 432, 878.

Baker D. N., Pulkkinen T. I., Toivanen P., Hesse M. and McPherron R. L. (1996), *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 48, 699.

Balogh André and Lanzerotti J. Louis (2008), The heliosphere its origin and exploration, In: Balogh André, Lanzerotti J. Louis and Suess T. (2008), *The heliosphere through the solar activity cycle*, Springer, 1-19.

Bates S, Angeon V. and Ainouche A. (2014), The pentagon of vulnerability and resilience: A methodological proposal in development economics using graph theory, *Economic Modelling*, 42:445-453.

Baumjohann W. (1993), *Space Science Reviews*, 64, 141.

Belke A. and Keil J. (2016), Financial integration, global liquidity and global macroeconomic linkages, *Journal of Economic Studies*, 43(1):16-26.

Benestad E. Rasmus (2006), *Solar activity and Earth's climate*, Second edition, Praxis Publishing.

Bergasse Emmanuel and Paczynski Wojciech (2013), The Relationship between Energy and Socio-Economic Development in the Southern and Eastern Mediterranean, *MEDPRO Technical Report*, No. 27, link: www.medpro-foresight.eu.

- Berkhout Peter H. G., Muskens Jos C. and Velthuijsen Jan W. (2000), Defining the rebound effect, *Energy Policy*, vol. 28, issue 6-7, 425-432.
- Bhasin Harsh and Bardhan Ananna (2012), Effect of Solar Flares on Communication. IRACST, *International Journal of Computer Networks and Wireless Communications (IJCNWC)*, ISSN: 2250-3501 Vol. 2, No. 1.
- Binh P. T. (2011), Energy Consumption and Economic Growth in Vietnam: Threshold Cointegration and Causality Analysis, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 1(1), 1 - 17.
- Blanchard OJ and Gali J (2007), The macroeconomic effects of oil price shocks: why are the 2000s so different from the 1970s?, *National Bureau of Economic Research*, working paper no. 13368.
- Bollerslev Tim (1986), Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity, *Journal of Econometrics*, 31 (3): 307-327.
- Bonacich, P. (1987), "Power and Centrality: A Family of Measures", *American Journal of Sociology* 92: 1070-82.
- Bonacich, P., Lloyd, P., (2001), "Eigenvector-like measures of centrality for asymmetric relations", *Social Networks* 23 (4), 191-201.
- Box G.E.P., Jenkins G.M. and G.C. Reinsel, (1994), *Time series analysis: Forecasting and control*, Prentice Hall.
- Brajša R., Vršnak B., Ruždjak V. and Jurač S. (1992), *Giant cells on the Sun revealed by low temperature microwave regions?*, Hvar observatory, 16, (1), 1-12.
- Breiman L.A. and Freedman D.F. (1983), How many variables should be entered in a regression equation?, *Journal of the American Statistical Association*, 78, pp. 131-136.
- Brody A. (1997), The second Eigenvalue of the Leontief Matrix, *Economic Systems Research*, 9(3):253-258.

Brooks Chris (2008), *Introductory Econometrics for Finance*, Second edition, Cambridge university press, The ICMA Centre, University of Reading.

Brooks Chris (2014), *Introductory Econometrics for Finance*, Cambridge university press, The ICMA Centre, University of Reading.

Burrill Robert M. and Dietz Alfred (1981), The response of honey bees to variations in solar radiation and temperature, *Apidologie*, Springer Verlag, 12 (4), pp.319-328.

Bussière, M., Chudik, A., & Sestieri, G. (2012). Modelling global trade flows: Results from a GVAR model. In Globalization and Monetary Policy Institute Working Paper 119. Federal Reserve Bank of Dallas.

Cane H. V. (2000), Coronal Mass Ejections and Forbush Decreases, *Space Science Reviews*, 93, 55-77.

Cannon Paul, Angling Matthew, Barclay Les, Curry Charles, Dyer Clive, Edwards Robert, Greene Graham, Hapgood Michael, Horne Richard, Jackson David, Mitchell Cathryn, Owen John, Richards Andrew, Rogers Christopher, Ryden Keith, Saunders Simon, Sweeting Martin, Tanner Rick, Thomson Alan and Underwood Craig (2013), *Extreme space weather: impacts on engineered systems and infrastructure*, London, Royal Academy of Engineering, 24pp.

Cao M. and Wei J. (2004 α), Weather derivatives valuation and market price of weather risk, *Journal of Futures Markets*, 24, 1065-1089.

Cao M. and Wei J. (2004 β), Stock market returns: a note on temperature anomaly, *Journal of Banking & Finance*, 29, 1559-1573.

Cao M. and Wei J. (2005 α), Stock market returns: a note on temperature anomaly, *Journal of Banking & Finance*, 29, 1559-1573.

Cao M. and Wei J. (2005β), An expanded study on the stock market temperature anomaly, In: Chen, A.H. (ed.) *Research in Finance*, vol. 22, pp. 73-112.

Carpenter R. B. (1996), Lightning protection for flammables storage facilities, *Boulder, CO. USA: Lightning Eliminators, Consultants.*

Carpenter D. L. (1970), Whistler evidence of the dynamic behavior of the duskside bulge in the plasmasphere, *Journal of Geophysical Research*, 75, 3837-3847.

Carpenter D. L. and Stone K. (1967), Direct detection by a whistler method of the magnetospheric electric field associated with a polar substorm, *Planetary and Space Science*, 15, 395-397.

Castenmiller M. J. M., Zwaan C. and van der Zalm E. B. J. (1986), Manifestations of sequences in magnetic activity, *Solar Physics*, 105, 237.

Castrén, O., Déés, S. and Zaher, F. (2010) Stress-testing euro area corporate default probabilities using a global macroeconomic model, *Journal of Financial Stability*, 6(2): 64-78.

Cerutti Eugenio, Dagher Jihad and Dell' Ariccia Giovanni (2017), *Journal of Housing Economics*, 38, 1-13.

Cetorelli Nicola and Gambera Michele (1999), Banking Market Structure, Financial Dependence and Growth: International Evidence from Industry Data, *The Journal of Finance*, 1-45.

Chang J. and C. Ling (2006), A study of storage tank accidents, *Journal of Loss of Prevention in the Process Industries*, 19, 51-59.

Chang S.C. and Nishida A. (1973), Spatial structure of transverse oscillations in the interplanetary magnetic field, *Astrophysics and Space Science*, 23, 301.

Chang Shao-Chi, Chen Sheng-Syan, Chou K. Robin, Lin Yueh-Hsiang (2008), Weather and intraday patterns in stock returns and trading activity, *Journal of Banking & Finance*, 32, 1754-1766.

Chang T., Nieh C.C., Yang M.J. and Yang, T.Y. (2005), Are stock market returns related to the weather effects? Empirical evidence from Taiwan, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 364, 343-354.

Changa I. James, Linb Cheng-Chung (2006), A study of storage tank accidents, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19, 51-59.

Chapman S. (1919), *Proceedings of the Royal Society of London*, **A95**, 61.

Chapman S. and Ferraro V. C. A. (1930), A new theory of magnetic storms, *Nature*, **126**, 129-130.

Chapman S. and Ferraro V. C. A. (1931), A new theory of magnetic storms, *Terrestrial magnetism and atmospheric electricity*, **36**, 77-97.

Chappell C. R., Harris K. K. and Sharp G. W. (1970), A study of the influence of magnetic activity on the location of the plasmopause as measured by OGO 5, *Journal of Geophysical Research*, 75, 50-56.

Charlot S., Crescenzi R. and Musolesi A. (2015), Econometric modelling of the regional knowledge production function in Europe, *Journal of Economic Geography*, 15-1227-1259.

Charlot P. and Marimoutou V. (2014), On the relationship between the prices of oil and the precious metals: revisiting with a multivariate regime-switching decision tree, *Energy Economics*, 44, 456-467.

Chatziantoniou Ioannis, Stavros Degiannakis and George Filis (2019), Futures - based forecasts: How useful are they for oil price volatility forecasting?, *Energy Economics*, 81, 639–649.

Chen W., Hamori S. and Kinkyo, T. (2017), Banking sector resilience to financial spillovers, *Applied Economics Letters*, vol. 24(6), pages 422-426, March.

Chen S. T., Kuo H. I. and Chen C. (2007), The Relationship between GDP and Electricity Consumption in 10 Asian Countries, *Energy Policy*, 35, 2611 – 2621.

Chenette D. L., Conlon T. F. and Simpson J. A. (1974), Bursts of relativistic electrons from Jupiter observed in interplanetary space with the time variation of the planetary rotation period, *Journal of Geophysical Research*, 79, 3551.

Chizhevsky, Alexander (1924), *Physical Factors of the Historical Process*, – Kaluga; in Russian: А.Чижевский. «Физические факторы исторического процесса.» – Калуга, 1-я Гостиполитография, 1924).

Chizhevsky, Alexander (1938), *Les Epidemies et les perturbations electromagnetiques du milieu exterieur*, – Paris, Hippocrate.

Chizhevsky, Alexander (1976), *The Terrestrial Echo of Solar Storms*, – (In Russian: А.Л.Чижевский. «Земное эхо солнечных бурь.» – Москва, Издательство «Мысль».

Chizhevsky, Alexander (1976), *The Terrestrial Echo of Solar Storms*, – (In Russian: А.Л.Чижевский. «Земное эхо солнечных бурь.» – Москва, Издательство «Мысль».

Choi K. and Hammoudeh S. (2010), Volatility behavior of oil, industrial commodity and stock markets in a regime-switching environment, *Energy Policy*, 38, 4388–4399.

Chong C. W., Ahmad M. I. and Abdullah M. Y. (1999), Performance of GARCH models in forecasting stock market volatility, *Journal of Forecasting*, 18,333-343.

Chudik A. and Pesaran H. (2016), Theory and Practice of GVAR modeling, *Journal of Economic Surveys*, 30(1): 165-197.

Chudik, A., & Pesaran, M. H. (2011). Infinite dimensional VARs and factor models, *Journal of Econometrics*, 163, 4-22. CIA. (2013). World factbook.

Chudik, A. and Smith, V. (2013) The GVAR approach and the dominance of the U.S. economy, Federal Reserve Bank of Dallas, *Globalization and Monetary Policy Institute Working Paper No. 136*.

Clark Stuart (2007), Astronomical fire: Richard Carrington and the solar flare of 1859, *Endeavour*, 31(3):104-9.

Clette Frédéric, Svalgaard Leif, Vaquero José M. and Cliver Edward W. (2014), Revisiting the Sunspot Number, *Space Science Reviews*, Vol. 186, p. 35-103.

Cliver E. W. and Cane H. V. (2003), The last word, *Eos Transactions American Geophysical Union*, 83, 61-68.

Conlon T. F. and Simpson J. A. (1977), Modulation of Jovian electron intensity in interplanetary space by corotating interaction regions, *Astrophysical Journal*, 211, L45-L49.

Conlon T. F. (1978), The interplanetary modulation and transport of Jovian electrons, *Journal of Geophysical Research*, 83, 541-552.

Cooper William W., Deng H., Huang Zhimin and Li Susan X. (2004), Chance constrained programming approaches to congestion in stochastic data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, 155, 487–501.

Cunado J. and Perez de Gracia F. (2014), Oil price shocks and stock market returns: evidence for some European countries, *Energy Economics*, 42, 365–377.

Daglis A. I., Kozyra U. J., Kamide Y., Vassiliadis D., Sharma A. S., Liemohn W. M., Gonzalez D. W., Tsurutani T. B. and Lu G. (2003) Intense space storms: Critical issues and open disputes, *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, No A5, 1208 181:205.

Daglis A. I., Kozyra U. J., Kamide Y., Vassiliadis D., Sharma A. S., Liemohn W. M., Gonzalez D. W., Tsurutani T. B. and Lu G. (2003), Intense space storms: Critical issues and open disputes, *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, No A5, 1208 181:205.

Daglis I. (2006), Ring current dynamics, In: *Solar dynamics and its effects on the heliosphere and earth*, Edited by Baker D.N., Klecker B., Schwartz S.J. and Schwenn R, 22, 183-202.

Daglis I. A. and Kamide Y. (2003) In: A. S. Sharma, Y. Kamide, and G. S. Lakhina (eds.), *Disturbances in Geospace: The Storm-Substorm Relationship*, *Geophysical Monograph Series*, Vol. 142, doi 10.1029/142GM11, Washington D. C.: AGU, pp. 119-129.

Daglis I. A., Delcourt D., Metallinou F.-A. and Kamide Y. (1998), *IEEE Transactions on Plasma Science*, 32 (4), 1449.

Daglis I. A. (1997), Terrestrial agents in the realm of space storms missions study oxygen ions, *Eos Transactions American Geophysical Union*, 24, 245.

Daglis I. A., Kasotakis G., Sarris E. T., Kamide Y., Livi S., and Wilken B. (1999), *Physics and Chemistry of the Earth*, 24, 229.

Daglis I. A., Paschalidis N. P., Sarris E. T., Axford W. I., Kremser G. and Wilken B. et al. (1991), in: J. R. Kan, T. A. Potemra, S. Kokubun, and T. Iijima (eds.): *Magnetospheric Substorms, Geophysical Monograph Series, Vol. 64*. Washington, D. C.: AGU, pp. 323–332.

Daglis I. A., Livi S., Sarris E. T., and Wilken B. (1994), Energy density of ionospheric and solar wind origin ions in the near-Earth magnetotail during substorms, *Journal of Geophysical Research*, 99, 5691.

Daglis I. A., and Axford W. I. (1996), Fast ionospheric response to enhanced activity in geospace: Ion feeding of the inner magnetotail, *Journal of Geophysical Research*, 101, 5047.

Daglis I. A., Kozyra J. U., Kamide Y., Vassiliadis D., Sharma A. S. and Liemohn M.W., et al. (2003), *Journal of Geophysical Research*, 108, 1208, doi:10.102/ 2002JA009722.

Daglis Theodoros, Konstantakis N. Konstantinos, Michaelides G. Panayotis (2019), Solar events and economic activity: Evidence from the US Telecommunications industry (1996–2014), *Physica A*, Vol. 534, 120805.

Dées, S., di Mauro, F., Pesaran, H., & Smith, V. (December 2005). Exploring the international linkages of the euro area: A globalVAR analysis. In *Working Paper Series*, No. 56. European Central Bank.

Dées, S., di Mauro, F., Pesaran, M. H., & Smith, L. V. (2007). Exploring the international linkages of the euro area: A global VAR analysis, *Journal of Applied Econometrics*, 22, 1–38.

Dées, S., Holly, S., Pesaran, M. H., & Smith, L. V. (2007). Long-run macroeconomic relations in the global economy, *Economics, the Open Access, Open Assessment E-Journal 1*, Kiel Institute for the World Economy 262.

Den Baeumen HSI, Moran D, Lenzen M, Cairns I and Steenge A (2014), How severe space weather can disrupt global supply chains, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(10):2749–2759.

Dewey Edward (1968), Economic and Sociological Phenomena Related to Solar Activity and Influence, *Cycles Magazine*, 19, 201.

Dowling M. and Lucey B. (2008), Robust global mood influences in equity pricing, *Journal of Multinational Financial Management*, 18, 145–164.

Drost C. Feike and Rivera Gonzalez Gloria (1999), Efficiency comparisons of maximum likelihood based estimators in GARCH models, *Journal of Econometrics*, 93:93–111.

Dufour J.-M., Pelletier D. and Renault E. (2006), Short run and Long run Causality in Time series: Inference, *Journal of Econometrics*, 132 (2): 337-362.

Dufour, J.-M. and Renault E. (1998), Short-run and long-run causality in time series: theory, *Econometrica*, 66 (5): 1099–1125.

Dungey J. W. (1961), *Physical Review Letters*, 6, 47.

Eastwood J. P., Biffis E., Hapgood M. A., Green L., Bisi M. M., Bentley R. D., Wicks R., McKinnell L.-A., Gibbs M., and Burnett C. (2017), The Economic Impact of Space Weather: Where Do We Stand?, *Risk Analysis*, Vol. 37, No. 2, 2017.

Efimova O. and Serletis A. (2014), Energy markets volatility modelling using GARCH, *Energy Economics*, 43, 264–273.

Emslie A. G., Dennis B. R., Holman G. D. and Hudson H. S. (2005), Refinements to flare energy estimates: A followup to "Energy partition in two solar flare/CME events" by A. G. Emslie et al., *Journal of Geophysical Research*, 110, A11 103.

Engle Robert F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation, *Econometrica*, 50 (4): 987-1007.

Engle R.F. and Ng V.K. (1993), Measuring and testing the impact of news on volatility, *Journal of Finance*, 48(5):1749-1778.

Engle, F.R. and Granger, W.J.C. (1987), Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing, *Econometrica*, 55 (2): 251-276.

Essers D., Developing country vulnerability in light of the global financial crisis: Shock therapy? *Review of Development Finance*, Volume 3 (2013) 61-83.

Fagiolo G., Reyes J. and Schiavo S. (2008), On the topological properties of the world trade web: a weighted network analysis, *Physica A*, 387, 3868-3873.

Fattouh B., Kilian L. and Mahadeva L. (2013), The role of speculation in oil markets: what have we learned so far?, *Energy*, 34, 7-33.

Fisk L. A., Kozlovsky B. and Ramaty R. (1974), An Interpretation of the Observed Oxygen and Nitrogen Enhancements in Low-Energy Cosmic Rays, *Astrophysical Journal*, 190, L35.

Florida R., Mellander C. and Stolarick K. (2008), Inside the black box of regional development: human capital, the creative class and tolerance, *Journal of Economic Geography*, 8: 615-649.

Floros C. (2011), On the relationship between weather and stock market returns, *Studies in Economics and Finance*, 28, 5–13.

Forsyth, R. J., and Gosling, J. T. (2001), *Corotating and transient structures in the heliosphere*, in *The Heliosphere near Solar Minimum: The Ulysses Perspective* (A. Balogh, R. G. Marsden, and E. J. Smith, eds.), pp. 107–166, Springer-Praxis, Chichester, UK.

Franses P. H. and Dijk D. V. (1996), Forecasting stock market volatility using (non-linear) GARCH models, *Journal of Forecasting*, 15:229–235.

Frondel Manuel, Ritter Nolan and Vance Colin (2012), Heterogeneity in the rebound effect: Further evidence for Germany, *Energy Economics*, vol. 34, issue 2, 461-467.

Font Vivanco D., Van der Voet and E. (2014), *International journal of Life Cycle Assess*, 19: 1933. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0802-6>.

Galván D. Arturo and Gomes Chandima (2013), Protection of Oil Storage Tanks against Direct Lightning Strikes: Self Protection Scheme or Standalone LPS?, *International Symposium on Lightning Protection (XII SIPDA)*, Belo Horizonte, Brazil.

Garcia-Mata Carlos and Shaffner Felix I. (1934), *The Quarterly Journal of Economics*, Volume 49, Issue 1, Pages 1–51.

Gardebroek C. and Hernandez M.A. (2013), Do energy prices stimulate food price volatility? Examining volatility transmission between us oil, ethanol and corn markets, *Energy Economics*, 40, 119–129.

Garrett I., Kamstra M.J. and Kramer L.A. (2005), Winter blues and time variation in the price of risk, *Journal of Empirical Finance*, 12, 291–316.

Gary S. P., Thomsen M. F., Yin L. and Winske D. (1995), Electromagnetic proton cyclotron instability: Interactions with magnetospheric protons, *Journal of Geophysical Research*, 100(A11), 21961.

Geiss J. and P. Bochsler (1986), *Solar wind composition and what we expect to learn from out-of-ecliptic measurements*, in *The Sun and the Heliosphere in Three Dimensions* (R. G. Marsden, ed.), p. 173, Astrophysics and Space Science Library Vol. 123, D. Reidel, Dordrecht, The Netherlands.

Gerontidou M., Mavromichalaki H. and Daglis T. (2018), High-Speed Solar Wind Streams and Geomagnetic Storms During Solar Cycle 24, *Solar Physics*, 293: 131.

Gershberg and Knyazeva (2005), *Solar-type activity in main sequence stars*, Translated by S. Knyazeva, Springer, 50-200.

Ghaderi S.F., Azadeh M.A. and Mohammadzadeh S. (2006), Relationship between Value Added and Electricity Consumption in the Iranian Industries, *Journal of Applied Sciences*, 6(2), 387 - 390.

Giacalone J., Jokipii J.R., Decker R.B., Krimigis S.M., Schiler M. and Kucharek H. (1997), Preacceleration of anomalous cosmic rays in inner heliosphere, *The Astrophysical Journal*, 486: 471-476.

Ginzburg V.L. and Syrovatsky S.I. (1961), Origin of Cosmic Rays, *Supplement of the Progress of Theoretical Physics*, No 20, pages 1-83.

Goetzmann W.N. and Zhu N. (2005), Rain or shine: where is the weather effect?, *European Financial Management*, **11**, 559-578.

Goldstein J., Sandel B. R., Reiff P. H. and Hairston M. R. (2003), *Geophysical Research Letters*, 30(24), 2243.

Goldstein J., Burch J. L., Sandel B. R., Mende S. B., Cson Brandt P. and Hairston M. R. (2005), *Journal of Geophysical Research*, 110, A03205.

Goldstein J. (2006), Plasmasphere response: tutorial and review of recent imaging results, In: *Solar dynamics and its effects on the heliosphere and earth*, Edited by Baker D.N., Klecker B., Schwartz S.J. and Schwenn R, 22, 203-216.

Goldstein J., Kanekal S. G., Baker D. N. and Sandel B. R. (2005), *Geophysical Research Letters*, 32, L15104.

Gonzalez W.D., Joselyn J.A., Kamide Y., Kroehl H.W., Rostoker G., Tsurutani B.T. and Vasyliunas V.M., (1994). What is a geomagnetic storm?, *Journal of Geophysical Research*, 99, 5771–5792.

Gopalswamy N. (2004), *A global picture of CMEs in the inner heliosphere*, in *The Sun and the Heliosphere as an Integrated System* (G. Poletto and S. T. Suess, eds.), p. 201, Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.

Gorbanev Mikhail,(2012), Sunspots, Unemployment, and Recessions, or can the Solar Activity Cycle Shape the Bussiness Cycle?, *MPRA Paper No. 40271*, posted 26. July 2012 13:31 UTC.

Grande M., Perry C. H., Hall D. S., Wilken B., Livi S. and Søråas F., et al. (1992), Substorms 1, *European Cooperation for Space Standardization*, SP-335, 485.

Gray και Livingston (1997), Monitoring the solar temperature: spectroscopic temperature variations of the sun, *The Astrophysical Journal*, 474: 802-809.

Green Lucie, Deighton Richard, Baker Deb, (2016), Building Space Weather Resilience in the Finance Sector, *UCL Public Policy*, pp. 5-16, link: <https://www.ucl.ac.uk/public-policy/>.

Greene H. William (2002), *Econometric Analysis*, pp. 340-357.

Hale G. E. (1908), On the Probable Existence of a Magnetic Field in Sun-Spots, *The Astrophysical Journal*, 28: 315.

Hale G. E., Ellerman F., Nicholson S. B. and Joy A. H. (1919), The Magnetic Polarity of Sun-Spots, *The Astrophysical Journal*, 49: 153.

Hamilton J. (1994), *Time Series Analysis*, Princeton, Princeton University Press, pp. 318–323 and 336–350.

Hamilton J.D. (2011), Nonlinearities and the macroeconomic effects of oil prices, *Macroeconomic Dynamics*, 15, 364–378.

Hanley M. (1999), Hedging the Force of Nature, *Risk Professional*, Issue 1, p. 21-25.

Hanley N., McGregor P., Swales K. and Turner K. (2006), The impact of a stimulus to energy efficiency on the economy and the environment: A regional computable general equilibrium analysis, *Renewable Energy*, 31: 161-171.

Hanley N., McGregor P., Swales K. and Turner K. (2009), Do increases in energy efficiency improve environmental quality and sustainability? *Ecological Economics*, 68(3), 692-709.

Hapgood Mike and Thomson Alan (2010) *Space weather : its impact on Earth and implications for business*, Lloyd's 360 Risk Insight.

Harris E. Seymour (1948), *The location of economic activity*, Economic handbook series.

Hathaway David H. and Suess Steven T. (2008), Solar cycle 23, In: Balogh André, Lanzerotti J. Louis and Suess T. (2008), *The heliosphere through the solar activity cycle*, Springer, 21-38.

Hathaway D. H. and Wilson R. M. (2004), What the Sunspot Record Tells Us About Space Climate, *Solar Physics*, 224, 5-19.

Heber B. and Potgieter M. S. (2008), Galactic and anomalous cosmic rays through the solar cycle: New insights from Ulysses, In: Balogh André, Lanzerotti J. Louis and Suess T. (2008), *The heliosphere through the solar activity cycle*, Springer, 195-239.

Henney C. J., and J. W. Harvey (2002), Phase coherence analysis of solar magnetic activity, *Solar Physics*, 207, 199.

Herrera AM, Lagalo LG and Wada T (2015), Asymmetries in the response of economic activity to oil price increases and decreases?, *Journal of International Money and Finance*, 50: 108-133.

Hertzprung Ejnar (1908), Über die Sterne der Unterabteilung c und ac nach der Spektralklassifikation von Antonia C. Maury, *Astronomische Nachrichten*, 179 (24): 373-380.

Howard R. A. and M. J. Koomen (1974), Observations of sector structure in the outer corona: Correlation with interplanetary field, *Solar Physical*, 37, 469.

Hundhausen A. J. (1977), An interplanetary view of coronal holes, in *Coronal Holes and High-Speed Wind Streams* (J. B. Zirker, ed.), p. 225, Colorado Associated University Press, Boulder.

Higgins M.L., Bera A.K., et al (1992), A class of nonlinear arch models, *International Economic Review*, 33(1):137-158.

Hirshleifer David and Shumway Tyler (2003), Good Day Sunshine: Stock Returns and the Weather, *The Journal of Finance*, LVIII, 1009-1032.

Hossain, MD. S. (2013). Energy Consumption Nexus Economic Growth: A Dynamic Cointegration and Causality Analysis. *Scholars World-IRMJCR*, vol 1, issue 111, online:ISSN 2320-3145, Print: ISSN 2319- 5789.

Hye Q.M.A. and Riaz S. (2008), Causality between Energy Consumption and Economic Growth: The Case of Pakistan, *The Lahore Journal of Economics*, 13(2), 45 – 58.

Ibrahim MH (2015), Oil and food prices in Malaysia: a nonlinear ARDL analysis, *Agricultural Food Economics*, 3(2):1e14.

Islam M. A, Islam D. R., Siddiqui M. H. and Karim L. (2014), Importance of Agricultural Credit for Rural Development of Bangladesh: A descriptive Approach, *International Journal of Business and Economics Research*. 2 (1): 68-83.

Jevons William Stanley (1878), Commercial crises and sun-spots, *Nature*, Volume xix, November 14, 1878, pp. 33-37.

Jevons, William Stanley (1878), Commercial crises and sun-spots, *Nature*, Volume xix, November 14, 1878, pp. 33-37.

Jevons, William Stanley (1879), Sun-Spots and Commercial Crises, *Nature*, Volume xix, April 24, 1879, pp. 588-590.

Jevons, William Stanley (1882), The Solar-Commercial Cycle, *Nature*, Volume xxvi, July 6, 1882, pp. 226-228.

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

Johansen Soren, Juselius Katarina (1990), Maximum likelihood estimation and inference on cointegration-with applications to the demand for money, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2): 169–210.

Johansen S., (1991), Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models, *Econometrica*, 59, pp. 1551–1580.

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

Kahn James A., McConnell Margaret M., Perez-Quiros Gabriel, (2002), On the Causes of the Increased Stability of the U.S. Economy, *Economic Policy Review*, pp.183-202.

Kakar Z.K. and Khilji B.A. (2011), Energy Consumption and Economic Growth in Pakistan, *Journal of International Academic Research*, 11(1), 33 – 36.

Kamide Y., Baumjohann W., Daglis I., Gonzalez W.D., Grande M., Joselyn J.A., McPherron R.L., Phillips J.L., Reeves G., Rostoker G., Sharma A.S., Singer H., Tsurutani B.S. and Vasyliunas V.M. (1997), Current understanding of magnetic storms: storm=storm relationships, *Journal of Geophysical Research*, 103, 705–728.

Kamstra M.J., Kramer L.A. and Levi M.D. (2000), Loosing sleep at the market: the daylight saving anomaly, *American Economic Review*, 90, 1005–1011.

Kamstra M.J., Kramer L.A. and Levi M.D. (2003), Winter blues: a sad stock market cycle, *American Economic Review*, 93, 324–343.

Kang S.H., Jiang Z. and Yoon S.M. (2009), *Weather effects on the returns and volatility of Hong Kong and Shenzhen stock markets*, In: Working Paper, Pusan National University.

Kaplan M., Ozturk I. and Kalyoncu H. (2011), Energy Consumption and Economic Growth in Turkey: Cointegration and Causality Analysis, *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 2, 31 – 41.

Kaplanski G. and Levy H. (2017), Seasonality in perceived risk: a sentiment effect, *Quarterly Journal of Finance*, vol. 07, issue 01, 1-21.

Kashif Hamid and Arshad Hasan (2017), Linear vs Non-Linear Volatility Models (Comparative Analysis of Eagle vs Nest Markets), SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3020242>.

Kaustia M. and Rantapuska E.H. (2016), Does mood affect trading behaviour? *Journal of Financial Markets*, vol. 29, issue C, 1-26.

Keef S.P. and Roush M.L. (2003), The weather and stock returns in New Zealand, *Quarterly Journal of Business and Economics*, 41, 61-79.

Keef, S.P., Roush, M.L.(2005), Influence of weather on New Zealand financial securities, *Accounting & Finance*, 45, 415-437.

Kessel R.L., Quintana, E. and Peredo M. (1999) Local variations of interplanetary magnetic field at Earth's bow shock, *Journal of Geophysical Research*, 104.

Kilian L (2009), Not all oil price shocks are alike: disentangling demand and supply shocks in the crude oil market, *American Economic Review*, 99(3):1053-1069.

Kilian L and Park C (2009),The impact of oil price shocks on the U.S. stock market, *International Economic Review*, 50(4):1267-1287.

Kilian L and Vigfusson RJ (2011), Nonlinearities in the oil price-output relationship, *The federal Reserve board*, International Finance Discussion Papers no. 1013.

Kilian L. and Vega C. (2011), Do energy prices respond to U.S. macroeconomic news? A test of the hypothesis of predetermined energy prices, *The Review of Economics and Statistics*, 93, 660-671.

Kissmann R., Fichtner H., and Ferreira S. E. S. (2004), The influence of CIRs on the energetic electron flux at 1 AU, *Astronomy & Astrophysics*, 419, 357–363.

Kliger D. and Levy O. (2003), Mood and judgment of subjective probabilities: evidence from the U.S. index option market, *European Finance Review*, 7, 235–248.

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

Konstantakis K.N., Soklis G. and Michaelides. P.G., (2017), “Tourism Expenditures and Crisis Transmission: A General Equilibrium GVAR analysis with Network Theory”, *Annals of Tourism Research*, 66:74-94.

Konstantakis N. Konstantinos and Michaelides G. Panayotis (2015), Step-by-Step Causality Revisited: Theory and Evidence, *Economics Bulletin*, Volume 35, Issue 2, pages 871-877.

Konstantakis Konstantinos N., Michaelides Panayotis G., Papageorgiou Theofanis, Daglis Theodoros (2020), Modelling sectoral spillovers in the USA (1992–2015): A GVAR approach, *Journal of Economic Studies*, Vol. 47 No. 3, pp. 561-595.

Kramer W. and R. Runde (1997), Stocks and the weather: An exercise in data mining or yet another capital market anomaly? *Empirical Economics*, 22: 637-641.

Kraft J. and Kraft A. (1978), On the Relationship between Energy and GNP, *Journal of Energy and Development*, 3, 401 – 403.

Krausmann Elisabeth, Felton Chris, Murtagh William, Mitchison Neil, Lechner Stephan, (2014), Space Weather and Financial Systems: Findings and Outlook, *JRC Science and policy reports*.

Krucker S., Larson D. E., Lin R. P. and Thompson B. J. (1999), On the origin of impulsive electron events observed at 1 AU, *Astrophysical Journal*, 519, 864–875.

Kwakwa, P.A. (2012), Disaggregated Energy Consumption and Economic Growth in Ghana, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2 (1), pp. 34 – 40.

Kwiatkowski D., Phillips P. C. B., Schmidt P. and Shin Y. (1992), Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root, *Journal of Econometrics*, 54 (1–3): 159–178.

Lanzerotti J. Louis, Bothmer Volker and Daglis Ioannis (2007), Space weather effects on communications, *Space Weather-Physics and Effects*, pp.247-268.

Lanzerotti L.J. (2001), Space Weather Effects on Communications. In: Daglis I.A. (eds) *Space Storms and Space Weather Hazards*, NATO Science Series (Series II: Mathematics, Physics and Chemistry), vol 38. Springer, Dordrecht.

Laponche B. et al. (2005), Cette énergie qui nous manque, *Cosmopolitiques*, No. 9, Éditions, Apogée, Paris.

Lazo J.K., Lawson M., Larsen P.H. and Waldman D.M. (2011), US economic sensitivity to weather variability, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 709.

Lee M. A. and Fisk L. A. (1982), Shock acceleration of energetic particles in the heliosphere, *Space Science Reviews*, 32, 205–228.

Lee Y.M. and Wang K.M. (2011), The effectiveness of the sunshine effect in Taiwan's stock market before and after the 1997 financial crisis, *Economic Modelling*, 28, 710–727.

Lehtinen N. J., Pohjolainen S., Karlicky M., Aurass H. and Otruba W. (2005), Non-thermal processes associated with rising structures and waves during a halo type CME, *Astronomy and Astrophysics*, 442, 1049–1058.

L'Heureux J., Fan C. and Meyer P. (1972), The quiet-time spectra of cosmic-ray electrons of energies between 10 and 200MeV observed on OGO-5, *Astrophysical Journal*, 171, 363–372.

Lemaire J. F. and Gringauz K. I. (1998), *The Earth's Plasmasphere*, Cambridge: Cambridge University Press.

Le Roux J. A. (2001), Anomalous cosmic rays: Current and future theoretical developments, in *The Outer Heliosphere: The Next Frontiers* (K. Scherer, H. Fichtner, H. J. Fahr, and E. Marsch, eds.), *COSPAR Colloquia*, Series 11, Pergamon Press, Amsterdam, p. 163.

Lidiema Caspah (2018), Intra-Market Linkages in the Financial Sector and Their Effects on Financial Inclusion, *International Journal of Finance and Banking Research*, Volume 4, Issue 5, October, Pages: 79-90.

Lin Boqiang and Li Jianglong (2014), The rebound effect for heavy industry: Empirical evidence from China, *Energy Policy*, Elsevier, vol. 74(C), pages 589-599.

Lloyd's (2013), *Solar Storm Risk to the North American Electric Grid*, London UK: Lloyd's.

Long J.B Jr and C.I. Plosser (1983), Real business cycles, *Journal of Political Economy*, 91 (1):39-69.

Long J. Scott (1997), *Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables*, Indiana University, USA.

Loughran T. and Schultz P. (2004), Weather, stock returns, and the impact of localized trading behavior, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 39, 343–364.

Lu Jing and Chou K. Robin (2012), Does the weather have impacts on returns and trading activities in order-driven stock markets? Evidence from China, *Journal of Empirical Finance*, 19, 79–93.

Maia D., Vourlidas A., Pick M., Howard R., Schwenn R. and Magalhaes A. (1999), Radio signatures of a fast coronal mass ejection development on November 6 1997, *Journal of Geophysical Research*, 104, 12507–12514.

Maia D. and M. Pick (2004), Revisiting the origin of impulsive electron events: Coronal magnetic restructuring, *The Astrophysical Journal*, 609, 1082–1097.

Marcucci J. (2005), Forecasting stock market volatility with regime-switching garch models, *Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 9, 1-42.

Mariolis T, and Tsoulfidis L. (2014), “On Brody’s Conjecture: Theory, Facts and Figures about instability of the US economy”, *Economic Systems Research*, 26(2):209-223.

Marx Novy Robert (2014), Predicting anomaly performance with politics, the weather, global warming, sunspots, and the stars, *Journal of Financial Economics*, 112, 137-146.

Mavromichalaki H. and Vassilaki A. (1998), Fast plasma streams recorded near the Earth during 1985 - 1996, *Solar Physics*, 183, 181.

McDonald F. B., Cline T. L. and Simnett G. M. (1972), Multivarious temporal variations of low-energy relativistic cosmic-ray electrons, *Journal of Geophysical Research*, 77, 2213–2231.

McKibben R. B. (1972), Azimuthal propagation of low-energy solar flare protons as observed from spacecraft very widely separated in solar azimuth, *Journal of Geophysical Research*, 77, 3957.

McKibben R. B. and the Cospin Collaboration (2001), *Ulysses COSPIN observations of the energy and charge dependence of the propagation of solar energetic particles to the Sun's south polar regions*, Proceedings 27th International Cosmic Ray Conference, p. 3281.

Metallinou F.-A., Daglis I. A. and Delcourt D. C. (2005), *Eos Transactions American Geophysical Union*, 86 (52), Fall Meet. Suppl. Abstract SA21A-0293.

Mewaldt R.A., Mason G.M., Gloeckler G., Christian E.R, Cohen C.M.S., Cummings A.C., Dwyer J.R, Gold R.E., Krimigis S.M., Leske R.A., Mazur J.E., Stone E.C., Von Roseninge T.T., Wiedenbeck M.E. and Zubuchen T.H. (2001) Fluences of Solar, Heliospheric, and Galactic Particles at 1 AU. In: *Proceedings of the 27th International Cosmic Ray Conference*, Vol.10. Copernicus Systems and Technology GmbH , Berlin, Germany, pp. 3984-3989.

Mitchell D. G., Hsieh K. C., Curtis C. C., Hamilton D. C., Voss H. D. and Roelof E. C., et al. (2001), *Geophysical Research Letters*, 28, 1151.

Mittal Nishant, Sharma Joginder and Garg Vijay (2015), Some characteristics of Coronal Mass Ejections associated with Prominence Eruptions, *Acta Astronautica*, 115 393-399.

Mirzaei Ali and Grosse Robert (2019), The interaction of quantity and quality of finance: Did it make industries more resilient to the recent global financial crisis?, *International Review of Economics and Finance*, 64, 493-512.

Money, U. (2014), Bank Credits and Agricultural Development: Does It Promote Entrepreneurship Performance, *International Journal of Business and Social Science*, 5, 102-107.

Moos N. A. F. (1910), *Colaba magnetic data 1846 to 1905. Part I: Magnetic data and instruments. Part II: the phenomenon and its description*, Bombay, India.

Moraal H. (2001), The discovery and early development of the field of anomalous cosmic rays, in *The Outer Heliosphere: The Next Frontiers* (K. Scherer, H. Fichtner, H. J. Fahr, and E. Marsch, eds.), *COSPAR Colloquia Series* 11, Pergamon Press, Amsterdam, p. 147.

Mory JF (1993), Oil prices and economic activity: is the relationship symmetric?, *Energy Journal*, 14:151-161.

Möbius E., Scholer M., Klecker B., Hovestadt D., Gloeckler G., and Ipavich F. M. (1987), in: Lui, A. T. Y. (ed.), *Magnetotail Physics*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, pp. 231-234.

Muhammad Khalil and Santi Chaisrisawatsuk (2018), Relationship Between Financial and Real Sectors: Implications for Stable Economic Development (Evidence from Thailand), *International Journal of Economics and Finance*; Vol. 10, No. 6.

Murphy N. A., Raymond J. C., and Korreck K. E. (2011), Plasma heating during a coronal mass ejection observed by the solar and heliospheric observatory, *The Astrophysical Journal*, 735:17 (13pp).

Mursula K., Holappa L., Karinen A. (2011), Uneven weighting of stations in the Dst index, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 73 (2011) 316-322.

Mutl J. (2009), Consistent Estimation of Global VAR Models, *Economics*, Series 234, Institute for Advanced Studies.

Narayan P.K. and Singh B. (2007), The Electricity Consumption and GDP nexus for the Fiji Island, *Energy Economics*, 29, 1141 -1150.

Nazlioglu S., Erdem C. and Soytas U. (2013), Volatility spillover between oil and agricultural commodity markets, *Energy Economics*, 36, 658-665.

Nelson, D.B. 1991. Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach, *Econometrica*, 59, 347-370.

Noor S., and Siddiqi M.W. (2010), Energy Consumption and Economic Growth in South Asian Countries: A Cointegrated Panel Analysis, *International Journal of Human and Social Sciences*, vol. 5 (14), 43 - 79.

Nosé M., Taguchi S., Hosokawa K., Christon S. P., McEntire R. W. and Moore T. E. and Collier M. R. (2005), Overwhelming O⁺ contribution to the plasma sheet energy density during the October 2003 superstorm: Geotail/EPIC and IMAGE/LENA observations, *Journal of Geophysical Research*, 110, A09S24 (1-8), doi:10.1029/2004JA010930.

O'Brien T. Paul and McPherron Robert L. (2000), Forecasting the ring current index Dst in real time, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 62 (2000) 1295-1299.

Odhiambo N.M. (2010), Electricity consumption, Labour force participation rate and economic growth in Kenya: An Empirical investigation, *Problems and Perspectives in Management*, 8(1), 31 - 38.

Ofman L., Romoli M., Poletto G., Noci G. and Kohl J. L. (1997), Ultraviolet coronagraph spectrometer observations of density fluctuations in the solar wind, *The Astrophysical Journal*, 491:L111-L114.

Ofman L. & Davila J. M. (1997a), Solar Wind Acceleration by Solitary Waves in Coronal Holes, *The Astrophysical Journal*, 476:357-365.

Ofman L. & Davila J. M. (1997b), Do first results from SOHO UVCS indicate that the solar wind is accelerated by solitary waves, *The Astrophysical Journal*, 476:L51-L54.

Omari-Sasu Yaw Akoto, Frempong Kena Nana, Boateng Akwasi Maxwell and Boadi Kena Richard (2015), Modeling Stock Market Volatility Using GARCH Approach on the Ghana Stock Exchange, *International Journal of Business and Management*, 10,169-176.

Olson E., Vivian A.J. and Wohar M.E. (2014), The relationship between energy and equity markets: evidence from volatility impulse response functions, *Energy Economics*, 43, 297-305.

Orhewere B. and Henry M. (2011), Energy Consumption and Economic Growth in Nigeria, *Journal of Research in National Development*, 9(1), 153 - 165.

Otsu Akiko, Orgenthaler Stephan, Fujita Daisuke, Chinami Masanobu, Kaneko Yoshihiro and Shirakawa Taro (2006), Correlations for Number of Sunspots, Unemployment Rate, and Suicide Mortality in Japan, *Perceptual and Motor Skills*, Volume: 102 issue: 2, page(s): 603-608.

Oughton E., Copic J., Skelton A., Kesaite V., Yeo Z. Y., Ruffle S. J., Tuveson M., Coburn A. W. and Ralph D., (2016), Helios Solar Storm Scenario, *Cambridge Risk Framework series*, Centre for Risk Studies University of Cambridge, p. 1-62.

Pathan N. and Abasi M.A. (2014), Causality between Energy Consumption and Economic Growth in Pakistan, *European Journal of Business and Management*, 6(4), 46 - 53.

Park Y. Joon and Han. Heejoon (2012), ARCH/GARCH with persistent covariate: asymptotic theory of MLE, *Journal of Econometrics*, 167:95-112.

Park JW and Ratti RA (2007), Oil price shock and stock markets in the U.S. and 13 European countries, *Energy Economics*, 30:2587-2608.

Parker E. N. (1963), *Interplanetary Dynamical Processes*, Wiley-Interscience, New York.

Parker E. N. (1996), The alternative paradigm for magnetospheric physics, *Journal of Geophysical Research*, 101, 10578.

Patrick Enu (2014), Sectoral estimation of the impact of electricity consumption on real output in Ghana, *International Journal of Economics, Commerce and Management*, Vol. II, Issue 9, pp. 1-18.

Peersman G and Van Robays I. (2009), Oil and the Euro area economy, *Economic Policy*, 24, 603-651.

Pekunlu Rennan (1999), Solar Flares, *Turkish journal of physics*, 23 (1999) , 415 – 423.

Pesaran M. H., Schuermann T. and Weiner S. M. (2004), Modelling Regional Interdependencies using a Global Error-Correcting macro-econometric model, *Journal of Business and Economic Statistics*, 22(2): 129–162.

Pesaran M.H and Y. Shin (1998), Generalized impulse response analysis in linear multivariate models, *Economics Letters*, 58:17.

Pesaran M.H. and Yang C.F. (2016), Econometric Analysis of Production networks with dominant units, *USC Dornsife Institute for New Economic Thinking*, Working Paper No.16-25.

Pesaran M. Hashem and Smith Ron (2006), Macroeconometric modelling with a global perspective, *The Manchester School Supplement* ,1463–6786, 24–49.

Pesaran, M. H., Smith, L. V., & Smith, R. P. (2007). What if the UK or Sweden had joined the Euro in 1999? An empirical evaluation using a Global VAR. *International Journal of Finance and Economics*, 12, 55–87.

Pesaran, M. H., Schuermann, T., Treutler, B. J., & Weiner, S. M. (2006). Macroeconomic dynamics and credit risk: A global perspective, *Journal of Money Credit and Banking*, 38(5).

Pesaran, M., & Ron Smith, H. (2006), Macroeconometric modelling with a global perspective, *Manchester School*, University of Manchester, 74(s1), 24–49.

Pesses M. E., Eichler D. and Jokipii J. R. (1981), Cosmic ray drift, shock wave acceleration, and the anomalous component of cosmic rays, *The Astrophysical Journal*, 246, L85–L88.

Pick M., Maia D., Kerdraon A., Howard R., Brueckner G. E., Michels D. J., Paswaters S., Schwenn R., Lamy P., Llebaria A. et al. (1998), Joint Nancy,ay Radioheliograph and LASCO observations of coronal mass ejections – II. The 9 July 1996 event, *Solar Physics*, 181, 455–468.

Phillips Peter C. B. and Perron Pierre (1988), Testing for a Unit Root in Time Series Regression, *Biometrika*, Vol. 75, No. 2, pp. 335-346.

Pohjolainen S., Maia D., Pick M., Vilmer N., Khan J. I., Otruba W., Warmuth A., Benz A., Alissandrakis C. and Thompson B. J. (2001), On-the-disk development of the halo coronal mass ejection on 1998 May 2, *The Astrophysical Journal*, 556, 421–431.

Poluyakhtov S., and Belkin V. (2011), *Solar Activity Cycles as the Foundation of the Bank Interest Rate Cycle*, (In Russian: С. А. Полуяхтов, В. А. Белкин. «Циклы солнечной активности как основа циклов банковской процентной ставки». Вестник Челябинского государственного университета. 2011. № 6 (221). Экономика, Вып. 31, с.39–43.)

Poon Ser-Huang and Granger W.J. Clive (2003), *Forecasting Volatility in Financial Markets: A Review*, *Journal of Economic Literature*, XLI, 478–539.

Prastyo Dedy, Fam Soo-Fen, Suhartono Suhartono (2018), *Risk evaluation on leading companies in property and real estate subsector at IDX: A Value-at-Risk with ARMAX-GARCHX approach and duration test*, *Journal of Physics, Conference Series* 979, 1-10.

Pustilnik Lev A. and Din Gregory Yom (2003), *Influence of Solar Activity on State of Wheat Market in Medieval England*, *Proceedings of International Cosmic Ray Conference*, SH, p.4131.

Pyle K. R. and Simpson J. A. (1977), *The Jovian relativistic electron distribution in interplanetary space from 1 to 11 AU—Evidence for a continuously emitting point source*, *The Astrophysical Journal*, 215, L89–L93.

Raponi Andrea (2011), *The measurement of solar diameter and limb darkening function with the eclipse observations*, Thesis work for the Master in Astronomy and Astrophysics.

Rastoin C. (1995), *Les electrons de Jupiter et de la Galaxie dans l'héliosphère d'après l'expérience KET à bord de la sonde spatiale ULYSSE*, PhD thesis, Saclay.

Reames D. V., Barbier L. M. and Ng C. K. (1996), *The spatial distribution of particles accelerated by coronal mass ejection shocks*, *The Astrophysical Journal*, 466-473.

Reames D. V. (1999), Particle acceleration at the Sun and in the heliosphere, *Space Science Review*, 90, 413–491.

Richardson I. V. (2004), Corotating Interaction Regions, *Space Science Reviews*, 111, 267– 376.

Robotti Cesare and Krivelyova Anya (2003), Playing the Field: Geomagnetic Storms and the Stock Market, *Federal Reserve Bank of Atlanta Working Paper*, No. 2003-5b, 1-51.

Roelof E. C., Gold R. E., Simnett G. M., Tappin S. J., Armstrong T. P. and Lanzerotti L. J. (1992), Low-energy solar electron and ions observed at Ulysses February–April 1991: The inner heliosphere as particle reservoir, *Geophysical Research Letters*, 19, 1243.

Romanoff, E. and Levine, S. H. (1981). Anticipatory and responsive sequential interindustry models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-11(3):181 –186.

Russell C. T. and Thorne R. M. (1970), In: *Cosmic Electrodynamics*, I. Dordrecht, Holland: D. Reidel, Publishing Co., p. 67.

Russell Henry Norris (1914), Relations Between the Spectra and Other Characteristics of the Stars, *Popular Astronomy*, 22: 275–294.

Sadorsky P. (2006), Modeling and forecasting petroleum futures volatility, *Energy Economics*, 28(4), 467–488.

Sadorsky P. and McKenzie M.D. (2008), Power transformation models and volatility forecasting, *Journal of Forecasting*, 27 (7), 587–606.

Samiev Sarvar (2013), GARCH (1, 1) with exogenous covariate for EUR/SEK exchange rate volatility On the Effects of Global Volatility Shock on Volatility, Master Thesis, 4-5. Link: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A676106&dswid=1186>

Sari R., Hammoudeh S., Chang C.L. and McAleer M. (2012), Causality between market liquidity and depth for energy and grains, *Energy Economics* 34, 1683-1692.

Saunders Edward M Jr (1993), Stock Prices and Wall Street Weather, *American Economic Review*, *American Economic Association*, 83(5), 1337-1345.

Schipper Lee and Grubb Michael (2000), On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries, *Energy Policy*, vol. 28, issue 6-7, 367-388.

Schrijver J. Carolus (2015), Socio-Economic Hazards and Impacts of Space Weather: The Important Range Between Mild and Extreme, vol.13, *Space Weather*, doi 10.1002/2015SW001252.

Schrijver J. Carolus and Zwaan Cornelis (2000), *Solar and stellar magnetic activity*, Cambridge astrophysics series, 279-296.

Schwarz G.E. (1978), Estimating the dimension of a model, *Annals of Statistics*, 6 (2): 461-464.

Sek Siok Kun (2019), Unveiling the factors of oil versus non-oil sources in affecting the global commodity prices: A combination of threshold and asymmetric modeling approach, *Energy*, 176, 272-280.

Shaari M.S., Hussain N.E. and Ismail M.S. (2012), Relationship between Energy Consumption and Economic growth: Empirical Evidence for Malaysia, *Business Systems Review*, 2(1), 17 - 28.

Shahzad M., Ying Q., Ur Rehman S., Zafar A., Ding X., Abbas J. (2019), Impact of knowledge absorptive capacity on corporate sustainability with mediating role of CSR: analysis from the asian context, *Journal of Environmental Planning and Management*, pp. 1-27.

Sharma J. L., Mougoue M. and Kamath R. (1996), Heteroscedasticity in stock market indicator return data: volume versus GARCH effects, *Applied Financial Economics*, 6(4), 337-342.

Shin Dong Wan (2018), Forecasting realized volatility: A review, *Journal of the Korean Statistical Society*, 47, 395-404.

Shutts Glenn, Leutbecher Martin, Weisheimer Antje, Stockdale Tim, Isaksen Lars, Bonavita Massimo (2011), Representing model uncertainty: stochastic parametrizations at ECMWF, Meteorology section of ECMWF Newsletter No. 129 - Autumn 2011, pp. 19-24, link: <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2011/17432-representing-model-uncertainty-stochastic-parametrizations-ecmwf.pdf>

Sigaeva E.A., Nechaev O.Yu., Panasyuk M.I., Bruns A.V. and Troshichev O.A. (2009), Thermal neutrons' response to the GLEs, *Advances in Space Research*, Volume 43, Issue 4, p. 649-653.

Simpson J. A., Hamilton D., Lentz G., McKibben R. B., Mogro-Campero A., Perkins M., Pyle K. R., Tuzzolino A. J. and O'Gallagher J. J. (1974), Protons and Electrons in Jupiter's Magnetic Field: Results from the University of Chicago Experiment on Pioneer 10, *Science*, 183, 306-309.

Spasojević M., Frey H. U., Thomsen M. F., Fuselier S. A., Gary S. P. and Sandel B. R., et al. (2004), *Geophysical Research Letters*, 31, L04803.

Speed T.P and Yu Bin (1992), Model selection and prediction: Normal Regression, *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, Vol. 45, Issue 1, pp. 35-54.

Stiroh J. Kevin, (2001), *Information Technology and the U.S. Productivity Revival: What Do the Industry Data Say?*, Federal Reserve Bank of New York, link: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.199.5287&rep=rep1&type=pdf>

Suess T. Steven (2008), Overview: The heliosphere then and now, In: Balogh André, Lanzerotti J. Louis and Suess T. (2008), *The heliosphere through the solar activity cycle*, Springer, 251-277.

Suess S.T. (1990), The heliopause, *Reviews of Geophysics*, 28,1,97-115.

Su Q. (2012), Aquantile regression analysis of the rebound effect: evidence from the 2009 National Household Transportation Survey in the United States, *Energy Policy*, 45,368-377.

Symeonidis L., Daskalakis G. and Markellos R.N. (2010), *Does the weather affect stock market volatility?*, *Finance Research Letters*, 7, 214-223.

Teegarden B. J., McDonald F., Trainor J. H., Webber W. R. and Roelof E. (1974), Interplanetary MeV-electrons of Jovian origin, *Journal of Geophysical Research*, 79, 3615-3622.

Temerin M. and X. Li (2006), Dst model for 1995 - 2002, *Journal of Geophysical Research*, 111, A04221.

Theil, H. (1958), *Economic Forecasts and Policy*, Amsterdam, North-Holland Pub. Co.

Thomas J. H. and Weiss N.O. (1992), *Sunspots: Theory and observation*, Series C: Mathematical and Physical Sciences vol. 375, pp.3-60, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.

Trombley A. Mark (1997), Stock Prices and Wall Street Weather: Additional Evidence, *Quarterly Journal of Business and Economics*, 36, No. 3, 11-21.

Thorne R. M., Smith E. J., Burton R. K. and Holzer R. E. (1973), *Journal of Geophysical Research*, 78, 1581.

Troshichev O., Sormakov D. and Janzhura A. (2011), Relation of PC index to the geomagnetic storm Dst variation, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 73 611–622.

Trottet G. (1986), Relative timing of hard X-rays and radio emissions during different phases of solar flares. Consequences for the electron acceleration, *Solar Physics*, 104, 145–163.

Tsay S. Ruey (2002), *Analysis of Financial Time Series*, Financial Econometrics, John Wiley & Sons, INC.

Tsionas Efthymios G., Konstantakis Konstantinos N. and Michaelides Panayotis G. (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*, Elsevier, vol. 42(C), pages 1-26.

Tulunay K. Yurdanur and Bradley A. Peter (2004), The impact of space weather on communication, *Annals of Geophysics*, Supplement to vol. 47, N. 2/3.

Turner K. and Hanley N. (2011), Energy efficiency, rebound effects and the environmental Kuznets curve, *Energy Economics*, 33(5), 709-720.

Van Allen, James A. (1959), Radiation Belts around the Earth, *Scientific American*, 200, 39-46.

Van Allen J. A. (1959), *Journal of Geophysical Research*, 64, 1683.

Van Allen J. A., Ludwig G. H., Ray E. C. and C. E. McIlwain (1958), *NASA Jet Propulsion Laboratory*, **28**, 588.

Van Allen J. A. and Frank L. A. (1959), *Nature*, 183, 430.

Van Gysen Michael, Huang Chun-Sung and Kruger Ryan (2013), The Performance Of Linear Versus Non-Linear Models In Forecasting Returns On The Johannesburg Stock Exchange, *International Business & Economics Research Journal*, 12,8, 985-994.

Vasyliunas V. M. and Siscoe G. L. (1976), On the flux and the energy spectrum of interstellar ions in the solar system, *Journal of Geophysical Research*, 81, 1247–1252.

Verma S. R. (2006), Mechanisms of Coronal Heating, *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 27, 113–114.

Waldmeier M. (1939), Uber die Struktur der Sonnenflecken, *Astronomische Mitteilungen Zurich*, 14(138), 439–485.

Wang S.L. and McPhail L. (2014), Impacts of energy shocks on us agricultural productivity growth and commodity prices—a structural VAR analysis, *Energy Economics*, 46, 435–444.

Weisheimer A, Corti S, Palmer T and Vitart F. (2014), Addressing model error through atmospheric stochastic physical parametrizations: impact on the coupled ECMWF seasonal forecasting system, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 372: 20130290.

White R. Stephen (1966), The earth's radiation belts, *Physics today*, 19 (10), 25.

Wolde-Rufael Y. (2006), Electricity Consumption and Economic Growth: A Time Series Experience for 17 African Countries, *Energy Policy*, 34, 1106 - 1114.

Wolfe M (2012), Beyond green buildings: Exploring the effects of Jevon's paradox on the sustainability of archival practices, *Archival Science*, 12(1): 35-50.

Wooldridge J. M. (2013), *Introductory Econometrics: A Modern Approach*, 5th ed. Mason, OH: South-Western.

Xystouris G., Sigala E. and Mavromichalaki H. (2014), A Complete Catalogue of High-Speed Solar Wind Streams during Solar Cycle 23, *Solar Physics*, 289: 995-1012.

Ying F., Suting R., Hongbo C. and Xuefeng C (2014), The state's role and position in international trade: A complex network perspective, *Economic Modelling*, 39:71-81.

Yoo S.H. and Kim Y. (2006), Electricity Generation and Economic Growth in Indonesia, *Energy Policy*, 31(14), 2890 - 2899.

Yu Xuewei, Moreno-Cruz Juan and Crittenden C. John (2015), Regional energy rebound effect: The impact of economy-wide and sector level energy efficiency improvement in Georgia, USA, *Energy Policy*, 87(2015)250-259.

Zadorozhna O. (2009), *Does weather affect stock returns in emerging markets?* In: Working Paper, Kyiv School of Economics.

Zeeman, P. (1896), On the influence of magnetism on the nature of the light emitted by a substance, *Reports of the Ordinary Sessions of the Mathematical and Physical Section (Royal Academy of Sciences in Amsterdam)*, 5: 181-184 and 242-248.

Zeeman, P. (1897), On the influence of magnetism on the nature of the light emitted by a substance, *Philosophical Magazine*, 5th series, 43 (262): 226-239.

Zou G. and Chau K. W. (2006), Short and Long-run effects between Oil Consumption and Economic Growth in China, *Energy Policy*, 34, 3644 - 3655.

Ελληνική βιβλιογραφία:

Αντωνακόπουλος Γρηγόρης και Λασκαρίδης Παύλος (1973), *Πρακτική Αστρονομία, όργανα και μέθοδοι παρατηρήσεων*, Αθήνα, Ιδιωτική εκδοτική.

Βλάχος Λουκάς (2000), *Φυσική πλάσματος – Η τέταρτη κατάσταση της ύλης*, Εκδόσεις Τζιόλα.

Δανέζης Μάνος και Θεοδοσίου Στράτος (2012), *Το σύμπαν που αγάπησα Εισαγωγή στην αστροφυσική*, Εκδόσεις Δίαυλος.

Λασκαρίδης Γ. Παύλος (2011), *Αστρονομία II*, Αθήνα, Έκτη έκδοση.

Μουσσάς Δ. Ξενοφών (2013), *Φυσική διαστήματος*, Εθνικό και καποδιστριακό πανεπιστήμιο Αθηνών.

Πρέκκα - Παπαδήμα Παναγιώτα, Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος και Καργιολάκη Δάφνη (2009), *Στα μονοπάτια του ήλιου – Εισαγωγή στην ηλιακή φυσική*, Εκδόσεις Δίαυλος.