



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΗΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής Αερίων του Θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση και οι Παράγοντες Διαμόρφωσης της Τιμής τους

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ

Επιβλέπων : Απόστολος Χριστόπουλος
Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

Περίληψη

Οι προειδοποιήσεις της επιστημονικής κοινότητας για τις καταστροφικές επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου, οδήγησαν στην υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο, το 1997, από 174 χώρες, μαζί με όλα τα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για να εναρμονιστεί με τους στόχους μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, η ΕΕ από το 2005 δημιούργησε το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής (EU Emissions Trading Scheme), μια τεχνίτη αγορά με αυστηρό θεσμικό πλαίσιο για τους ρυπαντές. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να ερευνηθεί ποιοί βασικοί ενεργειακοί και μακροχρηματοοικονομικοί παράγοντες επηρέασαν την εξέλιξη της τιμής των Δικαιωμάτων Εκπομπής (EU Allowances) για την δεύτερη χρονική φάση του Συστήματος Εμπορίας, 2008 – 2012. Η εργασία επεκτείνει την υπάρχουσα βιβλιογραφία εξετάζοντας την επίδραση του μήνα συναλλαγής στην τιμή των EUAs. Χρησιμοποιούνται οικονομετρικές τεχνικές ανάλυσης χρονοσειρών, όπως η συνολοκλήρωση, η αιτιότητα και τα υποδείγματα GARCH για την εξαγωγή των συμπερασμάτων. Τα αποτελέσματα δείχνουν επιρροή της χρηματοοικονομικής κρίσης στην αγορά των EUAs για την περίοδο 2008 – 2009 και επίδραση των τιμών του κάρβουνου σε όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Η υπόθεση για επίδραση του μήνα συναλλαγής στις τιμές των EUAs επιβεβαιώνεται στην χρονική περίοδο 2008 – 2011.

Abstract

The warnings of the scientific community for the devastating effects of global warming, led to the signing of the Kyoto Protocol in 1997, from 174 countries, including all members of the European Union. To align with the goals of reducing greenhouse gas emissions, the EU has, since 2005 created the Emissions Trading Scheme (EU ETS), an artificial market with strict institutional framework for the polluters. The purpose of this study is to investigate which key energy and macro-financial factors affected the evolution of Emission Allowances (EUAs) price, for the second phase of the EU ETS, 2008 – 2012. This study extends previous literature by examining the time effect that the month of the transaction has on the prices of EUAs. Econometric techniques for time series analysis, such as co integration, causality and GARCH models are used for drawing conclusions. The results show the impact of financial crisis on the market of EUAs for the period 2008 – 2012 and the influence of coal prices throughout the tested period. The hypothesis of the month effect on the prices of EUAs is valid for the period 2008 – 2011.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	7
2. Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης	10
2.1. Το Σύστημα “ Cap and Trade”	11
2.2. Κατανομή των Δικαιωμάτων	11
2.3. Χρονική Διάρθρωση	12
2.3.1. Οι Φάσεις του Προγράμματος.....	12
2.3.2. Ημερολόγιο Διαδικασίας.....	13
2.4. Ποινές Συμμόρφωσης.....	14
2.5. Μέλη της Αγοράς	15
2.6. Χρήση των Δικαιωμάτων του EU ETS.....	16
2.6.1. Πράσινη Ανάπτυξη.....	16
2.6.2. Ισοδύναμα των Δικαιωμάτων – Έργα σε Αναπτυσσόμενες Χώρες.....	16
2.7 Διεθνής Αγορά Ρύπων	17
3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	19
4. Δεδομένα της Εμπειρικής Ανάλυσης	23
4.1. Δικαιώματα Εκπομπής Άνθρακα.....	24
4.2. Ενεργειακές Μεταβλητές	25
4.3. Μακροοικονομικές & Χρηματοοικονομικές Μεταβλητές	25
4.4. Περιγραφικά Στατιστικά	26
5. Οικονομετρική Μεθοδολογία.....	27
5.1. Οικονομετρική Ανάλυση	27
5.1.1. Γραμμική Παλινδρόμηση	27
5.1.2. Έλεγχος Υποθέσεων.....	29
5.1.3. Εισαγωγή στην Ανάλυση Χρονολογικών Σειρών	30
5.1.4. Αυτοσυσχέτιση	31
5.1.5. Στοχαστικά Υποδείγματα.....	32
a. Υποδείγματα Λευκού Θορύβου	32
b. Υποδείγματα Τυχαίας Διαδρομής	32
c. Αυτοπαλινδρόμα Υποδείγματα $AR(p)$	33

d. Υποδείγματα Κινητού Μέσου $MA(q)$	33
e. Αυτοπαλίνδρομα – Κινητού Μέσου Υποδείγματα $ARMA(p,q)$	34
5.1.6. Έλεγχοι Μοναδιαίας Ρίζας και Βαθμός Ολοκλήρωσης	35
a. Έλεγχος <i>Dickey-Fuller</i>	35
b. Επαυξημένος Έλεγχος <i>Dickey-Fuller</i> (<i>Augmented Dickey-Fuller</i>)	35
c. Έλεγχος <i>Phillips-Perron</i>	35
d. Βαθμός Ολοκλήρωσης	36
5.1.7. Έλεγχος Στασιμότητας	36
5.1.8. Δομική Διακοπή	36
5.1.9. Εισαγωγή στη Συνολοκλήρωση	37
a. Έλεγχος <i>Eangle-Granger</i>	38
b. Έλεγχος <i>Johansen</i>	39
5.1.10. Αιτιότητα	39
a. Έλεγχος Αιτιότητας κατά <i>Granger</i>	39
5.1.11. Υποδείγματα Υπό Συνθήκη Ετεροσκεδαστικότητας	40
a. Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα Υπό Συνθήκη Ετεροσκεδαστικότητας $ARCH(p)$	40
b. Γενικό Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα Υπό Συνθήκη Ετεροσκεδαστικότητας $GARCH(p,q)$	41
5.2. Μεθοδολογία της Εργασίας	42
6. Αποτελέσματα Εμπειρικής Ανάλυσης	44
6.1. Αποτελέσματα της Βιβλιογραφίας	44
6.2. Αποτελέσματα της Οικονομετρικής Ανάλυσης	45
a. Αποτελέσματα Υποδειμάτων για Όλη την Χρονική Περίοδο	47
b. Αποτελέσματα Υποδειμάτων για την Πρώτη Υποπερίοδο	49
c. Αποτελέσματα Υποδειμάτων για την Δεύτερη Υποπερίοδο	52
d. Αποτελέσματα Υποδειμάτων για την Τρίτη Υποπερίοδο	54
6.3. Σύγκριση Αποτελεσμάτων	57
7. Συμπεράσματα	58
Αναφορές	59
Παράρτημα	62

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Περιγραφή των Φάσεων του EU ETS	13
Πίνακας 2: Ημερολόγιο Παρακολούθησης Γεγονότων Έτους N	14
Πίνακας 3: Μεταβλητές της Εμπειρικής Ανάλυσης	23
Πίνακας 4: Περιγραφικά Στατιστικά της Εμπειρικής Ανάλυσης	26
Πίνακας 5: Μεθοδολογία των Box και Jenkins	34
Πίνακας 6: Βιβλιογραφικά Αποτελέσματα για την Επιρροή των Μεταβλητών στην Εξέλιξη της Τιμής των EUAs.	44
Πίνακας 7: Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για τον Βαθμό Ολοκλήρωσης	45
Πίνακας 8: Συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών	46
Πίνακας 9: Έλεγχος Συνολοκλήρωσης κατά Johansen	46
Πίνακας 10: Έλεγχος Αιτιότητας κατά Granger	47
Πίνακας 11: Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για Ολόκληρο το Δείγμα	48
Πίνακας 12: Διαχωρισμός Ενεργειακών και Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών	49
Πίνακας 13: Έλεγχοι Chow για την Έρευνα των Δομικών Διακοπών	50
Πίνακας 14: Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για την Πρώτη Χρονική Υποπερίοδο	51
Πίνακας 15: Διαχωρισμός Ενεργειακών & Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για την Πρώτη Υποπερίοδο .	52
Πίνακας 16: Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για τη Δεύτερη Χρονική Υποπερίοδο	53
Πίνακας 17: Διαχωρισμός Ενεργειακών & Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για τη Δεύτερη Υποπερίοδο .	54
Πίνακας 18: Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για την Τρίτη Χρονική Υποπερίοδο	55
Πίνακας 19: Διαχωρισμός Ενεργειακών & Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για την Τρίτη Υποπερίοδο	56

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Παγκόσμιες Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου ανά Χώρα	10
Εικόνα 2: Απλή σχηματοποίηση των Μηχανισμών του Κιότο	17
Εικόνα 3: Τιμή του Μηνιαίου EUA Future στα Έτη 2008-2012	24
Εικόνα 4: Ισχυρές και Ασθενείς Δομικές Διακοπές στην Τιμή των EUAs	37

1. Εισαγωγή

Στην απαρχή του 21^{ου} αιώνα, η ανθρωπότητα αντιμετωπίζει δύο μεγάλα προβλήματα τα οποία ίσως και να αποβούν καθοριστικά για το μέλλον της. Το πρώτο, και πιο πρόσφατο, είναι η σοβαρότερη χρηματοοικονομική κρίση που έχει προκληθεί εδώ και 80 χρόνια η οποία ξεκίνησε από τις Ηνωμένες Πολιτείες και επεκτάθηκε σε όλο τον κόσμο. Η βασική αιτία αυτής της κρίσης είναι η λανθασμένη διαχείριση των κινδύνων από τον χρηματοπιστωτικό τομέα. Το θετικό χαρακτηριστικό στις οικονομικές κρίσεις είναι ότι αφού ξεπεραστούν ακολουθεί μια νέα περίοδος οικονομικής άνθισης που θεωρείται ασφαλής.

Αν και σήμερα οι αρχές έχουν εστιάσει την προσοχή τους στην οικονομική κρίση, εντούτοις, το δεύτερο και μεγαλύτερο πρόβλημα που έχουν να αντιμετωπίσουν είναι η αυξανόμενη παγκόσμια περιβαλλοντική κρίση, η οποία είναι πιο σύνθετη και δεν μπορεί να ξεπεραστεί τόσο εύκολα όσο η οικονομική. Η διαχείριση μιας τέτοιας κρίσης απαιτεί αυξημένη προσοχή καθώς οι επιπτώσεις της δεν θα επιφέρουν προσωρινή μείωση στο ΑΕΠ και αύξηση της ανεργίας, αλλά μπορεί να αποβούν καθοριστικά για την εξέλιξη συνολικά της ανθρωπότητας.

Καταλυτικό ρόλο για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαδραματίζει η εκπομπή αερίων που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου (αέρια του θερμοκηπίου). Κατά το φαινόμενο αυτό διάφορα ρυπογόνα αέρια συγκεντρώνονται στην ατμόσφαιρα εμποδίζοντας την διαφυγή της θερμότητας. Από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης η συγκέντρωση των αερίων στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί επικίνδυνα χάρις τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και η μέση θερμοκρασία στον πλανήτη έχει ήδη οδηγηθεί σε άνοδο κατά 0,8°C σε σχέση με προβιομηχανικά επίπεδα. Η επιστημονική κοινότητα έχει καταστήσει σαφές πως μια αύξηση 4°C στην μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα έχει καταστροφικές επιπτώσεις στην περιβαλλοντική ισορροπία. Αν η ανθρωπότητα συνεχίσει σε αυτούς τους βιομηχανικούς ρυθμούς, εκτιμάται ότι, μέχρι το έτος 2100 η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα είναι 5°C υψηλότερη σε σχέση με το 1850.

Η μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 5°C μπορεί να μην φαίνεται μεγάλη όμως για την καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων που θα έχει αξίζει να αναφέρουμε ότι, η τελευταία περίοδος που η μέση θερμοκρασία του πλανήτη ήταν 5°C υψηλότερη από την σημερινή ήταν πριν 30 εκατομμύρια χρόνια στην Ηώκαινος εποχή όταν ο κόσμος ήταν καλυμμένος από βαλτώδη δάση. Η ανθρωπότητα εκείνη την εποχή δεν υπήρχε καθώς μετρά 100-200.000 χρόνια ύπαρξης. Η τελευταία φορά που η μέση θερμοκρασία του πλανήτη ήταν 5°C χαμηλότερη από την σημερινή ήταν πριν από 10-12.000 χρόνια στην εποχή των παγετώνων. Εκείνη την περίοδο οι περιοχές της Νέας Υόρκης και του Λονδίνου ήταν καλυμμένες από όγκους πάγου. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι μια παρόμοια αλλαγή θερμοκρασίας στον 21^ο αιώνα θα έχει επιπτώσεις στην ζωή αλλά και στην γεωγραφία του πλανήτη με επανασχεδιασμό ακτών, ποταμιών και με αλλαγή στις καιρικές ισορροπίες¹.

Από την άλλη πλευρά, αναφορικά με τις οικονομικές επιπτώσεις που θα επέφερε μια πολιτική φιλική προς το περιβάλλον, η έκθεση Stern για την οικονομία των κλιματικών αλλαγών¹ εκτιμά ότι μια μη διαχειρίσιμη κλιματική αλλαγή ισοδυναμεί με απώλεια 5 ποσοστιαίων μονάδων του παγκοσμίου ΑΕΠ ετησίως, σε σχέση με μια μικρή κλιματική αλλαγή. Αν ληφθεί υπ' όψιν μια ακραία σειρά εκτιμήσεων όλων των πιθανών επιπτώσεων και κινδύνων, τότε η απώλεια μπορεί να φτάσει στις 20 ποσοστιαίες μονάδες του παγκοσμίου ΑΕΠ ετησίως. Η έκθεση επισημαίνει ότι απαιτείται θυσία τουλάχιστον μιας ποσοστιαίας μονάδας

¹ Brohe et al (2009)

του παγκοσμίου ΑΕΠ ετησίως, στην περιβαλλοντική πολιτική, ώστε να αποφευχθούν οι χειρίστες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

Αυτές οι ανησυχίες των επιστημόνων κινητοποίησαν πολλά κράτη και το 1992 στο Ρίο της Βραζιλίας, υπήρξε η πρώτη παγκόσμια δράση, η Διεθνής Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Αποτέλεσε την αρχή στις διεθνείς συνεργασίες με στόχο τον περιορισμό στην αύξηση της θερμοκρασίας. Το 1997 η παγκόσμια ανταπόκριση στην κλιματική αλλαγή ισχυροποιήθηκε με την υιοθέτηση του Πρωτοκόλλου του Κιότο από 174 χώρες εκ των οποίων όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, χωρίς όμως την συγκατάθεση των Ηνωμένων Πολιτειών που αρνήθηκαν να το επικυρώσουν.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί μια νομική δέσμευση, για τις συμμετέχουσες χώρες, με σκοπό την μείωση των ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα – CO₂, αλλά και των ισοδυνάμων του) έτσι ώστε μέχρι το 2020 τα επίπεδα των αερίων στην ατμόσφαιρα να είναι κατά 5% χαμηλότερα από τα επίπεδα του 1990. Η σύμβαση αυτή στοχεύει στην σταθεροποίηση της συγκέντρωσης των αερίων στην ατμόσφαιρα σε σημείο που να αποφευχθεί η καταστροφική ανθρώπινη παρέμβαση στην ισορροπία του κλίματος².

Η πρώτη δεσμευτική περίοδος του Πρωτοκόλλου αφορά την περίοδο από το 2008 έως το 2012 και η δεύτερη από το 2013 έως το τέλος του 2020. Σήμερα υπάρχουν 195 κράτη συμμετέχουν στη σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή και 192 από αυτά συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο του Κιότο. Τα πιο “δραστήρια” μέλη του Πρωτοκόλλου είναι οι χώρες της Ευρωζώνης. Με την υπογραφή του Κιότο μια ομάδα 15 χωρών της ΕΕ συμφώνησαν να πληρούν τους στόχους του Πρωτοκόλλου σε συνεργασία, μέσω ενός συστήματος οριοθέτησης και εμπορίας (cap and trade) δικαιωμάτων για εκπομπή ρυπογόνων αερίων που ονομάστηκε Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (European Union Emissions Trading System – EU ETS).

Το EU ETS είναι αυτή τη στιγμή η μεγαλύτερη αγορά εμπορίας δικαιωμάτων ρύπων παγκόσμια και περιλαμβάνει 31 χώρες και πάνω από 11.000 βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Αποτελεί και θα αποτελέσει σημείο αναφοράς τα ερχόμενα έτη καθώς παρόμοιες αγορές το έχουν ήδη μιμηθεί και πολλές ακόμα αναμένεται να αναπτυχθούν στο μέλλον βασιζόμενες σε αυτό. Ήδη στην Ελβετία λειτουργεί με επιτυχία από το 2008 μια εθνική αγορά δικαιωμάτων εκπομπής ρύπων.

Στην ανατολή, η Κίνα, ο μεγαλύτερος ρυπαντής παγκοσμίως (Εικόνα 1), έχει συζητήσει την εφαρμογή μιας εθνικής αγοράς ρύπων από το 2015, με στόχο την μείωση της εκπομπής αερίων στο 40-45% των επιπέδων του 2005 μέχρι το 2020. Η Ιαπωνία στοχεύει στην μείωση των εκπομπών κατά 25% στα επίπεδα του 1990 μέχρι το 2020, μέσω χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εμπορίας δικαιωμάτων. Στη Νέα Ζηλανδία λειτουργεί από το Νοέμβριο του 2009 εθνικό σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων, ενώ παρόμοιες ενέργειες ξεκίνησαν στην Αυστραλία από τον Ιούλιο του 2014 με απόφαση της κυβέρνησης, ύστερα από πολλές αποτυχημένες προσπάθειες.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες οι συζητήσεις για την δημιουργία ενός εθνικού συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων είναι σε στασιμότητα. Παρόλο που οι ΗΠΑ δεν περιλαμβάνονται στα μέλη του Πρωτοκόλλου του Κιότο, σε επίπεδο πολιτειών είτε μέσω συνεργασιών, είτε

² UNFCCC website

μεμονωμένα έχουν αναπτύξει δράσεις προς την υιοθέτηση ενός συστήματος εμπορίας. Η Καλιφόρνια, για παράδειγμα, από το 2012 έχει ξεκινήσει ένα πολιτειακό σύστημα που στοχεύει στη μείωση της εκπομπής αερίων κατά 80% στα επίπεδα του 1990, μέχρι το 2050³.

Επειδή οι παραπάνω αναφερόμενες αγορές είναι καινούριες και κατά συνέπεια σχετικά άγνωστες, είναι ουσιώδες να υπάρξει μια θεμελιώδης κατανόηση του τρόπου λειτουργίας τους που θα βοηθήσει στον σχεδιασμό των επενδύσεων σε αυτές έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι μείωσης που έχουν τεθεί. Η βέλτιστη κατάσταση για κάθε αγορά, και στην αγορά των δικαιωμάτων κατά συνέπεια, θα ήταν η ακριβής πρόβλεψη των τιμών με βάση τις παρελθοντικές και τρέχουσες συνθήκες της αγοράς. Επειδή τέτοια ακριβής πρόβλεψη σε ελεύθερες αγορές πρακτικά και εμπειρικά έχει καταστεί αδύνατη, είναι σημαντικό να κατανοηθούν οι δυνάμεις που υπάρχουν σε μια αγορά και οι αντιδράσεις της σε νέες πληροφορίες. Προς αυτή την κατεύθυνση έχει αναπτυχθεί περιορισμένη ακαδημαϊκή έρευνα από την αρχή της δημιουργίας του EU ETS το 2005, βασισμένη κυρίως στην πρώτη, πιλοτική, περίοδο εφαρμογής του 2005 – 2007.

Βασισμένη σε πρόσφατη ακαδημαϊκή βιβλιογραφία, αυτή η εργασία έχει ως σκοπό να βρει ποιές δυνάμεις διαμορφώνουν τις τιμές των δικαιωμάτων εκπομπής αερίου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στο πλαίσιο του EU ETS. Με μια εμπειρική ανάλυση και με την χρήση οικονομετρικών τεχνικών θα επιχειρηθεί να βρεθεί η σύνδεση της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής CO₂ με μια σειρά ενεργειακών εμπορευμάτων που έχουν προκύψει από την βιβλιογραφία, οι θεμελιώδεις οικονομικές σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους και η συμπεριφορά τους μέσα στην χρηματοπιστωτική κρίση, για την δεύτερη περίοδο εφαρμογής του πλαισίου της ΕΕ 2008 – 2012.

Η δομή της παρούσας εργασίας ακολουθεί στις παρακάτω ενότητες: η περιγραφή του τρόπου λειτουργίας της αγοράς των ρύπων, γίνεται στο Κεφάλαιο 2 το οποίο εστιάζει και αναλύει τα βασικά χαρακτηριστικά του EU ETS και το πώς αυτό λειτουργεί. Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται συνοπτική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που έχει αναπτυχθεί γύρω από το σχετικό θέμα. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην εργασία παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4, ενώ, στο Κεφάλαιο 5 αναλύεται η μεθοδολογία της εργασίας καθώς και τα οικονομετρικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν. Ακολούθως, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας και τέλος στο Κεφάλαιο 7 γίνεται συνοπτική παρουσίαση και ανάλυση των συμπερασμάτων.

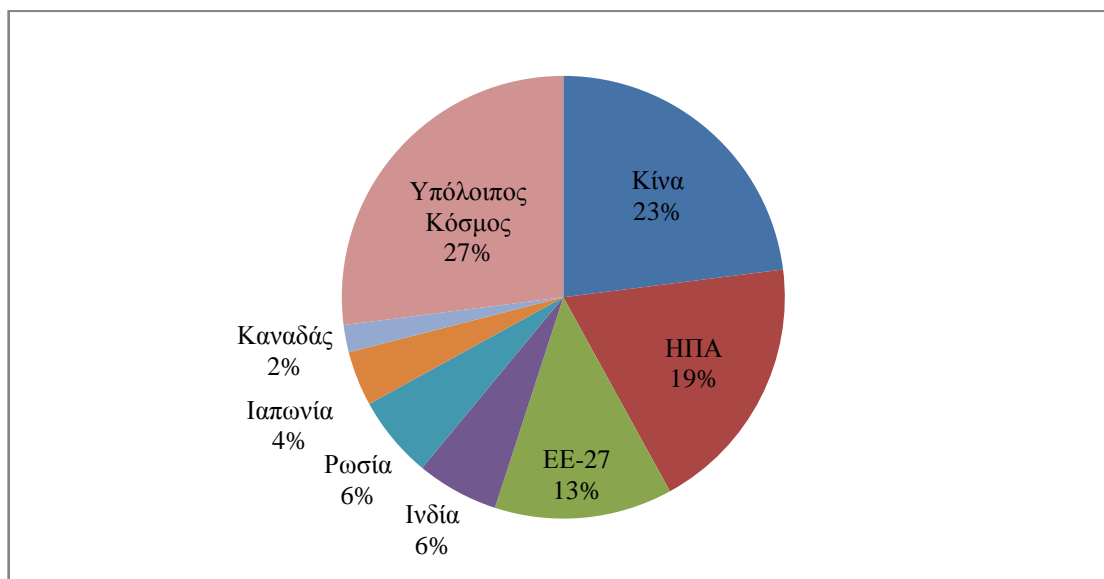
³ Chevallier (2011b)

2. Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η δημιουργία του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής της ΕΕ (EU Emissions Trading System) έχει βασιστεί στην εμπειρία ενός προγενέστερου συστήματος cap and trade, που ονομαζόταν αγορά των N₂O και SO₂, το οποίο αναπτύχθηκε την δεκαετία του 1990 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στόχος του προγράμματος ήταν να περιοριστούν τα προβλήματα που συνδέονταν με την όξινη βροχή. Η διαδικασία ήταν άκρως επιτυχημένη βρίσκοντας έτσι μιμητές στην ΕΕ προσφέροντας της την απαραίτητη ικανότητα για την δημιουργία ενός συστήματος cap and trade που θα φέρει σημαντική ελάττωση στους ρύπους.

Το EU ETS αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της πολιτικής της ΕΕ στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Είναι το κύριο εργαλείο για τη μείωση των βιομηχανικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της συμμόρφωσης με τους στόχους που έχει θέσει το Πρωτόκολλο του Κιότο. Συνιστά την πρώτη και μεγαλύτερη διεθνή αγορά ανταλλαγής δικαιωμάτων εκπομπής, καλύπτοντας πάνω από 11.000 βιομηχανικές εγκαταστάσεις, μονάδες ενεργειακής παραγωγής και αεροπορικές εταιρίες σε 31 χώρες στην Ευρώπη. Καλύπτει περισσότερο από το 45% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ⁴ η οποία είναι ο τρίτος μεγαλύτερος ρυπαντής του πλανήτη μετά την Κίνα και τις Ηνωμένες Πολιτείες (Εικόνα 1)⁵.

Εικόνα 1: Παγκόσμιες Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου ανά Χώρα



Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων θέτει μια τιμή στους ρύπους και έτσι δίνει χρηματική αξία σε κάθε τόνο εκπομπής αερίων που εξοικονομείται, κάνοντας την κλιματική αλλαγή αντικείμενο ενδιαφέροντος για κάθε εταιρία στην ΕΕ. Μια υψηλή τιμή στις εκπομπές δίνει κίνητρα για επενδύσεις σε καθαρότερους μηχανισμούς και τεχνολογίες μικρότερων εκπομπών. Το EU ETS αποτελεί μια περίπλοκη αγορά και η περιγραφή της λειτουργίας του είναι απαραίτητη.

⁴ The EU Emissions Trading System (EU ETS), European Commission website.

⁵ University of Arkansas Office for Sustainability website

2.1. Το Σύστημα “ Cap and Trade”

Το EU ETS λειτουργεί υπό τον γενικό κανονισμό του “cap and trade” (οριοθέτησης και εμπορίας δικαιωμάτων). Αρχικά τίθεται ένα ανώτατο όριο (cap) στις ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στο οποίο μπορούν να εκπέμψουν οι μονάδες ενέργειας, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και εργοστάσια που καλύπτονται από το σύστημα. Το όριο αυτό τιτλοποιείται, κατανέμεται στις εκάστοτε χώρες, και κάθε τίτλος αντιστοιχεί σε δικαίωμα εκπομπής ενός τόνου αερίου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ή ισοδύναμου ποσού άλλου αερίου (CO₂ equivalent), κυρίως το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) και οι υπερφθοράνθρακες (PFCs). Οι τίτλοι διανέμονται κάθε χρόνο στις ρυπογόνες παραγωγικές μονάδες της Ευρώπης και είναι διαπραγματεύσιμοι μεταξύ των εταιριών. Έτσι οι μονάδες που καταφέρνουν να πετύχουν εκπομπές χαμηλότερες από το αντίστοιχο επιτρεπόμενο όριο τους μπορούν να ανταλλάξουν (trade) τα δικαιώματα που δεν χρειάζονται με τις μονάδες που υπερβαίνουν το όριο εκπομπής τους, στην τιμή που διαμορφώνεται στην αγορά. Οι τίτλοι αυτοί ονομάζονται Δικαιώματα Εκπομπών της ΕΕ (EU Allowances – EUAs) και έχουν ετήσια διάρκεια. Κάθε ρυπογόνος μονάδα υποχρεούται κάθε χρόνο να έχει αντίστοιχα δικαιώματα με τους ρύπους που έχει εκπέμψει αλλιώς της επιβάλλονται αυστηρά πρόστιμα.

Το συνολικό επιτρεπόμενο όριο εκπομπής αερίων μειώνεται κάθε χρόνο έτσι ώστε μακροχρόνια να μπορέσουν να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί. Συγκεκριμένα, από το 2013 και έπειτα η συνολική επιτρεπόμενη εκπομπή αερίων από εργοστάσια και μονάδες παραγωγής ενέργειας μειώνεται 1.74% ετησίως. Αυτό σημαίνει ότι το 2020 οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τους συγκεκριμένους τομείς θα είναι 21% χαμηλότερες από τα επίπεδα του 2005. Σημειώνεται ότι εξαίρεση αποτελεί ο κλάδος των αερομεταφορών στον οποίο ισχύουν διαφορετικά όρια. Ο κλάδος αυτός εντάχθηκε στο EU ETS το 2012 και ο στόχος επίτευξης είναι στο τέλος του 2020 οι εκπομπές του να είναι 5% χαμηλότερες από το μέσο ετήσιο ύψος εκπομπών της περιόδου 2004-2006 ⁶.

2.2. Κατανομή των Δικαιωμάτων

Την συνολική εποπτεία έχει η Διεθνής Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη του Ο.Η.Ε. (UNFCCC), σε συνεργασία με τις αντίστοιχες εποπτικές αρχές της Ευρωζώνης, που είναι υπεύθυνοι για την κατανομή των δικαιωμάτων στις χώρες του πλαισίου. Μέχρι και το 2012 οι κυβερνήσεις ήταν υπεύθυνες για την δωρεάν διάθεση των δικαιωμάτων στις παραγωγικές μονάδες της χώρας τους και εν συνεχεία οι εταιρίες μπορούσαν να ανταλλάξουν τα δικαιώματα μεταξύ τους στην ελεύθερη αγορά.

Ο στόχος είναι μέχρι το 2027 να μην υπάρχει δωρεάν διανομή δικαιωμάτων. Ήδη από το 2013 όλες οι μονάδες στον κλάδο παραγωγής ενέργειας πρέπει να αγοράζουν τα δικαιώματα εκπομπής τους. Η δημοπρασία αποτελεί την πιο διαφανή διαδικασία κατανομής δικαιωμάτων γιατί κάνει πράξη την αρχή ότι “ο ρυπαίνων πληρώνει”. Από το 2013 η κατανομή των δικαιωμάτων γίνεται σταδιακά, κυρίως, με τη μορφή δημοπρασίας. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι εταιρίες θα είναι αναγκασμένες να πληρώνουν ένα αυξανόμενο ποσοστό των δικαιωμάτων εκπομπής τους σε πλειστηριασμό.

Με την μείωση των δικαιωμάτων, μέσω της ετήσιας μείωσης του συνολικού ορίου, αλλά και των δωρεάν διανεμόμενων δικαιωμάτων η UNFCCC αναγκάζει τις παραγωγικές μονάδες να μειώσουν τους ρύπους τους. Ελπίδα του συστήματος είναι ότι η μείωση των εκπομπών θα προέρθει αποκλειστικά από επενδύσεις σε τεχνολογικά καθαρές παραγωγικές διαδικασίες και

⁶ The EU Emissions Trading System (EU ETS), European Commission website.

όχι από τη μείωση της παραγωγής ή του επιμερισμού του κόστους στους καταναλωτές. Μόνο η τεχνολογική πρόοδος μπορεί να επιτύχει μείωση των ρύπων ανά παραγόμενη μονάδα αγαθών χωρίς να επέλθουν αρνητικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

2.3. Χρονική Διάρθρωση

2.3.1. Οι Φάσεις του Προγράμματος

Η θεμελίωση της αγοράς του EU ETS είναι μια δυναμική διαδικασία που το θεσμικό της πλαίσιο ανανεώνεται συνεχώς καθώς διάφορες πτυχές του αποδεικνύονται αποτελεσματικές ή μη. Η διάρθρωση του συστήματος έχει προγραμματιστεί σε τρεις φάσεις.

Η Πρώτη Φάση περιλαμβάνει την περίοδο από το 2005 έως το 2007 και αποτελεί δοκιμαστική περίοδο, εισαγωγής στην διαδικασία του cap and trade, πριν από την επίσημη περίοδο που επιβάλλει το Πρωτόκολλο του Κιότο. Σε αυτή την φάση τα δικαιώματα κάλυπταν το 100% των ρύπων, δεν μπορούσαν να μεταφερθούν σε άλλες χρήσεις και διανέμονταν δωρεάν. Ωστόσο, έπειτα από έναν χρόνο λειτουργίας η αγορά κατέρρευσε λόγω υπερπροσφοράς των δικαιωμάτων και η τιμή των τρεχόντων συμβολαίων (spot) πλησίασε σε μηδενικά επίπεδα. Αντίθετα η τιμή των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης (futures) για τίτλους της Δεύτερης Φάσης δεν επηρεάστηκε ιδιαίτερα. Η Πρώτη Φάση αποτελεί παράδειγμα λανθασμένης οικονομικής πολιτικής από τις αρχές μιας τεχνητής αγοράς που μπορεί να οδηγήσουν στην κατάρρευση της. Αποτελεί όμως και δικαίωση για το σύστημα cap and trade για την οικονομική του διαφάνεια αλλά και την ταχύτητα μετάδοσης μηνυμάτων στους διαμορφωτές της αγοράς.

Η Δεύτερη Φάση εκτείνεται χρονικά από το 2008 έως το 2012 και αποτελεί συνακόλουθη περίοδο του Κιότο. Προστίθενται στα υπάρχοντα μέλη η Ισλανδία, η Νορβηγία και το Λουξεμβούργο, χώρες εκτός ΕΕ. Το 2012 εντάσσεται και ο κλάδος των αερομεταφορών στο σύστημα παρακολούθησης. Τα δικαιώματα μειώνονται κατά 6.5% και παρέχεται η δυνατότητα αποθήκευσης τους για να μελλοντική χρήση, αντιμετωπίζοντας έτσι τα φαινόμενα έντονων μειώσεων στις τιμές όπως συνέβη στην υπερπροσφορά της Πρώτης Φάσης. Δυστυχώς όμως η παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση έχει ελαττώσει την παραγωγή και κατά συνέπεια και την ενεργειακή ζήτηση, με αποτέλεσμα την μείωση στην ζήτηση των δικαιωμάτων εκπομπής. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι στην περίοδο αυτή πολλά μέλη της αγοράς προσέφεραν τρέχοντα (spot) συμβόλαια ζητώντας την αγορά μελλοντικών (futures). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η future τιμή να είναι αρκετά υψηλότερη από την spot με δημιουργία μιας υπέρ contango αγοράς. Αυτό δείχνει ότι η αγορά δεν συνδέεται με τις, γνωστές στην βιβλιογραφία, οικονομικές σχέσεις ισορροπίας, αλλά αντιθέτως, τα δικαιώματα εκπομπής άνθρακα αποτελούν ξεχωριστά περιουσιακά στοιχεία με τις δικές τους δυναμικές.

Η Τρίτη Φάση του συστήματος ορίζεται από το 2013 έως το 2020. Χαρακτηρίζεται από σημαντικές ετήσιες μειώσεις στα δικαιώματα, τα οποία αρχίζουν σταδιακά να δημοπρατούνται. Οι μειώσεις αυτές σε συνδυασμό με τις ελπίδες για ανάκαμψη από την ύφεση δίνουν αισιόδοξα μηνύματα για την πορεία της ζήτησης των δικαιωμάτων ως το τέλος της περιόδου. Τα δικαιώματα μειώνονται κατά 1.74% ετησίως και ο στόχος, όπως έχουμε αναφέρει, είναι το 2020 οι εκπομπές αερίων να είναι κατά 21% ελαττωμένες από ότι το 2005.

Η μακροπρόθεσμη φάση του συστήματος περιλαμβάνει σχέδια για το 2030, όπου ο βασικός στόχος θα είναι οι εκπομπές αερίων να είναι κατά 40% χαμηλότερες από τα επίπεδα του 1990. Για τον λόγο αυτό τα όρια εκπομπής και κατά συνέπεια τα δικαιώματα θα ελαττώνονται κατά 2.2% ετησίως. Επιπλέον στόχοι είναι η αύξηση της χρήσης ανανεώσιμης

ενέργειας στο 27% της συνολικής Ευρωπαϊκής κατανάλωσης καθώς και η αύξηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας στο 30% ⁷. Συνοπτική περιγραφή των φάσεων γίνεται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί.

Πίνακας 1: Περιγραφή των Φάσεων του EU ETS

Φάσεις του Προγράμματος	Χρονική Περίοδος	Χαρακτηριστικά των Φάσεων	Στόχοι
Πρώτη Φάση	2005 - 2007	Δοκιμαστική Φάση Κάλυψη 100% των Ρύπων	Εισαγωγή και Εκμάθηση του Προγράμματος
Δεύτερη Φάση	2008 - 2012	Μείωση Δικαιωμάτων κατά 6.5%	Εναρμόνιση με τους στόχους του Κιότο
Τρίτη Φάση	2013 - 2020	Μείωση Δικαιωμάτων 1.74% ετησίως	21% Λιγότερες Εκπομπές από το 2005
Μακροπρόθεσμα	2021 - 2030	Μείωση Δικαιωμάτων 2.2% ετησίως	40% Λιγότερες Εκπομπές από το 1990

2.3.2. Ημερολόγιο Διαδικασίας

Η συμμόρφωση κάθε παραγωγικής μονάδας στο θεσμικό πλαίσιο του EU ETS ακολουθεί μια συγκεκριμένη ετήσια ημερολογιακή διαδικασία. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η κάθε ρυπογόνος εταιρία πρέπει να παραδίδει τόσα δικαιώματα εκπομπής όσοι και οι πιστοποιημένοι ρύποι της, αλλιώς της επιβάλλονται αυστηρά πρόστιμα. Η παράδοση αυτή πρέπει να γίνεται μέχρι τις 30 Απριλίου κάθε έτους για τους ρύπους της προηγούμενης χρήσης.

Η συνοπτική παρουσίαση του ημερολογίου έχει ως εξής: Η περίοδος καταγραφής των εκπεμπόμενων ρύπων κάθε εταιρίας ξεκινά την 1^η Ιανουαρίου του έτους N. Μέχρι την 28^η Φεβρουαρίου του έτους N η κάθε εταιρία πρέπει να έχει παραλάβει τα δικαιώματα εκπομπής που της αντιστοιχούν. Μέχρι την 30^η Απριλίου του έτους N πρέπει να έχουν παραδοθεί στην εθνική αρχή τα δικαιώματα που αντιστοιχούν στους ρύπους του έτους N-1. Έως την 15^η Μαΐου του έτους N η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα πρέπει να έχει δημοσιεύσει τις καταστάσεις με τους ρύπους κάθε παραγωγικής μονάδας για το έτος N-1. Η περίοδος καταγραφής ολοκληρώνεται την 31^η Δεκεμβρίου του έτους N ⁸.

Πιο αναλυτική παρουσίαση των ημερολογιακών γεγονότων για τις ρυπογόνες παραγωγικές μονάδες ακολουθεί στον επόμενο πίνακα:

⁷ The EU Emissions Trading System (EU ETS), European Commission website.

⁸ Chevallier (2011b)

Πίνακας 2: Ημερολόγιο Παρακολούθησης Γεγονότων Έτους N

Χρονικό Σημείο	Ημερολογιακό Γεγονός
1^η Ιανουαρίου έτους N	Έναρξη περιόδου παρακολούθησης για το έτος N
Έως την 28^η Φεβρουαρίου έτους N	Κατανομή αντιστοιχιζόμενων δικαιωμάτων στις παραγωγικές μονάδες για το έτος N
Έως την 31^η Μαρτίου έτους N	Υποβολή επαληθευμένων ετήσιων εκπομπών για το έτος N-1
Έως την 30^η Απριλίου έτους N	Παράδοση δικαιωμάτων ίσων με εκπομπές για το έτος N-1
Έως την 31^η Μαΐου έτους N	Δημοσιοποίηση εκπομπών από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για το έτος N-1
Έως την 31^η Δεκεμβρίου έτους N	Υποβολή στοιχείων για τυχόν αλλαγές σε δυναμικότητα, παραγωγή και λειτουργία για το έτος N
31^η Δεκεμβρίου έτους N	Λήξη Περιόδου παρακολούθησης για το έτος N

2.4. Ποινές Συμμόρφωσης

Η αγορά του EU ETS, όπως ήδη αναφέρθηκε, διακρίνεται για την δυναμική της διαδικασία λειτουργίας. Αυτό συμβαίνει γιατί αποτελεί μια τεχνητή αγορά χωρίς φυσική ζήτηση για τα περιουσιακά στοιχεία που διαθέτει προς διαπραγμάτευση, δηλαδή, τα δικαιώματα εκπομπής ρύπων. Επομένως, η εύρυθμη λειτουργία της βασίζεται κυρίως στο νομικό και θεσμικό πλαίσιο. Επαφίεται στις ρυθμιστικές αρχές, δηλαδή στη UNFCCC και στα όργανα της ΕΕ, η παροχή σταθερότητας και αξιοπιστίας στο σύστημα έτσι ώστε να επιτευχθούν οι σημαντικές και υποχρεωτικές επενδύσεις για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής. Σημαντικό ρυθμιστικό εργαλείο στα χέρια των αρχών προσφέρουν οι ποινές συμμόρφωσης.

Στην Πρώτη Φάση όταν μια παραγωγική μονάδα δεν κατείχε τόσα δικαιώματα εκπομπής όσα και οι τόνοι αερίων που είχε εκπέμψει για κάθε χρονική περίοδο παρακολούθησης, το πρόστιμο που της επιβαλλόταν ήταν 40 Ευρώ συν την αγορά ενός δικαιώματος εκπομπής την επόμενη περίοδο, για κάθε επιπλέον μη δικαιολογημένο τόνο εκπομπής αερίου. Στην Δεύτερη Φάση το ποσό του προστίμου αυξήθηκε στα 100 Ευρώ ακολουθώντας την ίδια λογική με την Πρώτη Φάση⁹.

Στην Τρίτη Φάση ακολουθώντας τη ίδια λογική επιβολής προστίμου με τις δύο προηγούμενες το χρηματικό πρόστιμο ξεκινάει από το 2013 στα 100 Ευρώ για κάθε επιπλέον μη δικαιολογημένο τόνο εκπομπής αερίου και προσαρμόζεται κάθε χρόνο στον ετήσιο ρυθμό πληθωρισμού της Ευρωζώνης. Σημειώνεται ότι, σε όλες τις φάσεις του προγράμματος, η κάθε ρυπογόνος εταιρία που δεν κατείχε δικαιώματα που να καλύπτουν τους ρύπους της, εκτός από το πρόστιμο που πρέπει να πληρώσει, αντιμετώπιζε και μια επιπρόσθετη ποινή. Τα ονόματα όλων των μη συμμορφωμένων εταιριών δημοσιεύονταν από τις αρμόδιες αρχές πλήττοντας με αυτό τον τρόπο την φήμη τους¹⁰.

⁹ Chevallier (2011b)

¹⁰The EU Emissions Trading System (EU ETS), European Commission website.

2.5. Μέλη της Αγοράς

Σαν αποτέλεσμα της ταχύτατης άνθησης των αγορών ρύπων παγκοσμίως, αλλά και το βιώσιμο αναπτυξιακό μέλλον τους όπως προβλέπεται, έχουν διαμορφωθεί πολλές ομάδες συμμετεχόντων στις συναλλαγές αυτών των αγορών. Εταιρίες διαχείρισης κεφαλαίων, χρηματιστές, εντολοδόχοι και χρηματοπιστωτικά ιδρύματα είναι ορισμένες από τις ομάδες που καθημερινά δραστηριοποιούνται στις αγορές των ρύπων άνθρακα (carbon markets).

Στην αγορά του EU ETS συμμετέχουν δύο μεγάλες κατηγορίες παικτών. Η πρώτη είναι οι υποχρεωτικοί συμμετέχοντες της αγοράς. Αποτελούν τις ρυπογόνες εταιρίες οι οποίες είναι αναγκασμένες να δραστηριοποιούνται στην συναλλαγή δικαιωμάτων εκπομπής για να καλύψουν τους ρύπους τους και να αποφύγουν τις κυρώσεις. Καλύπτονται περισσότερες από 11.000 παραγωγικές μονάδες στην αγορά της Ευρώπης. Διακρίνονται κυρίως σε δύο κλάδους: α) στις εταιρίες του κλάδου ενεργειακής παραγωγής, που χρειάζονται δικαιώματα για τις εκπομπές τους από την επεξεργασία ορυκτών πρώτων υλών για την παραγωγή ενέργειας και β) στις εταιρίες του βιομηχανικού κλάδου οι οποίες κυρίως καταναλώνουν ενέργεια για παραγωγή αγαθών ή ρυπαίνουν και απ' ευθείας.

Η δεύτερη κατηγορία παικτών είναι οι κάθε είδους χρηματοοικονομικοί διαμεσολαβητές που συμμετέχουν στην συναλλαγή δικαιωμάτων. Χρηματοπιστωτικά ιδρύματα που παρέχουν πρόσβαση στην αγορά για τους πελάτες τους, οι οποίοι κυρίως ανήκουν στους υποχρεωτικά συμμετέχοντες της πρώτης κατηγορίας, αναλαμβάνουν μέρος του κινδύνου στην αγοραπωλησία εκπομπών και παρέχουν ρευστότητα στην αγορά. Επίσης επενδυτικές τράπεζες που παρέχουν δυνατότητες επένδυσης στην αγορά και συμβουλευτικές υπηρεσίες στους πελάτες τους. Χρηματιστές και κερδοσκόποι που λειτουργούν προς ίδιον συμφέρον με προσδοκίες αύξησης των τιμών. Πολλές φορές η επένδυση σε δικαιώματα εκπομπής χρησιμοποιείται σαν στοιχείο διαφοροποίησης στην διαχείριση χαρτοφυλακίων¹¹.

Γενικά οποιοσδήποτε είναι εγγεγραμμένος στα μητρώα της ΕΕ μπορεί να πουλήσει και να αγοράσει δικαιώματα εκπομπής, είτε είναι εταιρία που καλύπτεται από το EU ETS είτε όχι. Οι συναλλαγές μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε απ' ευθείας μεταξύ αγοραστών και πωλητών, είτε με την βοήθεια διαμεσολαβητών που δραστηριοποιούνται στην αγορά. Όπως σε κάθε ελεύθερη αγορά έτσι και στην αγορά δικαιωμάτων οι τιμές είναι αποτέλεσμα προσφοράς και ζήτησης. Περίπου 40 εκατομμύρια δικαιώματα συναλλάσσονται καθημερινά κατά μέσο όρο. Μόνο το 2012 οι συναλλαγές έφτασαν τα 7,9 δισ. δικαιώματα με συνολική αξία 56 δισ. Ευρώ¹².

¹¹ Chevallier (2011b)

¹² The EU Emissions Trading System (EU ETS), European Commission website.

2.6. Πράσινη Ανάπτυξη

2.6.1. Χρήση των Δικαιωμάτων του EU ETS

Με την οριοθέτηση του συνόλου των εκπεμπόμενων ρύπων από τους μεγαλύτερους κλάδους της οικονομίας, το EU ETS στοχεύει στην παροχή κινήτρων στις εταιρίες να επενδύσουν σε καθαρές τεχνολογίες που θα διατηρούν την παραγωγικότητα και θα ελαττώνουν τις εκπομπές. Το κίνητρο μεγαλώνει όσο η τιμή των δικαιωμάτων στην αγορά αυξάνεται.

Μια πτυχή του συγκεκριμένου συστήματος είναι το χρηματοδοτικό πρόγραμμα NER300. Σύμφωνα με αυτό, τα έσοδα από την πώληση 300 εκατομμυρίων δικαιωμάτων στην Τρίτη Φάση του προγράμματος, από το 2013 έως το 2020, θα συγχρηματοδοτήσουν την κατασκευή και λειτουργία μεγάλων καθαρών έργων σε δύο βασικούς τομείς. Ο πρώτος είναι η συλλογή και αποθήκευση ρύπων και ο δεύτερος, η επένδυση σε καινοτόμες τεχνολογίες για ανανεώσιμη ενέργεια ¹³.

2.6.2. Ισοδύναμα των Δικαιωμάτων – Έργα σε Αναπτυσσόμενες Χώρες

Τα δικαιώματα εκπομπής ρύπων του συστήματος της ΕΕ ανήκουν σε μια ευρύτερη κατηγορία τίτλων που ονομάζονται πιστώσεις άνθρακα (carbon credits). Οι πιστώσεις άνθρακα είναι τίτλοι, που παρέχονται από τη UNFCCC, με την ίδια λογική των δικαιωμάτων εκπομπής, δίνοντας στον κάτοχο τους την δυνατότητα για εκπομπή ενός τόνου αερίου διοξειδίου του άνθρακα ή άλλου ισοδύναμου. Το Πρωτόκολλο του Κιότο προβλέπει την χρήση πιστώσεων άνθρακα για τα μέλη του και πάνω σε αυτούς τους τίτλους έχουν βασιστεί και τα δικαιώματα εκπομπής του EU ETS. Δηλαδή πιστώσεις άνθρακα ονομάζονται γενικά τα δικαιώματα εκπομπής που έχουν ανταλλακτική δυνατότητα μεταξύ των μελών του Κιότο ή και σε συγκεκριμένες εθνικές αγορές που ονομάζονται αγορές άνθρακα (carbon markets).

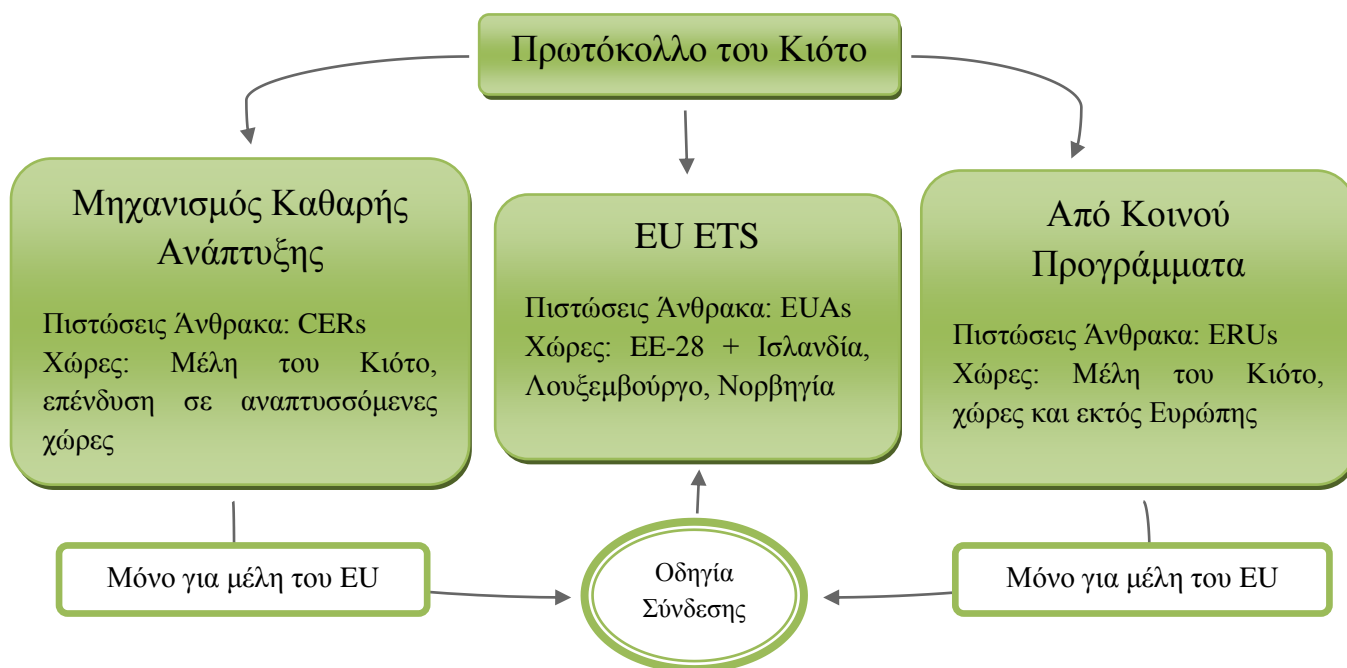
Οι εταιρίες μπορούν να κερδίσουν πιστώσεις δημιουργώντας περιβαλλοντικά έργα ανά τον κόσμο και να καλύψουν έτσι ποσοστό των δικών τους εκπομπών. Η λογική είναι πως οι επενδύσεις σε πράσινη ανάπτυξη μπορούν να έχουν μικρότερο κόστος σε αναπτυσσόμενες χώρες και εφ' όσον η κλιματική αλλαγή αποτελεί παγκόσμιο φαινόμενο, τα κίνητρα για μείωση των ρύπων πρέπει να ενισχύονται χωρίς γεωγραφικά κριτήρια. Για παράδειγμα, μια ευρωπαϊκή βιομηχανία, που υπάγεται στα πλαίσια του EU ETS μπορεί να κατασκευάσει ένα υδροηλεκτρικό φράγμα σε μια χώρα της Ασίας για να αποφύγει την ρύπανση της ατμόσφαιρας από τους ρύπους που θα είχε ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας με καύση ορυκτών για την ίδια παραγωγή σε μια ανεπτυγμένη χώρα της Ευρωζώνης. Το κόστος για την βιομηχανία σε εργατικά χέρια και σε πρώτες ύλες θα είναι αρκετά μικρότερο στην Ασία και η βιομηχανία μπορεί τις πιστώσεις άνθρακα που θα κερδίσει στα πλαίσια του Πρωτοκόλλου του Κιότο να τις μετατρέψει σε δικαιώματα εκπομπής του EU ETS.

Οι πιστώσεις άνθρακα παρέχονται, από τη UNFCCC, μέσω μηχανισμών του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Ο πρώτος, γενικός, μηχανισμός έχει την ονομασία Προγράμματα Από Κοινού (Joint Implementation) και επιτρέπει σε χώρες μέλη του Κιότο να επενδύουν πράσινα έργα σε άλλες χώρες μέλη με δυνατότητα για απόκτηση πιστώσεων άνθρακα, που ονομάζονται Μονάδες Μείωσης Εκπομπών (Emission Reduction Units – ERUs), για την επίτευξη των στόχων ελάττωσης ρύπων που έχει θέσει το Πρωτόκολλο. Ο δεύτερος μηχανισμός αποτελεί ειδική περίπτωση των Προγραμμάτων Από Κοινού και ονομάζεται Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism). Η διαφορά του είναι ότι επιτρέπεται σε μια

¹³ The EU Emissions Trading System (EU ETS), European Commission website.

χώρα ή επιχείρηση με περιορισμό στους ρύπους να δημιουργεί περιβαλλοντικά φιλικά έργα μείωσης ρύπων σε αναπτυσσόμενες χώρες. Οι πιστώσεις που κερδίζονται από τέτοια έργα ονομάζονται Πιστοποιημένες Μειώσεις Εκπομπών (Certified Emission Reductions – CERs)¹⁴. Στην Εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται μια απλή σχηματοποίηση των παραπάνω μηχανισμών.

Εικόνα 2: Απλή Σχηματοποίηση των Μηχανισμών του Κιότο



Οι πιστώσεις που παρέχει η UNFCCC μέσω των παραπάνω μηχανισμών, δηλαδή τα ERUs και τα CERs, μπορούν, για τις χώρες του EU ETS, να μετατραπούν από διεθνείς πιστώσεις που είναι σε ισοδύναμα δικαιώματα εκπομπής ρύπων του EU ETS μέσω Οδηγίας Σύνδεσης των πιστώσεων του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Αυτό σημαίνει ότι η προσφορά των πιστώσεων και των δικαιωμάτων μπορεί να αυξηθεί όπως και κατά συνέπεια τα συνολικά όρια εκπομπής ρύπων. Έτσι οι τιμές των δικαιωμάτων και των πιστώσεων δέχονται δύο αντίθετες δυνάμεις. Αύξηση της προσφερόμενης ποσότητας μέσω των μηχανισμών έργων και ταυτόχρονα μείωση της προσφερόμενης ποσότητας λόγω ετήσιας συστολής των ορίων εκπομπής.

2.7. Διεθνής Αγορά Ρύπων

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεωρεί το EU ETS ως ένα πολύ σημαντικό βήμα για την ανάπτυξη ενός παγκόσμιου δικτύου συστημάτων για την ανταλλαγή τίτλων εκπομπών. Αυτή η διεθνής αγορά άνθρακα αναμένεται να προκύψει από την σύνδεση εθνικών cap and trade συστημάτων. Όπως αναφέρθηκε ήδη μεγάλοι ρυπαντές του πλανήτη όπως η Ιαπωνία, η Αυστραλία, η Νέα Ζηλανδία, η Ελβετία αλλά και σταδιακά οι ΗΠΑ, έχουν αναπτύξει εθνικά ή πολιτειακά (στην περίπτωση των Η.Π.Α.) συστήματα αγοράς. Επιπλέον, συζητήσεις και σχέδια για την ανάπτυξη παρόμοιων συστημάτων έχουν γίνει στην Κίνα, τον Καναδά και την Νότιο Κορέα.

¹⁴ UNFCCC website

Μεγάλα βήματα για την συγχώνευση αγορών έχουν ήδη πραγματοποιηθεί με σημαντικότερη την συμφωνία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής με την Αυστραλιανή κυβέρνηση ώστε μέχρι το τέλος του 2018 η αγορά της Αυστραλίας να έχει συνδεθεί με το EU ETS. Αυτό σημαίνει ότι οι επιχειρήσεις της Αυστραλίας θα μπορούν να χρησιμοποιούν δικαιώματα εκπομπής της ΕΕ για την κάλυψη των ρύπων τους. Διαπραγματεύσεις έχουν ήδη ξεκινήσει με την Ελβετία για την σύνδεση του εθνικού της συστήματος με το EU ETS ¹⁵.

Η σύνδεση των συστημάτων που αναφέρθηκε, προβλέπεται ότι θα έχει πολλαπλά οφέλη. Ενδεικτικά, θα αποφέρει μεγαλύτερη ρευστότητα στην αγορά, σταθερότητα των τιμών, μείωση του συνολικού κόστους για την προσπάθεια ελάττωσης των παγκόσμιων ρύπων και θα αποτελέσει θεμελιώδη λίθο στην διεθνή συνεργασία για την κλιματική αλλαγή.

¹⁵ The EU Emissions Trading System (EU ETS), European Commission website.

3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η αγορά του Συστήματος Ανταλλαγής Εκπομπών της ΕΕ είναι σχετικά πρόσφατη και με μικρό διάστημα λειτουργίας. Αυτό σημαίνει πως οι έρευνες πάνω στα δεδομένα της αγοράς είναι σε πρώιμο στάδιο. Τα παλαιότερα επιστημονικά άρθρα αφορούν την Πρώτη Φάση του προγράμματος για τα έτη 2005-2007 η οποία αποτελούσε δοκιμαστική περίοδο με ορισμένα λειτουργικά προβλήματα. Η Δεύτερη Φάση ολοκληρώθηκε στο τέλος του 2012 και επομένως οι έρευνες εξ ολοκλήρου στην περίοδο της δεν είναι ακόμα εκτενείς.

Η μέχρι τώρα πλειονότητα των επιστημονικών άρθρων επικεντρώνεται στην εύρεση τίτλων οι οποίοι επηρεάζουν την τιμή των δικαιωμάτων στην αγορά. Η αγορά αυτή είναι τεχνητή και οι τίτλοι της δεν έχουν φυσική ζήτηση από τους άμεσα ενδιαφερόμενους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι τιμές να μην ακολουθούν τα γνωστά οικονομικά πρότυπα ισορροπίας, παρόλο που διαπραγματεύονται σε μια ελεύθερη αγορά και προκύπτουν μέσω των δυνάμεων της προσφοράς και της ζήτησης. Επομένως πρωταρχικός στόχος των επιστημονικών ερευνών είναι να βρεθούν οι βασικοί παράγοντες διαμόρφωσης της τιμής των τίτλων αυτών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει ποιοί ενδεικτικοί παράγοντες διαμόρφωσης τιμής της Πρώτης Φάσης του EU ETS, όπως έχουν αναπτυχθεί στην βιβλιογραφία, έχουν ισχύ και κατά πόσο στην Δεύτερη Φάση (2008-2012) και να διερευνηθεί η διαμόρφωση των τιμών στην περίοδο της εκτεταμένης οικονομικής ύφεσης που χαρακτηρίζει την συγκεκριμένη φάση του προγράμματος.

Το πρώτο χρονικά επιστημονικό άρθρο αναφορικά με τους παράγοντες διαμόρφωσης τιμών στο EU ETS, που αποτέλεσε και θεμέλιο λίθο του θέματος, ήταν των Christiansen et al. (2005). Πριν την εκτενή λειτουργία της αγοράς, μέσω οικονομικής ανάλυσης (αρχών προσφοράς και ζήτησης) αναγνώρισαν τους ακόλουθους παράγοντες ως διαμορφωτές τιμής στο EU ETS: πολιτικές και θεσμικές αποφάσεις των αρχών, θεμελιώσεις της αγοράς όπως ο δείκτης συνολικών εκπομπών προς το όριο εκπομπής ρύπων, το οριακό κόστος αλλαγής τεχνολογίας της παραγωγικής διαδικασίας ως προς την ορυκτή πρώτη ύλη καύσης, τα επίπεδα παραγωγής ενέργειας και βιομηχανίας και οι καιρικές συνθήκες.

Σημαντική είναι και η συμβολή των Mansanet-Bataller et al. (2007) που μελέτησαν βασικές ενεργειακές μεταβλητές και ακραίες καιρικές συνθήκες, οι οποίες θεωρούνται από παράγοντες της αγοράς, ως κύριες κατηγορίες διαμόρφωσης των τιμών δικαιωμάτων εκπομπής άνθρακα. Χρησιμοποίησαν οικονομετρικές τεχνικές χρονοσειρών με μεταβλητές τις τιμές και τις αποδόσεις της ηλεκτρικής ενέργειας, του αργού πετρελαίου, του φυσικού αερίου ενώ συμπεριέλαβαν ψευδομεταβλητές για την επίδραση ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι η ηλεκτρική ενέργεια και οι καιρικές συνθήκες έχουν σημαντική επίδραση στις τιμές των δικαιωμάτων άνθρακα.

Σημαντική προσφορά στην βιβλιογραφία, για τους παράγοντες που επιδρούν στην μεταβλητότητα των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπής άνθρακα έχει ο Chevallier (2011a, 2011b). Έχοντας συγκεντρώσει την μέχρι τότε βιβλιογραφία ομαδοποιεί τους παράγοντες που έχουν επιρροή στα δικαιώματα εκπομπής σε τρεις βασικές κατηγορίες. Η πρώτη αφορά αποφάσεις και πολιτικές των αρμόδιων αρχών της αγοράς. Ως τεχνητή αγορά η οποιαδήποτε απόφαση των αρχών μπορεί να έχει αντίκτυπο στις τιμές και να οδηγήσει σε αλλαγές στην πορεία και στην τάση τους δηλαδή σε ισχυρά structural breaks. Αυτή η κατηγορία προέκυψε από την Πρώτη Φάση όπου η λανθασμένη υπερπροσφορά της αγοράς και η απαγόρευση αποθήκευσης και χρήσης δικαιωμάτων στην Δεύτερη Φάση οδήγησαν σε κατάρρευση των

τιμών. Η δεύτερη και πιο σημαντική κατηγορία αφορά τον ενεργειακό κλάδο και τις καιρικές συνθήκες. Οι επιχειρήσεις ρυπαίνουν, κυρίως, λόγω καύσης ορυκτών για την παραγωγή τους. Επομένως οι τιμές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και του κάρβουνου επηρεάζουν την παραγωγή και κατά συνέπεια τους ρύπους. Οι ακραίες καιρικές συνθήκες αυξάνουν την ζήτηση και την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, που αποτελεί ακόμα έναν παράγοντα επιρροής, και κατά συνέπεια αυξάνουν την παραγωγή ενέργειας και τους ρύπους. Η τρίτη κατηγορία αφορά μακροοικονομικούς και χρηματοοικονομικούς παράγοντες. Η βιομηχανική παραγωγή, η έντονη οικονομική ύφεση αλλά και διάφορα μεγέθη της χρηματαγοράς μπορούν να επιδρούν στην τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής σαν δείκτες συστηματικού κινδύνου.

Οι Alberola, Chevallier και Chéze (2007) ερευνούν παράγοντες διαμόρφωσης των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπής της ΕΕ για την Πρώτη Φάση, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους στους οικονομικούς ελέγχους και την παρουσία των δύο θεσμικών ανακοινώσεων που συντάραξαν την αγορά. Επικεντρώνονται στις ισχυρές οικονομίες της Ευρωζώνης δηλαδή στις Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία και Ηνωμένο Βασίλειο. Επεκτείνουν την βιβλιογραφία δείχνοντας πως οι τρέχουσες τιμές του EU ETS επηρεάζονται από ακραίες θερμοκρασίες του καιρού, τιμές των ενεργειακών καυσίμων αλλά και από βασικούς παραγωγικούς κλάδους που καλύπτονται από το σύστημα όπως βιομηχανίες χαρτιού, γυαλιού, καύσης, χημικών, οπτανθρακοποίησης, σιδήρου και χάλυβα.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα εργασία βασίζεται στην εμπειρική έρευνα των Alberola, Chevallier και Chéze (2008a). Το άρθρο τους στοχεύει στην μελέτη των ακόλουθων παραγόντων διαμόρφωσης τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής της ΕΕ: τιμές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, του κάρβουνου και της ηλεκτρικής ενέργειας, το καθαρό περιθώριο κέρδους των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα και με φυσικό αέριο (clean dark, clean spark spreads), το οριακό κόστος αλλαγής πρώτης ύλης καύσης από κάρβουνο σε φυσικό αέριο και οι ακραίες καιρικές θερμοκρασίες. Η συχνότητα των δεδομένων είναι ημερήσια για την Πρώτη Φάση, χρησιμοποιώντας οικονομικά μοντέλα GARCH με την παρουσία δύο structural breaks, λόγω δυο ανακοινώσεων που προκάλεσαν την κατάρρευση της αγοράς. Δείχνουν ότι οι ενεργειακοί παράγοντες και οι ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες έχουν στατιστική σημαντικότητα στην μεταβλητότητα των τιμών των δικαιωμάτων.

Ο Chevallier (2009) συνεχίζει τη σημαντική συμβολή του στο θέμα ερευνώντας την εμπειρική σχέση των δικαιωμάτων εκπομπής της ΕΕ με μακροοικονομικές και χρηματοοικονομικές μεταβλητές, για τα τρία πρώτα χρόνια λειτουργίας της αγοράς. Χρησιμοποιώντας ετήσια μελλοντικά συμβόλαια για τις εκπομπές έλεγξε τις σχέσεις τους με την ακόλουθη σειρά μεταβλητών: ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, αποδόσεις του κοινού μετοχικού χαρτοφυλακίου Euronext100, το premium των πιστοληπτικά χειρότερων ομολόγων ("junk bond" premium), την απόδοση των τρίμηνων ομοσπονδιακών ομολόγων (US T-Bill rate) και τον δείκτη βασικών προϊόντων (commodity indicator) της Goldman Sachs, λόγω του ότι ακολουθεί την λογική ενός χαρτοφυλακίου αγοράς. Χρησιμοποιώντας μια σειρά από οικονομικά μοντέλα GARCH δείχνει ότι οι αποδόσεις των εκπομπών άνθρακα μπορούν ασθενώς να προβλεφθούν από τις μεταβλητές των μετοχικών και ομολογιακών αγορών. Όταν συμπεριλαμβάνει στην ανάλυση του το γεγονός της κατάρρευσης της αγοράς, τότε, φαίνεται πως τα δικαιώματα έχουν πολύ μικρή συσχέτιση με τις χρηματοοικονομικές μεταβλητές. Οι τιμές των καυσίμων, πετρέλαιο και φυσικό αέριο είναι ισχυρά σημαντικές στην έρευνα του.

Συνεχίζοντας ο Chevallier (2011c) μελετά την μετάδοση των διεθνών σοκ στις τιμές των EUAs και των CERs. Επεξεργάζεται ένα τεράστιο σύνολο δεδομένων αποτελούμενων από

115 δείκτες αγαθών, μακροοικονομίας και χρηματαγοράς, χρησιμοποιώντας μια σειρά μοντέλων FAVAR (Factor-Augment Vector Auto regression). Τα αποτελέσματα του δείχνουν ότι οι αγορές άνθρακα αντιδρούν αρνητικά στα εξωγενή παγκόσμια σοκ, με τα CERs να έχουν μεγαλύτερη αντίδραση των EUAs. Το πιο σημαντικό του εύρημα είναι πως οι αγορές αγαθών συνεισφέρουν περισσότερο στη μεταβλητότητα των πιστώσεων άνθρακα σε σχέση με τις μακρο και χρηματαγορές.

Οι Alberola, Chevallier και Chéze (2008b) επέκτειναν την ανάλυση των παραγόντων διαμόρφωσης τιμής στο EU ETS. Επιπλέον των βιβλιογραφικά γνωστών τιμών καυσίμων, ηλεκτρικής ενέργειας και ακραίων καιρικών συνθηκών, συμπεριέλαβαν στην ανάλυση τους ακόλουθους βιομηχανικούς τομείς: εγκαταστάσεων καύσης, διυλιστήρια ορυκτού πετρελαίου, κλίβανοι οπτόανθρακα, μεταλλευμάτων, σιδήρου και χαλυβουργίας, τσιμέντου, γυαλιού, κεραμικών και χαρτιού. Τα αποτελέσματα τους δείχνουν ότι οι αλλαγές στις τιμές των δικαιωμάτων οφείλονται στις ενεργειακές τιμές, στις ακραίες καιρικές θερμοκρασίες αλλά και σε τρεις βιομηχανικούς κλάδους που καλύπτονται από το EU ETS: του χαρτιού, του σιδήρου και των εγκαταστάσεων καύσης.

Οι Gudbrandsdottir και Haraldsson (2011) με μια οικονομετρική ανάλυση συσχετίσεων και παλινδρόμησης ερεύνησαν τη σχέση μεταξύ των EUAs και CERs με 25 μεταβλητές όπως αποδόσεις αγαθών καυσίμων, ενέργειας, χρηματιστηριακούς δείκτες, καιρικές συνθήκες και ισοτιμίες συναλλαγμάτων. Τα ευρήματα τους τονίζουν την μεγάλη συσχέτιση μεταξύ EUAs και CERs με τιμή 0,91 αλλά και την σημαντική επιρροή που δέχονται από τις μεταβλητές των αποδόσεων της ηλεκτρικής ενέργειας και του αργού πετρελαίου.

Με μια οικονομετρική ανάλυση συσχετίσεων και παλινδρόμησης ερεύνησαν και οι Andrew και Maydybura (2011) την εξάρτηση EUAs του EU ETS από τους εξής παράγοντες: τιμές κάρβουνου, φυσικού αερίου, αργού πετρελαίου, τον ετήσιο ρυθμό αύξησης του ΑΕΠ των χωρών Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία και Ηνωμένο Βασίλειο, την μέση θερμοκρασία των πρωτευουσών των προαναφερθέντων χωρών και μια ψευδομεταβλητή για την εκδήλωση της χρηματοοικονομικής κρίσης το Σεπτέμβριο του 2007 έως το τέλος του 2009. Τα αποτελέσματα τους δείχνουν ότι η τιμή του φυσικού αερίου και ο ρυθμός αύξησης του ΑΕΠ είναι σταθερά στατιστικά σημαντικά στην επιρροή τους στα EUAs.

Οι Aatola et al. (2012) ερεύνησαν την συσχέτιση των EUAs του EU ETS με τιμές προϊόντων όπως: η ηλεκτρική ενέργεια, δείκτες ορυκτών καυσίμων, χαλυβουργίας και χαλκού, τιμές φυσικού αερίου, κάρβουνου και αργού πετρελαίου, του δείκτη FTSE 350 και των αποθεμάτων νερού και φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με χρήση οικονομετρικών μοντέλων GARCH και VAR για χρονοσειρές, διαπίστωσαν πως, οι τιμές των EUAs επηρεάζονται στατιστικά σημαντικά από τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας του φυσικού αερίου και του κάρβουνου.

Οι Bredin και Muckley (2009) ελέγχουν ως παράγοντες διαμόρφωσης της τιμής των EUAs μεταβλητές οικονομικής ανάπτυξης, όπως η βιομηχανική παραγωγή στην Ευρωζώνη, ενεργειακές τιμές και ακραίες καιρικές συνθήκες. Πραγματοποιούν σύγκριση της Πρώτης με την αρχή της Δεύτερης Φάσης του προγράμματος, ελέγχοντας τους εξεταζόμενους παράγοντες διαμόρφωσης με τεχνικές συνολοκλήρωσης και αιτιότητας. Καταλήγουν στην σημαντικότητα όλων των μεταβλητών τους στην εξέλιξη της τιμής των δικαιωμάτων και στην διαφορετική εξέλιξη της τιμής στην Δεύτερη Φάση σε σύγκριση με την Πρώτη.

Οι Creti et al. (2012) συγκρίνουν την Πρώτη με την Δεύτερη Φάση εξετάζοντας ως παράγοντες διαμόρφωσης τιμής στις τιμές δικαιωμάτων εκπομπής της ΕΕ τις τιμές

ενεργειακών καυσίμων, το οριακό κόστος αλλαγής καύσης για μια παραγωγική μονάδα και τον δείκτη τιμών μετοχών Eurostoxx50. Κάνουν χρήση οικονομετρικών τεχνικών συνολοκλήρωσης και αιτιότητας για να βρουν σχέσεις ισορροπίας της τιμής των πιστώσεων άνθρακα ανάμεσα στις δύο φάσεις. Βρίσκουν ότι όλες οι μεταβλητές έχουν μακροπρόθεσμη προβλεψιμότητα για την Δεύτερη Φάση, με την αξία των EUAs να είναι υπερτιμημένη στην αρχή της Δεύτερης Φάσης και υποτιμημένη στο τέλος της.

Οι Kerpler και Mansanet-Bataller (2010) συγκρίνουν τις σχέσεις μεταξύ των spot και forward τιμών άνθρακα στο EU ETS με μια ομάδα ενεργειακών μεταβλητών και ακραίων καιρικών συνθηκών για την Πρώτη Φάση (2005-2007) και τον πρώτο χρόνο της Δεύτερης (2008). Χρησιμοποιούν οικονομετρικούς ελέγχους για σχέσεις αιτιότητας μεταξύ των μεταβλητών. Τα αποτελέσματα τους δείχνουν ότι στην Πρώτη Φάση οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν άμεσα τα futures του άνθρακα, αλλά και έμμεσα καθώς, επιδρούν στα ενεργειακά καύσιμα φυσικού αερίου και κάρβουνου, από αυτά επηρεάζονται τα αντίστοιχα περιθώρια κέρδους των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων και προκαλούν αιτιακά τις τιμές των futures του άνθρακα. Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αποτέλεσμα επίδρασης των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπής. Για το 2008 η τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζονται από τα ενεργειακά καύσιμα και τα περιθώρια κέρδους τους και προκαλούν αιτιακά τις τιμές των δικαιωμάτων εκπομπής.

Ο Hintermann (2010) ερευνά τα αίτια της διακύμανσης των τιμών του EU ETS για την Πρώτη Φάση παράγοντας ένα δομικό ενδογενές μοντέλο από τις τιμές των δικαιωμάτων, υπό την υπόθεση της αποτελεσματικής αγοράς, και εξετάζει τον βαθμό στον οποίο η διακύμανση των τιμών μπορεί να εξηγηθεί από το οριακό κόστος μείωσης των εκπομπών. Λαμβάνει υπ' όψιν του στους υπολογισμούς του και τις τιμές του φυσικού αερίου, του κάρβουνου αλλά και ακραίες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες του καιρού. Τα αποτελέσματα του δείχνουν πως η αγορά των ρύπων πριν την κατάρρευση ήταν αναποτελεσματική καθώς απαιτήθηκαν 16 μήνες για να ενσωματωθεί στις αυξημένες τιμές, χρονικό διάστημα στο οποίο την υπερτίμηση αυτή επωμίζονταν οι καταναλωτές.

Εκτός από τις προαναφερθείσες εμπειρικές έρευνες πάνω στην Ευρωπαϊκή αγορά των ρύπων οι Kim και Koo (2009) εξέτασαν παράγοντες που επιδρούν στην αγορά των δικαιωμάτων άνθρακα στις Ηνωμένες Πολιτείες. Οι μεταβλητές που εξέτασαν ήταν οι τιμές κάρβουνου, αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου και ψευδομεταβλητές για τις ακραίες υψηλές και χαμηλές τιμές θερμοκρασίας καθώς και τη χρονική ύπαρξη της οικονομικής κρίσης. Χρησιμοποίησαν αυτοπαλίνδρομα οικονομετρικά μοντέλα για να βρουν βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Βρήκαν ότι σε βραχεία διάρκεια οι τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου επηρεάζουν τα δικαιώματα άνθρακα, ενώ σε μακρά διάρκεια η τιμή του κάρβουνου είναι στατιστικά σημαντική σαν παράγοντας επίδρασης.

4. Δεδομένα της Εμπειρικής Ανάλυσης

Όπως αναφέρθηκε εκτενώς στο προηγούμενο Κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, οι παράγοντες της αγοράς αλλά και οι προγενέστερες έρευνες πάνω στο θέμα, δείχνουν ως βασικούς παράγοντες διαμόρφωσης της τιμής των πιστώσεων άνθρακα τις τιμές του κάρβουνου, του αργού πετρελαίου, του φυσικού αερίου και της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτοί οι παράγοντες αποτελούν εμπορεύματα.

Το χαρακτηριστικό των εμπορευμάτων είναι η δυσκολία στην αποθήκευση και την μεταφορά τους, σε αντίθεση π.χ. με εταιρικά ομόλογα και μετοχές. Γι' αυτό, συνήθως, συναλλάσσονται σε μελλοντικές αγορές και όχι σε τρέχουσες. Στις περισσότερες αγορές εμπορευμάτων η αγορά (με σκοπό την απόκτηση του εμπορεύσιμου αγαθού) και η αντιστάθμιση γίνονται με χρονικό ορίζοντα μηνός ή έτους¹⁶. Οι τρέχουσες αγορές χρησιμοποιούνται για τελικούς διακανονισμούς ή για κερδοσκοπία. Σαν αποτέλεσμα οι μελλοντικές τιμές (futures) είναι σχετικά μικρής διακύμανσης ενώ οι τρέχουσες (spot) περιέχουν λανθασμένες πληροφορίες και δεν αντανακλούν τους μηχανισμούς της αγοράς. Στην παρούσα εργασία όσον αφορά τα εμπορεύματα χρησιμοποιούνται τιμές μηνιαίων μελλοντικών συμβολαίων.

Εκτός από ενεργειακά εμπορεύματα, κύριοι παράγοντες διαμόρφωσης τιμής των πιστώσεων άνθρακα, σύμφωνα με την προαναφερθείσα βιβλιογραφία, αποτελούν μακροοικονομικές και χρηματοοικονομικές μεταβλητές οι οποίες αποτελούν και δείκτες της παγκόσμιας ύφεσης που έχει επηρεάσει τις αγορές.

Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην εργασία. Η χρονική περίοδος των δεδομένων είναι για την Δεύτερη Φάση του EU ETS δηλαδή τα έτη 2008-2012. Οι τιμές για τους υπολογισμούς έχουν μετατραπεί σε Ευρώ σύμφωνα με τις ισχύουσες ισοτιμίες. Τα δεδομένα είναι ημερήσια και προέρχονται από την βάση Thomson Reuters DataStream.

Πίνακας 3: Μεταβλητές της Εμπειρικής Ανάλυσης

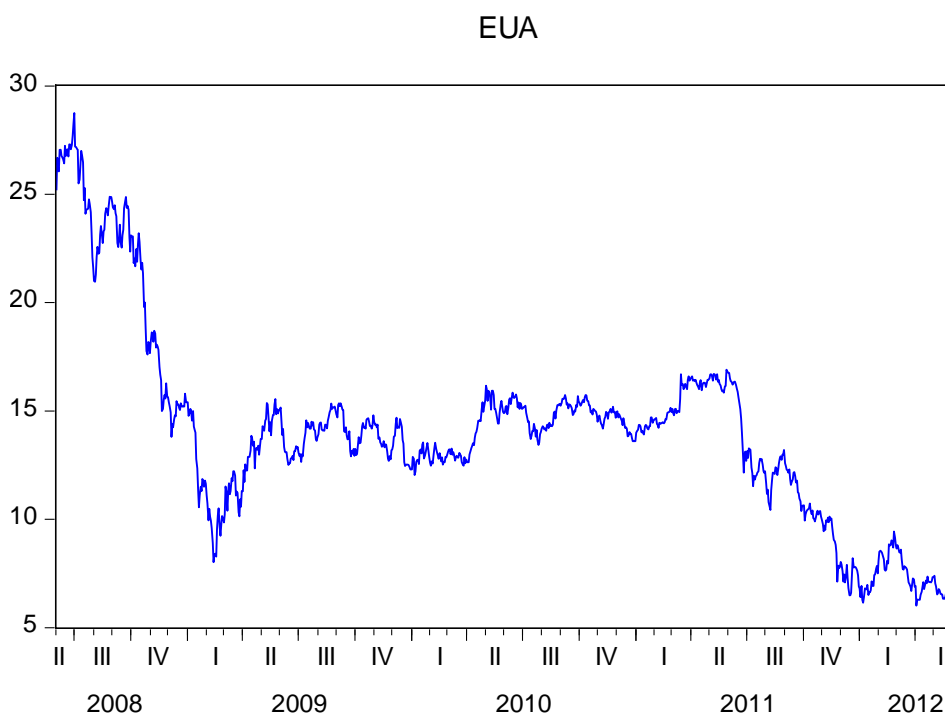
Μεταβλητή	Πηγή
Πιστώσεις Άνθρακα	European Energy Exchange (EEX) CO ₂ Emissions EUA
Αργό Πετρέλαιο	Intercontinental Exchange (ICE) Brent Crude Oil
Φυσικό Αέριο	Intercontinental Exchange (ICE) Natural Gas
Κάρβουνο	Intercontinental Exchange (ICE) Coal Rotterdam
Ηλεκτρική Ενέργεια	Intercontinental Exchange (ICE) Electricity Base
Βιομηχανική Παραγωγή	EK Industrial Production: Manufacturing
Χαρτοφυλάκιο Αγοράς	S&P Goldman Sachs Commodity Indicator
Χαρτοφυλάκιο Μετοχών	Euronext 100 Price Index

¹⁶ Alberola, Chevallier και Chéze (2008a)

4.1. Δικαιώματα Εκπομπής Άνθρακα

Η τιμή των πιστώσεων άνθρακα EUA στο EU ETS διαμορφώνεται σε διαφορετικές οργανωμένες αγορές (τρέχουσα, μελλοντική) και σε over-the-counter (OTC) αγορά η οποία προσφέρει μεγαλύτερη ρευστότητα από ότι οι οργανωμένες αγορές. Εδώ οι συναλλαγές γίνονται κυρίως από βιομηχανίες που υπάγονται στο σύστημα και από χρηματοοικονομικούς διαμεσολαβητές. Η αγορά μελλοντικών συμβολαίων με την καλύτερη ρευστότητα είναι η European Energy Exchange ενώ για τρέχοντα συμβόλαια η αγορά Powernext Carbon¹⁷. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η ημερήσια τιμή των μελλοντικών συμβολαίων ενός μήνα σε €/τόνο CO₂ εκπομπής, για την χρονική περίοδο 1^η Ιουνίου 2008 έως 30^η Αυγούστου 2012 η πορεία της οποίας παρουσιάζεται στην Εικόνα που ακολουθεί.

Εικόνα 3: Τιμή του Μηνιαίου EUA Future στα Έτη 2008-2012



Στην Εικόνα 3 φαίνεται η εξέλιξη της τιμής του δικαιώματος εκπομπής άνθρακα που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία. Ξεκινά κοντά στα 26€ στο τέλος της άνοιξης του 2008 και καταλήγει κοντά στα 6€ στο τέλος του καλοκαιριού του 2012. Όπως φαίνεται η τιμή παρουσιάζει δύο έντονες αλλαγές στην τάση της. Η πρώτη στο πρώτο τρίμηνο του 2009 όπου η καθοδική τάση στην τιμή που παρατηρείται από τα μέσα του 2008 αλλάζει όπου μπορούμε να πούμε ότι, μέχρι τα μέσα του 2011, παρατηρείται διαδικασία τυχαίου περιπάτου. Στο σημείο αυτό η τάση αλλάζει ξανά παρουσιάζοντας εκ νέου καθοδική πορεία αλλά λιγότερο έντονη από την αρχική. Οι δύο αυτές αλλαγές στην οικονομετρική ορολογία ονομάζονται δομικές διακοπές (structural breaks) και θα ληφθούν υπ' όψιν στην διαδικασία της μοντελοποίησης, για λόγους που θα περιγραφούν εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο της οικονομετρικής ανάλυσης.

¹⁷ Alberola, Chevallier και Chéze (2008a)

4.2. Ενεργειακές Μεταβλητές

Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3 θα χρησιμοποιηθούν ως πιθανοί παράγοντες διαμόρφωσης της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής οι ακόλουθες τιμές ενεργειακών καυσίμων, οι οποίες αποτέλεσαν βασικές μεταβλητές σε όλες σχεδόν τις έρευνες που αναφέρθηκαν στην βιβλιογραφική ανασκόπηση. Η τιμή του αργού πετρελαίου, που θα την χρησιμοποιούμε ως “Oil” μετράται σε \$/βαρέλι, είναι η ημερήσια τιμή των μελλοντικών συμβολαίων ενός μήνα όπως διαπραγματεύεται στην Intercontinental Futures Exchange αγορά. Η τιμή του πετρελαίου έχει μετατραπεί σε Ευρώ σύμφωνα με την αντίστοιχη τρέχουσα ημερήσια ισοτιμία Ευρώ/Δολαρίου. Στην ίδια αγορά ανήκει και η τιμή του φυσικού αερίου, ως “Ngas” η οποία μετράται σε €/MWh, και είναι η ημερήσια τιμή μελλοντικών συμβολαίων ενός μήνα. Η τιμή του κάρβουνου, ως “Coal” μετράται σε €/τόνο και είναι η ημερήσια τιμή συναλλαγής των μελλοντικών συμβολαίων ενός μήνα, για την ίδια αγορά όπως και τα προηγούμενα καύσιμα με μεταφορά μέσω των λιμανιών του Ρότερνταμ, Άμστερνταμ και της Αμβέρσας. Τέλος, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας βάσης, ως “Elec” μετράται σε €/MWh και είναι η ημερήσια τιμή των μελλοντικών συμβολαίων ενός μήνα όπως διαμορφώνεται στην Intercontinental Futures Exchange αγορά του Λονδίνου. Η τιμές αυτές έχουν μετατραπεί σε Ευρώ σύμφωνα με την αντίστοιχη τρέχουσα ημερήσια ισοτιμία Ευρώ/Αγγλικής Λίρας.

4.3. Μακροοικονομικές & Χρηματοοικονομικές Μεταβλητές

Στην βιβλιογραφία αναφέρθηκε πως οι μακροοικονομικές μεταβλητές και διάφορα μεγέθη της χρηματαγοράς έχουν επιρροή στις τιμές των πιστώσεων άνθρακα ειδικά στο ρευστό οικονομικό περιβάλλον που επικρατεί λόγω της οικονομικής ύφεσης. Στην παρούσα εργασία ως δείκτες του οικονομικού περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μεταβλητές. Ο Chevallier (2011a) επισημαίνει την σημαντικότητα της βιομηχανικής παραγωγής πάνω στο θέμα καθώς αύξηση της, αυξάνει τις εκπομπές αερίων και έτσι και την ζήτηση για δικαιώματα εκπομπής άνθρακα. Όπως και οι Bredin και Muckley (2009) έτσι και εδώ χρησιμοποιείται ο δείκτης βιομηχανικής παραγωγής της Eurostat για την Ευρωζώνη. Οι μετρήσεις του δείκτη είναι μηνιαίες και καθώς οι υπόλοιπες μεταβλητές που θα μοντελοποιηθούν έχουν ημερήσια δεδομένα χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της γραμμικής παρεμβολής για τις ενδομηνιαίες ημερήσιες παρατηρήσεις όπως προτείνεται από τους Bredin και Muckley (2009). Η βιομηχανική παραγωγή αποτελεί έναν επαρκή δείκτη του μακροοικονομικού περιβάλλοντος.

Όσον αφορά μεταβλητές της χρηματαγοράς ο Chevallier (2009) χρησιμοποιεί τον δείκτη Euronext 100. Αποτελεί ένα κοινό μετοχικό χαρτοφυλάκιο των μεγαλύτερων και πιο ρευστοποιήσιμων μετοχών της Ευρωζώνης, που συναλλάσσονται στο Euronext και καλύπτει το 80% της συνολικής κεφαλαιοποίησης του. Αποτελεί δείκτη της πορείας της χρηματαγοράς καθώς ένας από τους παράγοντες που επηρεάστηκαν έντονα με το ξέσπασμα της οικονομικής κρίσης είναι οι αποδόσεις των μετοχών. Τέλος, χρησιμοποιεί τον S&P Goldman Sachs Commodity Index (Δείκτης Εμπορευμάτων της Goldman Sachs για τον S&P). Ο δείκτης αυτός περιλαμβάνει τις αποδόσεις των πιο ρευστοποιήσιμων 24 μελλοντικών συμβολαίων εμπορευμάτων σε κλάδους όπως της ενέργειας, σιτηρών, βιομηχανικών και πολύτιμων μετάλλων. Θεωρείται ως ένα αναγνωρίσιμο μέτρο για τις κινήσεις των τιμών και του πληθωρισμού της παγκόσμιας οικονομίας. Αντιπροσωπεύει το βήτα της αγοράς λόγω του ότι λειτουργεί ως χαρτοφυλάκιο της αγοράς και παρουσιάζει χαμηλές συσχετίσεις με άλλες κατηγορίες αξιολογούμενων.

4.4. Περιγραφικά Στατιστικά

Στον Πίνακα 4 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους του κεφαλαίου και χρησιμοποιήθηκαν στην διαδικασία μοντελοποίησης που θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια. Οι μεταβλητές είναι: Eua: δικαιώματα εκπομπής άνθρακα του EU ETS, Oil: αργό πετρέλαιο, Ngas: φυσικό αέριο, Coal: κάρβουνο, Elec: ηλεκτρική ενέργεια, IndPr: βιομηχανική παραγωγή, Eu100: Euronext 100, Gsci: Goldman Sachs Commodity Index.

Πίνακας 4: Περιγραφικά Στατιστικά της Εμπειρικής Ανάλυσης

	Eua	Oil	Ngas	Coal	Elec	IndPr	Eu100	Gsci
Mean	14.13	89.92	49.12	102.94	51.39	100.95	641.62	4997.41
Median	14.19	85.59	54.33	97.33	45.3	102.36	648.52	4647.7
Max	27.3	146.08	85.26	217.75	116.22	112.94	895.02	10898.1
Min	6.29	36.61	20.1	51.75	32.89	90.23	434.61	3200.26
Std.Dev.	4.485	24.955	14.768	32.482	20.165	5.519	77.738	1432.58
Skew.	0.851	-0.073	-0.251	1.242	1.982	-0.144	0.191	2.452
Kurt.	4.303	2.042	2.035	4.69	6.47	6.47	3.348	8.904
N	927	927	927	927	927	927	927	927

Std.Dev.: Standard Deviation, Skew.: Skewness, Kurt.: Kurtosis, N: Observations Number

5. Οικονομετρική Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφούν τα οικονομετρικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να εξαχθούν απαντήσεις για την σχέση μεταξύ των μεταβλητών που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 4 και για το αν μπορούν να επηρεαστούν οι αποδόσεις των δικαιωμάτων εκπομπής από τις υπόλοιπες βασικές μεταβλητές.

Στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου θα αναλυθούν αρκετές μαθηματικές έννοιες της οικονομετρίας με έμφαση στην ανάλυση χρονοσειρών. Θα περιγραφεί η γραμμική παλινδρόμηση, η έννοια του structural break, βασικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών όπως οι μοναδιαίες ρίζες, η στασιμότητα, η συνολοκλήρωση, η αιτιότητα και τα μοντέλα GARCH που έχουν χρησιμοποιηθεί στην βιβλιογραφία του θέματος. Στο δεύτερο και τελευταίο μέρος του κεφαλαίου θα γίνει μια σύντομη περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθείται στην εργασία αφού έχουν ήδη περιγραφεί τα οικονομετρικά εργαλεία και τα στοιχεία που θα επεξεργαστούν.

5.1. Οικονομετρική Ανάλυση

5.1.1. Γραμμική Παλινδρόμηση

Η ανάλυση παλινδρόμησης είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία της στατιστικής με ευρεία εφαρμογή στην χρηματοοικονομική οικονομετρία. Χρησιμοποιείται για να περιγράψει και να αξιολογήσει τη σχέση μεταξύ χρηματοοικονομικών μεταβλητών καθώς και για την πραγματοποίηση προβλέψεων. Η γραμμική παλινδρόμηση συμπεριλαμβάνει μια σειρά από ελέγχους για το κατά πόσο μια εξαρτημένη μεταβλητή (Y) επηρεάζεται από μια ομάδα ανεξάρτητων μεταβλητών (X). Αν η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι μία τότε έχουμε μονομεταβλητή γραμμική παλινδρόμηση, αλλιώς αν έχουμε περισσότερες η γραμμική παλινδρόμηση θεωρείται πολυμεταβλητή. Ο όρος “γραμμική” αφορά την διαδικασία με την οποία προκύπτουν οι συντελεστές σε ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης καθώς προσαρμόζεται ένα γραμμικό μοντέλο στα δεδομένα του δείγματος. Θεωρούμε την ακόλουθη γραμμική σχέση:

$$y_i = \beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \dots + \beta_k x_{ki} + e_i \Leftrightarrow Y_i = X'_i \beta + e_i, \quad i=1,2,\dots,n$$

όπου $X_i = [1, x_{2i}, x_{3i}, \dots, x_{ki}]'$ είναι ένα $k \times 1$ διάνυσμα ανεξάρτητων επεξηγηματικών μεταβλητών, $\beta = [\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k]'$ είναι το $k \times 1$ διάνυσμα των συντελεστών της γραμμικής σχέσης που πρέπει να εκτιμηθούν μέσω της παλινδρόμησης και δείχνουν το κατά πόσο κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή x_{ij} που επηρεάζει την εξαρτημένη. e_i είναι οι όροι σφάλματος. Σε μορφή πινάκων το μοντέλο είναι:

$$Y = X\beta + e$$

με Y και β να είναι $n \times 1$ διανύσματα και X ένας $n \times k$ πίνακας, με n ο αριθμός των παρατηρήσεων του δείγματος και k ο αριθμός των προς εκτίμηση συντελεστών.

Οι υποθέσεις που διέπουν μια ανάλυση παλινδρόμησης είναι οι εξής¹⁸:

- i. Γραμμικότητα. Η εξαρτημένη μεταβλητή (Y) προκύπτει ως γραμμική συνάρτηση των ανεξάρτητων μεταβλητών (X) και του όρου σφάλματος (e).

¹⁸ Kozhan (2010)

- ii. Αυστηρή Εξωγένεια. Ο διαταρακτικός όρος σφάλματος e_i είναι μια ανεξάρτητα και ταυτόνομα κατανομημένη (iid) τυχαία μεταβλητή που λαμβάνει θετικές και αρνητικές τιμές, με μέση τιμή 0 και σταθερή διακύμανση σ^2 .
- iii. Ανεξαρτησία. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές δεν συσχετίζονται με τον διαταρακτικό όρο: $E[X_i e_i] = 0$ για όλα τα $i = 1, 2, \dots, n$.
- iv. Μη ύπαρξη Πολυσυγγραμικότητας. Οι μεταβλητές που εμπεριέχονται στον πίνακα X είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Δηλαδή καμία στήλη του πίνακα X των ανεξάρτητων μεταβλητών δεν μπορεί να γραφτεί ως γραμμικός συνδυασμός κάποιων άλλων. Ο βαθμός του X με διαστάσεις $n \times k$ πρέπει να είναι k με πιθανότητα 1, δηλαδή, $\text{rank}(X) = k$.

Συνεπώς αν ισχύουν οι παραπάνω υποθέσεις τότε μπορούμε να εφαρμόσουμε την μέθοδο εκτίμησης των ελαχίστων τετραγώνων (Ordinary Least Squares, OLS). Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή ελαχιστοποιούμε το άθροισμα των τετραγώνων των καταλοίπων e_i (residual sum of squares, RSS) με χρήση συνθηκών πρώτης και δεύτερης τάξης. Το μοντέλο εκτίμησης που προκύπτει είναι της μορφής:

$$\hat{Y}_i = X'_i \hat{\beta} + \hat{e}_i, \quad \text{με } i = 1, 2, \dots, n$$

όπου τα $\hat{\beta}$ προκύπτουν μέσω των συνθηκών πρώτης και δεύτερης τάξης από τη σχέση:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y$$

και με $\hat{e}_i = Y_i - \hat{Y}_i = Y_i - X'_i \hat{\beta}$, δηλαδή τα σφάλματα είναι η διαφορά των πραγματικών τιμών με τις εκτιμημένες τιμές των εξαρτημένων όπως προκύπτουν από την γραμμική σχέση των εκτιμημένων συντελεστών β της παλινδρόμησης και των ανεξάρτητων μεταβλητών. Ο αμερόληπτος εκτιμητής της διακύμανσης των σφαλμάτων είναι $\hat{\sigma}^2 = \frac{\hat{e}'\hat{e}}{n-k}$.

Με την ισχύ των παραπάνω υποθέσεων οι OLS εκτιμητές $\hat{\beta}_i$ αποδεικνύεται ότι είναι συνεπείς και με ασυμπτωτική κανονική κατανομή. Συνεπώς εκτίμηση του πίνακα διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων των εκτιμημένων παραμέτρων είναι ο $\text{Var}[\hat{\beta}] = \hat{\sigma}^2(X'X)^{-1}$, με τα διαγώνια στοιχεία του να αποτελούν τις διακυμάνσεις και τα υπόλοιπα στοιχεία τις συνδιακυμάνσεις. Η τετραγωνική ρίζα των διαγώνιων στοιχείων του πίνακα είναι οι τυπικές αποκλίσεις των $\hat{\beta}_i$, $\text{se}[\hat{\beta}_i]$.

Το μέτρο που δείχνει το πόσο καλή είναι η παλινδρόμηση είναι ο συντελεστής R^2 και δίνεται από την σχέση:

$$R^2 = 1 - \frac{\text{RSS}}{\text{TSS}}$$

με $\text{RSS} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ και $\text{TSS} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$. Ο συντελεστής δείχνει το ποσοστό της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής Y που εξηγείται από τις ανεξάρτητες X . Ως ποσοστό λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$. Το μειονέκτημα του συντελεστή είναι πως ποτέ δεν ελαττώνεται όσες ανεξάρτητες μεταβλητές και αν προστεθούν στο μοντέλο ακόμα και με μικρή πληροφοριακή ισχύ. Δηλαδή, επειδή βασικός σκοπός της οικονομετρικής μοντελοποίησης είναι η δημιουργία απλών και κατανοητών υποδειγμάτων, ο R^2 αυξάνεται πλασματικά με την συνεχή προσθήκη ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο. Για το λόγο αυτό προκύπτει ο διορθωμένος συντελεστής R^2 που λαμβάνει υπ' όψιν του τους βαθμούς ελευθερίας (παρατηρήσεις – παράμετροι προς εκτίμηση) και δίνεται από την σχέση:

$$\text{adj}R^2 \text{ ή } \bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-k}$$

Το $\text{adj}R^2$ μπορεί και να μειωθεί με την προσθήκη μεταβλητών στο μοντέλο αν έχουν μικρή πληροφοριακή ισχύ και μπορεί να πάρει αρνητικές τιμές ενώ είναι πάντα μικρότερο ή ίσο του R^2 . Αποτρέπει την δημιουργία πολύπλοκων υποδειγμάτων με πολλές ανεξάρτητες παραμέτρους που προσφέρουν πλασματική πληροφόρηση. Δίνει έμφαση σε απλά και μικρά υποδείγματα με μεγάλη πληροφοριακή ισχύ.

5.1.2. Έλεγχος Υποθέσεων

Βασικό χαρακτηριστικό της ανάλυσης παλινδρόμησης είναι η δυνατότητα να ελέγχουμε πότε ένας συντελεστής $\hat{\beta}_i$ μπορεί να είναι μηδέν, που σημαίνει ότι η μεταβλητή του X_i δεν προσφέρει καμία πληροφορία στο μοντέλο για την μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής και θα ήταν καλό να αφαιρεθεί. Έτσι προκύπτει ο έλεγχος υποθέσεων. Έστω ότι έχουμε την ακόλουθη μηδενική υπόθεση:

$$H_0: \hat{\beta}_i = \beta_i^0$$

όπου στην θέση του β_i^0 μπορούμε να έχουμε οποιονδήποτε αριθμό που θέλουμε να ελέγξουμε αν το $\hat{\beta}_i$ είναι ίσος του. Ο πιο συνηθισμένος έλεγχος, όπως αναφέρθηκε είναι το $\hat{\beta}_i$ να είναι ίσο με το 0. Ο έλεγχος της υπόθεσης επιτυγχάνεται με την βοήθεια ενός στατιστικού ελέγχου (t-statistic) που δίνεται από την σχέση:

$$t = \frac{\hat{\beta}_i - \beta_i^0}{\text{se}[\hat{\beta}_i]},$$

που ακολουθεί ασυμπτωτικά την κανονική κατανομή $N(0,1)$ υπό την μηδενική υπόθεση. Με την επιπλέον υπόθεση ότι οι όροι σφάλματος είναι iid και κατανέμονται Γκαουσιανά, και οι εκτιμήσεις $\hat{\beta}_i$ κανονικά, τότε το στατιστικό t ακολουθεί την κατανομή Student's t με βαθμούς ελευθερίας $n-k$ ¹⁹.

Σε κάθε έλεγχο η τιμή του στατιστικού t συγκρίνεται με μια δεδομένη κριτική τιμή που εξαρτάται από τους βαθμούς ελευθερίας και από την σύγκριση μέσω της κατανομής του t προκύπτει η πιθανότητα να είναι ορθή η μηδενική υπόθεση και αντίστοιχα η πιθανότητα που επιτρέπει την απόρριψη της. Συγκεκριμένα λαμβάνουμε την πιθανότητα η τιμή ελέγχου β_i^0 να βρίσκεται στο διάστημα:

$$P(\hat{\beta}_i - \text{se}[\hat{\beta}_i] t_{n-k,\lambda/2} < E[\beta_i] < \hat{\beta}_i + \text{se}[\hat{\beta}_i] t_{n-k,\lambda/2})$$

με $\lambda=(1-\alpha)/2$ και το α είναι το επίπεδο εμπιστοσύνης που ορίζει ο ερευνητής στην παλινδρόμηση, ανάλογα με το πόσο αυστηρός είναι στους ελέγχους του. Συνήθεις τιμές για το α είναι 99%, 95% και 90% σε φθίνουσα σειρά με την αυστηρότητα που θέτει ο ερευνητής.

Η γενική περίπτωση του ελέγχου υποθέσεων αφορά τον ταυτόχρονο έλεγχο όλων των συντελεστών β σε μορφή διανύσματος, αν ισούται με ένα άλλο διάνυσμα συγκεκριμένων τιμών που ο κάθε ερευνητής θέλει να ελέγξει. Ο έλεγχος αυτός έχει την μορφή:

$$H_0: R\beta = r$$

¹⁹ Kozhan (2010)

με R έναν $m \times k$ πίνακα συντελεστών βαθμού m και r ένα $m \times 1$ διάνυσμα που αποτελεί τις τιμές με τις οποίες ελέγχουμε τα β για ισότητα. Ο έλεγχος γίνεται με το στατιστικό Wald:

$$F = \frac{(R\hat{\beta} - r)'(R(X'X)^{-1}R')(R\hat{\beta} - r)}{\text{Var}[\hat{\sigma}^2]}$$

Υπό την μηδενική υπόθεση το Wald στατιστικό ακολουθεί ασυμπτωτικά την κατανομή χ^2 με m βαθμούς ελευθερίας, ενώ με Γκαουσιανή κατανομή των καταλοίπων ακολουθεί την κατανομή $F_{m, n-k}$.

Όταν ο έλεγχος γίνεται για να διαπιστώσουμε αν όλοι οι συντελεστές β (εκτός του σταθερού όρου) είναι ταυτόχρονα ίσοι με το 0 τότε χρησιμοποιείται το στατιστικό F :

$$F = \frac{\text{ESS}(n-k-1)}{\text{RSS}(k)} = \frac{R^2}{(1-R^2)} \frac{n-k-1}{k}$$

με $\text{ESS} = \text{TSS} - \text{RSS}$, και το F στατιστικό να ακολουθεί κατανομή $F_{k, n-k-1}$ υπό την μηδενική υπόθεση ότι κανένας συντελεστής δεν είναι στατιστικά σημαντικός.

5.1.3. Εισαγωγή στην Ανάλυση Χρονολογικών Σειρών

Χρονολογικές σειρές ή χρονοσειρές είναι ο κλάδος της οικονομετρίας που αναπτύχθηκε από την ανάγκη για μοντελοποίηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα οικονομικά δεδομένα. Στην οικονομική θεωρία οι μεταβλητές δεν επιδρούν ακαριαία, απαιτούν χρόνο και οι επιδράσεις τους παραμένουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Γι' αυτό αναπτύχθηκε ο κλάδος των χρονοσειρών. Γενικά ως χρονοσειρά ορίζουμε μια ακολουθία αριθμητικών δεδομένων που αποτελούν παρατηρήσεις για συγκεκριμένα μεγέθη (οικονομικά, χρηματοοικονομικά κτλ) και μετριοούνται ως συνάρτηση του χρόνου. Η συχνότητα αυτών των παρατηρήσεων μπορεί να είναι ετήσια, τριμηνιαία, μηνιαία, ημερήσια κτλ.

Ο μαθηματικός ορισμός της χρονοσειράς είναι ο ακόλουθος: Χρονοσειρά είναι η πραγματοποίηση μια τυχαίας διαδικασίας $\{X_t, t \in Z\}$ που ορίζεται στον χώρο πιθανότητας $\{\Omega, F, P\}$ με Ω ένα σύνολο πιθανών συνδυασμών (δειγματικό χώρο). Άρα αν $\omega \in \Omega \Rightarrow \{X_t(\omega) \equiv x_t\}$ είναι η πραγματοποίηση της τυχαίας διαδικασίας. F είναι σ -άλγεβρα δηλαδή υποσύνολο των υποσυνόλων του Ω και αποτελείται από όλα τα σύνολα για τα οποία ορίζεται το μέτρο πιθανότητας τους. Δηλαδή αν $A \in F$ τότε ορίζεται το $P(A)$, με P μέτρο πιθανότητας με τις εξής ιδιότητες: $P(\emptyset) = 0, P(\Omega) = 1, \forall A \in \Omega \Rightarrow P(A) \geq 0$. Το $\{X_t(\omega)\}$ δεν είναι τυχαίο και $\forall \omega^* \neq \omega \in \Omega \Rightarrow X_t(\omega^*) \neq X_t(\omega)$ αλλά όχι κατ' ανάγκη, όμως έχει παρεμφερείς ιδιότητες με το $X_t(\omega)$ υποχρεωτικά.

Οι χρονοσειρές διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες με βάση τις στατιστικές ιδιότητες που παρουσιάζει ο μέσος, η διακύμανση και η συνδιακύμανση των τιμών τους:

1. Μη στάσιμες χρονοσειρές. Καλούνται αυτές που οι προαναφερόμενες στατιστικές τους ιδιότητες μεταβάλλονται με τον χρόνο και η μοντελοποίηση τους οδηγεί σε πλασματικά συμπεράσματα, στην ουσία "ακυρώνει" τους οικονομετρικούς ελέγχους.
2. Στάσιμες χρονολογικές σειρές.

Στάσιμη λέγεται μια χρονοσειρά όταν η τιμή της ταλαντεύεται εκατέρωθεν της μέσης τιμής της προσεγγιστικά, μέσα σε ένα σταθερό διάστημα και τείνει στην μέση τιμή της. Επομένως, μια χρονοσειρά είναι στάσιμη αν:

- i. Η μέση τιμή της σειράς είναι σταθερή και δεν μεταβάλλεται διαχρονικά:
 $E(Y_t) = E(Y_{t-1}) = \dots = E(Y_{t-T}) = \mu$.
- ii. Η διακύμανση της σειράς είναι σταθερή και δεν μεταβάλλεται διαχρονικά:
 $\text{Var}(Y_t) = \text{Var}(Y_{t-1}) = \dots = \text{Var}(Y_{t-T}) = \sigma^2 = \gamma_0$.
- iii. Η συνδιακύμανση των τιμών της σειράς σε δύο χρονικά σημεία εξαρτάται μόνο από την απόσταση μεταξύ των δύο σημείων και όχι από τα χρονικά σημεία:
 $\text{Cov}(Y_t, Y_{t-i}) = \text{Cov}(Y_{(t-1)-i}, Y_{(t-2)-i}) = \dots = \text{Cov}(Y_{(t-T)}, Y_{(t-T)-i}) = \gamma_i$.
 με i θετικό ακέραιο δείκτη της απόστασης μεταξύ των χρονικών στιγμών.

Τα μ , σ^2 και γ_i είναι πεπερασμένοι αριθμοί που δεν εξαρτώνται από τον χρόνο t .

5.1.4. Αυτοσυσχέτιση

Συσχέτιση (Correlation) είναι το μέτρο που μας δείχνει τον βαθμό στον οποίο δύο μεταβλητές κινούνται ταυτόχρονα. Για δύο στοχαστικές μεταβλητές X και Y η συσχέτιση ορίζεται ως:

$$\text{Corr}(X, Y) = \rho_{X,Y} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}}$$

Όπως γίνεται εμφανές ο συντελεστής συσχέτισης $\rho_{X,Y} \in [0, 1]$. Η συσχέτιση βρίσκεται στην “καρδιά” της γραμμικής παλινδρόμησης αφού μας δείχνει τις δυναμικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Επιπλέον, το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης μας δίνει τον συντελεστή R^2 της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των μεταβλητών X και Y :

$$\rho_{X,Y}^2 = R^2$$

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (Autocorrelation) μιας χρονολογικής σειράς περιγράφει τις βραχυπρόθεσμες δυναμικές σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των παρατηρήσεων της σειράς, σε αντίθεση με την τάση της που παρουσιάζει την μακροπρόθεσμη συμπεριφορά της σειράς. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης σε μια χρονολογική σειρά $\{Y_t\}$ ορίζεται ως εξής:

$$\rho_i = \frac{\gamma_i}{\gamma_0} = \frac{\text{Cov}(Y_t, Y_{t-i})}{\sqrt{\text{Var}(Y_t)\text{Var}(Y_{t-i})}}$$

Με βάση τον συντελεστή αυτοσυσχέτισης, μια χρονολογική σειρά είναι:

1. Στάσιμη, αν η τιμή του συντελεστή τείνει στο μηδέν όσο η χρονική υστέρηση τείνει στο άπειρο, δηλαδή, $\rho_i \rightarrow 0$ όσο $i \rightarrow \infty$.
2. Μη στάσιμη, αν η απόλυτη τιμή του συντελεστή τείνει στην μονάδα όσο η χρονική υστέρηση τείνει στο άπειρο, δηλαδή, $|\rho_i| \rightarrow \infty$ όσο $i \rightarrow \infty$.

Οι πιο απλές δυνατές αυτοσυσχετίσεις προκύπτουν από μια στάσιμη διαδικασία με μη συσχετιζόμενες τυχαίες μεταβλητές ως παρατηρήσεις. Μια τέτοια διαδικασία $\{e_t\}$ καλείται Λευκός Θόρυβος και έχει τις εξής ιδιότητες:

- $E(e_t) = 0$
- $\text{Var}(e_t) = \sigma^2$
- $\text{Cov}(e_t, e_{t-i}) = 0, i \neq 0$
- $\rho_0 = 1$
- $\rho_i = 0, i > 0$

Η μερική αυτοσυσχέτιση ρ_i μιας χρονοσειράς $\{Y_t\}$ μετρά την συσχέτιση που έχει η παρατήρηση Y_t με την παρατήρηση που βρίσκεται i χρονικές υστερήσεις μακριά, χωρίς την

επιρροή από τις συσχετίσεις με τις ενδιάμεσες παρατηρήσεις. Αυτό επιτυγχάνεται εύκολα καθώς ο συντελεστής μερικής αυτοσυσχέτισης ισούται με τον συντελεστή β_i της Y_{t-i} σε μια παλινδρόμηση της Y_t με όλες της παρατηρήσεις έως και την Y_{t-i} .

Η συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης περιλαμβάνει όλους τους συντελεστές μερικής αυτοσυσχέτισης για την χρονοσειρά Y_t .

Τα διαγράμματα των συναρτήσεων αυτοσυσχέτισης (AC) και μερικής αυτοσυσχέτισης (PAC) είναι ουσιώδη στην μελέτη και στην μοντελοποίηση μιας χρονοσειράς για λόγους που αναλύονται στην επόμενη παράγραφο.

5.1.5. Στοχαστικά Υποδείγματα

Η μεγαλύτερη και βασικότερη κατηγορία μοντέλων χρονολογικών σειρών είναι τα στοχαστικά υποδείγματα. Τα κυριότερα από αυτά είναι τα υποδείγματα: Λευκού Θορύβου, Τυχαίας Διαδρομής, Αυτοπαλίνδρομα, Κινητού Μέσου και Αυτοπαλίνδρομα-Κινητού Μέσου.

a. Υποδείγματα Λευκού Θορύβου

Μία χρονοσειρά $\{Y_t\}$ αποτελεί στοχαστικό υπόδειγμα Λευκού Θορύβου (White Noise) αν χαρακτηρίζεται από τις εξής ιδιότητες:

- i. Η μέση τιμή της σειράς είναι σταθερή: $E(Y_t) = E(Y_{t+i}) = E(Y_{t-i}) = \mu$.
- ii. Η διακύμανση της σειράς είναι σταθερή: $\text{Var}(Y_t) = \text{Var}(Y_{t+i}) = \text{Var}(Y_{t-i}) = \sigma^2$.
- iii. Οι μερικοί συντελεστές αυτοσυσχέτισης είναι μηδενικοί: $\text{Cov}(Y_t, Y_{t+i}) = \text{Cov}(Y_t, Y_{t-i}) = 0$

Τα υποδείγματα Λευκού Θορύβου είναι πάντα στάσιμα, όμως λόγω του ότι αποτελούν τυχαία στοχαστικά υποδείγματα χωρίς ύπαρξη δυναμικών σχέσεων μεταξύ των παρατηρήσεων, δεν επιδέχονται μοντελοποίησης. Η υπόθεση (ii) της γραμμικής παλινδρόμησης απαιτεί τα κατάλοιπα της να είναι λευκός θόρυβος, δηλαδή, τυχαίες αποκλίσεις από τις προβλεπόμενες τιμές του υποδείγματος της παλινδρόμησης που δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν και η πληροφόρηση τους δεν περιέχεται σε καμία ανεξάρτητη μεταβλητή. Μια διαδικασία Λευκού Θορύβου $\{e_t\}$ μηδενικού μέσου, $e_t \sim \text{WN}(0, \sigma^2)$, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή νέων χρονολογικών σειρών και στοχαστικών διαδικασιών.

b. Υποδείγματα Τυχαίας Διαδρομής

Η στοχαστική διαδικασία μιας χρονοσειράς $\{Y_t\}$ χαρακτηρίζεται ως Τυχαία Διαδρομή (Random Walk) αν ισχύει ότι:

$$Y_t = Y_{t-1} + e_t$$

με $e_t \sim \text{WN}(0, \sigma^2)$. Οι παρατηρήσεις σε αυτής της κατηγορίας τα υποδείγματα είναι απόλυτα συσχετισμένες και η διακύμανση τους αυξάνεται με τον χρόνο. Γι' αυτούς τους λόγους είναι μη στάσιμα υποδείγματα. Επομένως η οποιαδήποτε μοντελοποίηση είναι εσφαλμένη και οι οικονομετρικοί έλεγχοι είναι πλασματικοί.

c. Αυτοπαλίνδρομο Υποδείγματα AR(p)

Το απλούστερο υπόδειγμα εξάρτησης μεταξύ δύο διαδοχικών παρατηρήσεων μιας χρονοσειράς $\{Y_t\}$ είναι το εξής:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + e_t$$

με e_t διαδικασία λευκού θορύβου. Η παραπάνω διαδικασία καλείται Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα (Autoregressive) τάξης (1) ή AR(1) και είναι στάσιμη αν ισχύει ότι $|\alpha_1| < 1$. Η γενική μορφή του υποδείματος καλείται Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα τάξης (p) ή AR(p) και είναι η εξής:

$$AR(p) = Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + e_t$$

Με χρήση του τελεστή χρονικής υστέρησης L , που ορίζεται από την σχέση $L^i Y_t = Y_{t-i}$ και εκφράζει τις παρελθοντικές τιμές της χρονοσειράς, το υπόδειγμα μετασχηματίζεται στην μορφή:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 L Y_t + \alpha_2 L^2 Y_t + \dots + \alpha_p L^p Y_t + e_t \Leftrightarrow$$

$$(1 - \alpha_1 L - \alpha_2 L^2 - \dots - \alpha_p L^p) Y_t - \alpha_0 = e_t$$

Στην μορφή αυτή ορίζεται η χαρακτηριστική εξίσωση του παραπάνω αυτοπαλίνδρομου υποδείματος ως $1 - \alpha_1 L - \alpha_2 L^2 - \dots - \alpha_p L^p = 0$ η οποία μας παρέχει πληροφορίες για την στασιμότητα του. Η πληροφορία για την στασιμότητα προέρχεται από τις ρίζες της χαρακτηριστικής εξίσωσης οι οποίες καλούνται χαρακτηριστικές ρίζες ϕ_i . Υπό την υπόθεση ότι $|L| > 1$ τότε αν $|\phi_i| > 1 \Rightarrow \sum_{i=1}^p \alpha_i < 1$ οπότε η σειρά δεν έχει μοναδιαία ρίζα και συνεπώς είναι στάσιμη.

d. Υποδείγματα Κινητού Μέσου MA(q)

Αν για μια χρονοσειρά $\{Y_t\}$ υποθέσουμε, για λόγους θεωρητικούς, ένα αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα άπειρης τάξης με φθίνοντες συντελεστές επιρροής:

$$AR(\infty) = Y_t = \alpha_0 - \alpha_1 Y_{t-1} - \alpha_1^2 Y_{t-2} - \dots + e_t$$

τότε αποδεικνύεται πως το υπόδειγμα αυτό μπορεί να γραφεί ως γραμμική συνάρτηση των τρεχόντων και των αμέσως προηγούμενων διαταραχών e_i :

$$Y_t = \alpha_0 + e_t + \beta_1 e_{t-1}$$

αυτή η διαδικασία καλείται Υπόδειγμα Κινητού Μέσου (Moving Average) τάξης 1 ή MA(1) και είναι πάντα στάσιμη αφού αποτελεί γραμμικό συνδυασμό διαδικασιών λευκού θορύβου.

Ένα υπόδειγμα MA(1) μπορεί αντίστροφα να μετατραπεί σε ένα υπόδειγμα AR(∞) το οποίο θα είναι στάσιμο μόνο αν $|\beta_1| < 1$. Η συνθήκη αυτή ονομάζεται συνθήκη αντιστρεψιμότητας.

Συγκρίνοντας τα δύο παραπάνω υποδείγματα βλέπουμε πως ένα σοκ e_t σε μια διαδικασία MA(1) επηρεάζει την Y_t σε δύο μόνο μελλοντικές χρονικές παρατηρήσεις, ενώ αντίστοιχα το ίδιο σοκ σε μια διαδικασία AR(∞) επηρεάζει όλες τις μελλοντικές χρονικές παρατηρήσεις με φθίνοντα, όμως, ρυθμό. Στην γενική της μορφή μια διαδικασία κινητού μέσου είναι:

$$Y_t = \alpha_0 + e_t + \beta_1 e_{t-1} + \dots + \beta_q e_{t-q}$$

και καλείται Υπόδειγμα Κινητού Μέσου (Moving Average) τάξης q ή MA(q).

e. Αυτοπαλίνδρομο – Κινητού Μέσου Υποδείγματα ARMA(p,q)

Για καλύτερη μοντελοποίηση μιας χρονολογικής σειράς $\{Y_t\}$ μπορούν να συνδυαστούν το αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα μαζί με του κινητού μέσου σε ένα ARMA(p,q) μοντέλο με την εξής γενική μορφή:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + e_t + \beta_1 e_{t-1} + \dots + \beta_q e_{t-q}$$

Με χρήση του τελεστή χρονικής υστέρησης το υπόδειγμα μπορεί να γραφτεί σε πιο συνοπτική μορφή:

$$A(L)Y_t = B(L)e_t$$

με

$$A(L) = 1 - \alpha_1 L - \alpha_2 L^2 - \dots - \alpha_p L^p$$

$$B(L) = 1 - \beta_1 L - \beta_2 L^2 - \dots - \beta_q L^q$$

Για την στασιμότητα του υποδείματος απαιτείται οι χαρακτηριστικές ρίζες του πολυώνυμου $A(L)$ να είναι εκτός του μοναδιαίου κύκλου, δηλαδή σε απόλυτη τιμή μεγαλύτερες της μονάδας. Η ίδια συνθήκη πρέπει να ισχύει για το πολυώνυμο $B(L)$ έτσι ώστε το υπόδειγμα να αντιστρέφεται.

Για τον εντοπισμό σε ποιά από τις παραπάνω κατηγορίες στοχαστικών υποδειμάτων ανήκει μια χρονοσειρά, ώστε να μοντελοποιηθεί κατάλληλα, χρησιμοποιείται η μεθοδολογία των Box και Jenkins (1976). Με βάση την μεθοδολογία αυτή οι πληροφορίες που χρειάζονται για την εξακρίβωση ποιός διαδικασίας ακολουθεί μια χρονοσειρά παρέχονται από τα διαγράμματα αυτοσυσχέτισης (AC) και μερικής αυτοσυσχέτισης (PAC) της. Ο παρακάτω Πίνακας 5 παρουσιάζει μια συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας των Box και Jenkins.

Πίνακας 5: Μεθοδολογία των Box και Jenkins

Σχήμα Συνάρτησης Αυτοσυσχέτισης AC	Ενδεικτικό Υπόδειγμα
Εκθετικά μειούμενη προς το μηδέν	AR, η τάξη του συμπεραίνεται από τις ακραίες τιμές του PAC
Θετικές και Αρνητικές τιμές με μείωση προς το μηδέν	AR, η τάξη του συμπεραίνεται από τις ακραίες τιμές του PAC
Μία ή περισσότερες ακραίες τιμές και οι υπόλοιπες σχεδόν μηδενικές	MA, η τάξη του συμπεραίνεται εκεί που μηδενίζονται οι τιμές του AC
Μείωση μετά από χρονικές υστερήσεις	ARMA
Όλες οι τιμές σχεδόν μηδέν	Τυχαίο υπόδειγμα, δεν επιδέχεται μοντελοποίησης
Υψηλές τιμές ανά διαστήματα	Περιοδικότητα, η σειρά περιέχει περιοδικό αυτοπαλίνδρομο όρο
Χωρίς μείωση προς το μηδέν	Μη στάσιμη χρονοσειρά

5.1.6. Έλεγχοι Μοναδιαίας Ρίζας και Βαθμός Ολοκλήρωσης

Αν υποθέσουμε μια χρονολογική σειρά που είναι στην μορφή:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + u_t, \text{ με } u_t = \rho u_{t-1} + e_t$$

Οι έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας βασίζονται στον έλεγχο μιας μηδενικής υπόθεσης ότι $H_0: \rho = 1$ με την εναλλακτική $H_1: \rho < 1$. Η ονομασία τους προέρχεται από τον λόγο ότι η μηδενική τους υπόθεση ελέγχει την ισότητα της ρίζας του χαρακτηριστικού πολυωνύμου με την μονάδα. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό μια χρονοσειρά με μοναδιαία ρίζα είναι μη στάσιμη. Για τον λόγο αυτό οι έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας αποτελούν την πιο διαδεδομένη μέθοδο για τον έλεγχο της στασιμότητας μιας χρονοσειράς. Οι κυριότεροι έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας είναι οι ακόλουθοι:

a. Έλεγχος Dickey-Fuller

Έστω ότι η χρονοσειρά $\{Y_t\}$ ακολουθεί το υπόδειγμα:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t \Leftrightarrow \Delta Y_t = (1-\rho)Y_{t-1} + u_t$$

με $u_t \sim \text{NIID}(0, \sigma^2)$, δηλαδή ακολουθία τυχαίων μεταβλητών. Αν εκτιμηθεί το παραπάνω υπόδειγμα με OLS και βρεθεί ότι $\rho = 1$ τότε συμπεραίνουμε πως η χρονοσειρά έχει μοναδιαία ρίζα και συνεπώς δεν είναι στάσιμη. Δηλαδή ο έλεγχος συνοψίζεται στις υποθέσεις $H_0: \rho = 1$ έναντι $H_1: \rho < 1$.

b. Επασυζημένος Έλεγχος Dickey-Fuller (Augmented Dickey-Fuller)

Αποτελεί γενικευμένη περίπτωση του DF ελέγχου με την διαφορά ότι ο ADF περιλαμβάνει έναν αριθμό υστερήσεων της εξαρτημένης μεταβλητής Y_t σκοπός των οποίων είναι η διόρθωση για τυχόν λανθασμένη εξειδίκευση του υποδείγματος. Η γενική μορφή του είναι:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \delta Y_{t-1} + \alpha_i \sum_{i=1}^s \Delta Y_{t-i} + u_t$$

με $\delta = \rho - 1$ και t : δείκτης χρόνου. Ο έλεγχος επικεντρώνεται στην στατιστική σημαντικότητα του συντελεστή δ και επομένως αν η μηδενική υπόθεση δεν μπορεί να απορριφθεί τότε η χρονοσειρά δεν είναι στάσιμη.

c. Έλεγχος Phillips-Perron

Ο έλεγχος ADF διορθώνει το πρόβλημα που παρουσιάζεται στον έλεγχο DF σε περίπτωση που η εξεταζόμενη χρονοσειρά έχει αυτοσυσχετίσεις υψηλότερες της μίας τάξης. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή χρονικών υστερήσεων της χρονοσειράς στην εξίσωση παλινδρόμησης του ελέγχου. Ο έλεγχος Phillips-Perron διορθώνει το ίδιο πρόβλημα χρησιμοποιώντας, όμως, μια μη παραμετρική διόρθωση στις ελεγχοσυναρτήσεις t-test του ελέγχου DF. Η παλινδρόμηση του ελέγχου είναι η εξής:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \phi Y_{t-1} + u_t$$

και ο έλεγχος, όπως και στον ADF επικεντρώνεται στην στατιστική σημαντικότητα του συντελεστή ϕ . Το βασικό πλεονέκτημα του ελέγχου PP, έναντι του ADF, είναι πως τα αποτελέσματα του είναι ανθεκτικότερα σε αυτοσυσχετίσεις ή ετεροσκεδαστικότητα του διαταρακτικού όρου χάρη στις διορθωμένες ελεγχοσυναρτήσεις του. Το δεύτερο πλεονέκτημα του είναι ότι παρέχει στον ερευνητή τις ενδεικτικές χρονικές υστερήσεις που

πρέπει να συμπεριλάβει στην μοντελοποίηση της εκάστοτε χρονοσειράς, ώστε να μην αποτελεί πανάκεια η μεθοδολογία των Box-Jenkins.

d. Βαθμός Ολοκλήρωσης

Ο πρώτος έλεγχος που πρέπει να γίνει για την μοντελοποίηση μιας χρονοσειράς είναι να βρεθεί ο αριθμός των μοναδιαίων ριζών της. Δηλαδή πρέπει να βρεθούν οι ρίζες του χαρακτηριστικού πολυωνύμου της. Ο αριθμός των μοναδιαίων ριζών του χαρακτηριστικού πολυωνύμου είναι και ο αριθμός των διαφορών που θα πρέπει να εφαρμόσουμε στις παρατηρήσεις της χρονοσειράς για να μετατραπεί σε στάσιμη.

Μια χρονοσειρά $\{Y_t\}$ αν έχει p μοναδιαίες ρίζες τότε είναι ολοκληρωμένη βαθμού p και συμβολίζεται ως $Y_t \rightarrow I(p)$ ενώ εάν η χρονοσειρά είναι στάσιμη συμβολίζεται ως $Y_t \rightarrow I(0)$. Ο αριθμός των μοναδιαίων ριζών μιας χρονοσειράς ονομάζεται βαθμός ολοκλήρωσης της. Για την μοντελοποίηση μιας χρονοσειράς, εάν δεν είναι στάσιμη, πρώτα βρίσκουμε τον βαθμό ολοκλήρωσης της και έπειτα την εκφράζουμε σε μορφή διαφορών, δηλαδή με βαθμό ολοκλήρωσης p η Y_t εκφράζεται ως:

$$\Delta^p Y_t = Y_{t-p} - Y_{(t-p)-1}$$

με Δ^p συμβολίζεται ο τελεστής διαφορών. Για πολυμεταβλητή παλινδρόμηση απαιτείται να βρούμε τον βαθμό ολοκλήρωσης όλων των μεταβλητών και να εκφραστούν σε μορφή διαφορών ως προς τον μέγιστο βαθμό.

5.1.7. Έλεγχος Στασιμότητας

Βασικό μειονέκτημα των ελέγχων μοναδιαίας ρίζας είναι ότι πολλές φορές δεν δύναται να απορρίψουν την μηδενική υπόθεση ότι μια χρονοσειρά είναι στάσιμη με τάση ή στάσιμη σε διαφορές. Αυτό το πρόβλημα επιλύεται με τον έλεγχο στασιμότητας KPSS που μπορεί να εξετάσει άμεσα την στασιμότητα κάθε χρονοσειράς αντί για τον έμμεσο έλεγχο μέσω της μοναδιαίας ρίζας. Η χρονοσειρά στον έλεγχο διαχωρίζεται σύμφωνα με το υπόδειγμα:

$$Y_t = \alpha + \beta t + \mu_t + u_t$$

με $\mu_t = \mu_{t-1} + \varepsilon_t$ διαδικασία τυχαίου περιπάτου, $\varepsilon_t \sim WN(0, \sigma_\varepsilon^2)$ και u_t : διαταρακτικός όρος $I(0)$ που μπορεί να είναι και ετεροσκεδαστικός.

Ο έλεγχος γίνεται με βάση τη μηδενική υπόθεση $H_0: \sigma_\varepsilon^2 = 0$. Επομένως αν $\sigma_\varepsilon^2 = 0$ τότε η χρονοσειρά είναι στάσιμη με τάση και αν επιπλέον ισχύει ότι $\beta = 0$ τότε η σειρά είναι στάσιμη χωρίς τάση.

5.1.8. Δομική Διακοπή

Η δομική διακοπή (structural break) είναι ένας οικονομετρικός όρος που εκφράζει την απροσδόκητη αλλαγή στην εξέλιξη ή στην τάση σε μακροοικονομικές ή χρηματοοικονομικές χρονοσειρές. Αυτή η αλλαγή οδηγεί σε υψηλά προβλεπτικά σφάλματα και μεγάλη αναξιοπιστία των υποδειγμάτων. Ειδικότερα για γραμμικά μοντέλα με εκτίμηση OLS, όπως στην συγκεκριμένη εργασία, μια ισχυρή δομική διακοπή με έντονη αλλαγή στην τάση όπως οι κόκκινα σημειωμένες παρατηρήσεις της Εικόνας 4 στις αρχές του 2009 και στα μέσα του 2011 έχουν έντονη επιρροή στο υπόδειγμα. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι η μέθοδος OLS προσπαθεί γραμμικά να μοντελοποιήσει κάτι μη γραμμικό όπως η Εικόνα 4. Για αξιοπιστία των υποδειγμάτων χρειάζεται τομή των δειγμάτων και μοντελοποίηση πριν και μετά από

ισχυρές διακοπές. Ισχυρές διακοπές με έντονη αλλαγή τάσης είναι οι κόκκινες περιοχές της Εικόνας, ενώ η πράσινη, στην αρχή του 2010, είναι ένα παράδειγμα μιας σχετικά ασθενούς διακοπής που δεν επιφέρει έντονη αλλαγή στην εξέλιξη της χρονοσειράς. Όπως είναι εμφανές οι χρονοσειρές παρουσιάζουν συνεχώς ασθενείς διακοπές που έχουν ελάχιστη έως καθόλου επιρροή στα υποδείγματα σε σχέση με ισχυρές διακοπές που αλλάζουν την τάση.

Εικόνα 4: Ισχυρές και ασθενείς δομικές διακοπές στην τιμή των EUAs.



Στην βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί πολλές έρευνες και προτεινόμενοι έλεγχοι πάνω στις δομικές διακοπές. Οι τελευταίες προσπάθειες χρησιμοποιούν την υπολογιστικά ανεπτυγμένη τεχνολογία για την ενδογενή εκτίμηση των διακοπών από το δείγμα. Στην συγκεκριμένη εργασία θα χρησιμοποιήσουμε τον πιο διαδεδομένο εξωγενή έλεγχο για την ύπαρξη και την ισχύ των διακοπών, τον έλεγχο του Chow (1960). Με μία εξωγενώς δοσμένη διακοπή ο έλεγχος Chow εξετάζει αν οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών στα δύο γραμμικά υποδείγματα, πριν και μετά την διακοπή, είναι ίσοι. Για ένα υπόδειγμα:

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t$$

με μια εξωγενή διακοπή ο έλεγχος διαχωρίζει το δείγμα πριν και μετά την διακοπή και χρησιμοποιεί δύο υποδείγματα όπως το παραπάνω ως εξής:

$$Y_t = \alpha_1 + \beta_1 X_{1t} + \varepsilon_{1t} \text{ και } Y_t = \alpha_2 + \beta_2 X_{2t} + \varepsilon_{2t}$$

Η μηδενική υπόθεση του ελέγχου ορίζεται ως $H_0: \alpha_1 = \alpha_2$ και $\beta_1 = \beta_2$. Ανάλογα με την ισχύ απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης προκύπτει και η ισχύς της δομικής διακοπής.

5.1.9. Εισαγωγή στη Συνολοκλήρωση

Η ύπαρξη στασιμότητας στις χρονοσειρές είναι ουσιώδης για την σωστή μοντελοποίηση τους. Οικονομικά υποδείγματα που περιέχουν μη στάσιμες χρονοσειρές εμφανίζουν υψηλές τιμές στους ελέγχους σημαντικότητας των συντελεστών (t-tests) και του συνόλου του υποδείματος (F-tests). Αυτό οφείλεται στην χρονική τάση των μη στάσιμων σειρών η οποία υπερεκτιμά τον βαθμό συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών και εμφανίζει υψηλές τιμές ενώ

στην πραγματικότητα οι μεταβλητές μπορεί να είναι και ασυσχέτιστες. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται πλασματική παλινδρόμηση (spurious regression) και δίνει λανθασμένα αποτελέσματα στην εκτίμηση των υποδειγμάτων, Granger & Newbold (1973).

Η πλασματική παλινδρόμηση αντιμετωπίζεται με την μετατροπή των χρονοσειρών σε στάσιμες, όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους. Όμως, η μετατροπή μιας χρονοσειράς από μη στάσιμη σε στάσιμη οδηγεί σε απώλεια πληροφοριών σχετικά με την μακροχρόνια σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Για την αποφυγή αυτού του μειονεκτήματος δημιουργήθηκε η θεωρία της συνολοκλήρωσης. Συνολοκλήρωση είναι η ύπαρξη μακροχρόνιας γραμμικής σχέσης μεταξύ διαδικασιών.

Για να ελέγξουμε αν δύο ή περισσότερες χρονοσειρές είναι συνολοκληρώσιμες πρέπει πρώτα να έχουν τον ίδιο βαθμό ολοκλήρωσης. Έστω οι μη στάσιμες σειρές $\{Y_t, X_t\}$ που χαρακτηρίζονται από την γραμμική σχέση:

$$Y_t = a + bX_t + e_t \Leftrightarrow e_t = Y_t - a - bX_t$$

Ο Granger (1981) απέδειξε πως αν δύο $I(1)$ χρονοσειρές που διακρίνονται από μια γραμμική σχέση έχουν διαταρακτικό όρο ο οποίος είναι στάσιμος, δηλαδή $e_t \rightarrow I(0)$ τότε υφίσταται μια μακροχρόνια σχέση ισορροπίας μεταξύ των μεταβλητών. Σε αυτή την περίπτωση οι ολοκληρώσιμες πρώτου βαθμού μεταβλητές Y_t και X_t θεωρούνται συνολοκληρώσιμες. Ο διαταρακτικός όρος, εφόσον είναι στάσιμος, περιέχει την πληροφορία για την μακροχρόνια σχέση των μεταβλητών και περιλαμβάνεται ως ανεξάρτητη μεταβλητή, με μία χρονική υστέρηση, στην εκτίμηση της σχέσης των μεταβλητών αφού έχουν μετατραπεί σε στάσιμες. Ο συντελεστής του διαταρακτικού όρου στην στάσιμη πλέον σχέση φανερώνει την ταχύτητα σύγκλισης προς την ισορροπία των μεταβλητών.

a. Έλεγχος Eangle-Granger

Η περιγραφή της παραπάνω διαδικασίας για τον χειρισμό της ύπαρξης συνολοκλήρωσης είναι η βάση για τον έλεγχο των Eangle-Granger (1987). Απέδειξαν πως αν δύο μεταβλητές είναι συνολοκληρώσιμες τότε το υπόδειγμα τους δύναται να γραφτεί ως:

$$\Delta Y_t = a + b\Delta X_t + \lambda e_{t-1} + u_t, \text{ με } e_{t-1} = Y_{t-1} - a - bX_{t-1}$$

Ο έλεγχος των Eangle-Granger βασίζεται στον έλεγχο των καταλοίπων και υλοποιείται απλά σε δύο βήματα:

Βήμα 1^ο. Με χρήση OLS εκτιμάται η σχέση $Y_t = a + bX_t + e_t$ και λαμβάνουμε την εκτίμηση των καταλοίπων ως $\hat{e}_t = \hat{Y}_t - \hat{a} - \hat{b}X_t$

Βήμα 2^ο. Διερευνούμε με χρήση του ελέγχου ADF αν τα κατάλοιπα που εκτιμήθηκαν είναι στάσιμα με χρήση της σχέσης:

$$e_t = \rho e_{t-1} + u_t \Leftrightarrow \Delta e_t = \delta e_{t-1} + u_t$$

ελέγχοντας την υπόθεση $H_0: \delta = 0$ έναντι της $H_1: \delta < 0$. Απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης σημαίνει πως τα κατάλοιπα είναι στάσιμα άρα με τη σειρά τους οι μεταβλητές είναι συνολοκληρώσιμες.

b. Έλεγχος Johansen

Όταν ένα οικονομετρικό υπόδειγμα έχει περισσότερες από δύο μεταβλητές χρονοσειρών τότε για τον έλεγχο της συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών το κριτήριο του Johansen (1988) είναι το καταλληλότερο. Για ένα διάνυσμα $[X_t]$ εξεταζόμενων χρονοσειρών ολοκληρώσιμων πρώτου βαθμού το οικονομετρικό υπόδειγμα του ελέγχου με την μορφή πρώτων διαφορών είναι το ακόλουθο:

$$\Delta X_t = A + BX_t + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta X_{t-i} + E_t \quad \text{όπου}$$

X_t : διάνυσμα διάστασης $n \times 1$ $I(1)$ μεταβλητών

A: μήτρα προσδιοριστικών τάσεων

B: μήτρα συντελεστών διάστασης $n \times k$

Γ : μήτρα διάστασης $n \times k$ των παραμέτρων του πολυμεταβλητού υποδείγματος

p: χρονικές υστερήσεις

E: διάνυσμα διαταρακτικών όρων με $E_t \sim N(0, \sigma^2)$

Ο Johansen απέδειξε πως ο βαθμός του πίνακα B προσδιορίζει τον αριθμό των διανυσμάτων συνολοκλήρωσης. Δηλαδή αν:

$\text{rank}(B) = 0$ τότε οι μεταβλητές δεν είναι συνολοκληρώσιμες

$\text{rank}(B) = k$ τότε οι μεταβλητές είναι στάσιμες

$0 < \text{rank}(B) < k$ τότε οι μεταβλητές είναι συνολοκληρώσιμες

Εάν οι μεταβλητές του υποδείγματος είναι συνολοκληρώσιμες τότε η μήτρα B δύναται να γραφτεί στην μορφή: $B = ab'$ με a: μήτρα διάστασης $n \times r$ που δείχνει την ταχύτητα σύγκλισης προς την ισορροπία, r: ο αριθμός των διανυσμάτων συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών και b: μήτρα διάστασης $k \times r$ που περιέχει τις παραμέτρους των διανυσμάτων συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών. Επομένως το κριτήριο του Johansen συνοψίζεται στον έλεγχο των υποθέσεων $H_0: \text{rank}(B = ab') = r$ έναντι της $H_1: \text{rank}(B = ab') = k$.

5.1.10. Αιτιότητα

Στην οικονομική θεωρία βασικό ρόλο κατέχει η σχέση αιτιότητας μεταξύ 2 μεταβλητών. Συγκεκριμένα είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε αν μια μεταβλητή μπορεί να προκαλεί μια άλλη και να αποτελεί πηγή πρόβλεψης για την εξέλιξη της. Ο όρος της αιτιότητας για την ικανότητα πρόβλεψης στην εξέλιξη μεταβλητών εισήχθη από τον Granger (1969). Σύμφωνα με τον Granger αν η μεταβλητή X προκαλεί αιτιακά την Y, δηλαδή $X \rightarrow Y$, τότε οι παρελθοντικές τιμές της X είναι ο αιτιογενής παράγοντας για την μεταβολή των τιμών της Y.

a. Έλεγχος Αιτιότητας κατά Granger

Ο Granger διατύπωσε το Θεώρημα Αντιπροσώπευσης το οποίο συνοψίζεται ως εξής: “Εστω δύο μεταβλητές X και Y. Αν κάθε μια εκ των μεταβλητών είναι ολοκληρωμένες πρώτου βαθμού, δηλαδή $I(1)$ ενώ ταυτόχρονα αμφοτέρως είναι συνολοκληρωμένες τότε ανάμεσα στις μεταβλητές αυτές βρίσκεται μια αιτιώδης σχέση που μπορεί να διατυπωθεί μέσα από ένα Error Correction Model”. Γίνεται εμφανές από το θεώρημα ότι για την ύπαρξη αιτιότητας θα πρέπει οι μεταβλητές να είναι $I(1)$ και συνολοκληρωμένες.

Με βάση το Θεώρημα Αντιπροσώπευσης αναπτύσσεται ο έλεγχος αιτιότητας κατά Granger που εξετάζει την ορθότητα της υπόθεσης ότι η X προκαλεί την Y κατά Granger και συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα:

Βήμα 1^ο. Με χρήση κατάλληλων ελέγχων (π.χ. έλεγχος ADF) διερευνάται ο βαθμός ολοκλήρωσης των μεταβλητών X και Y . Σε περίπτωση που είναι ολοκληρωμένες πρώτου βαθμού, δηλαδή έχουν μια μοναδιαία ρίζα, τότε περνάμε στο επόμενο βήμα.

Βήμα 2^ο. Ελέγχουμε με χρήση κατάλληλων τεχνικών (π.χ. έλεγχος Engle-Granger) αν οι δύο μεταβλητές είναι συνολοκληρωμένες. Εάν είναι συνολοκληρωμένες τότε μπορούμε να τις εκφράσουμε σε ένα Error Correction Model ως εξής:

$$\Delta Y_t = \sum_{i=1}^n a_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=1}^n b_i \Delta X_{t-i} + \lambda v_{t-1} + e_{1t} \quad (1)$$

$$\Delta X_t = \sum_{i=1}^n a_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=1}^n b_i \Delta X_{t-i} + \lambda v_{t-1} + e_{2t} \quad (2)$$

με v_{t-1} ορίζεται το διάνυσμα συνολοκλήρωσης και λ είναι ο συντελεστής προσαρμογής.

Βήμα 3^ο. Με χρήση του κριτηρίου F πραγματοποιείται η διαδικασία ελέγχου των υποθέσεων:

$$H_0(1): \sum_{i=1}^n b_i = 0 \quad \text{και} \quad H_1(1): \sum_{i=1}^n b_i \neq 0 \quad \text{για την σχέση (1)}$$

$$H_0(2): \sum_{i=1}^n a_i = 0 \quad \text{και} \quad H_1(2): \sum_{i=1}^n a_i \neq 0 \quad \text{για την σχέση (2)}$$

Αν γίνουν δεκτές οι υποθέσεις:

- i. $H_0(1)$ και $H_1(2)$ τότε η Y προκαλεί κατά Granger την X .
- ii. $H_0(2)$ και $H_1(1)$ τότε η X προκαλεί κατά Granger την Y .
- iii. $H_1(1)$ και $H_1(2)$ τότε η X προκαλεί την Y και αντιστρόφως κατά Granger.
- iv. $H_0(1)$ και $H_0(2)$ τότε δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των μεταβλητών.

5.1.11. Υποδείγματα Υπό Συνθήκη Ετεροσκεδαστικότητας

Τα υποδείγματα που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους υποθέτουν ότι οι όροι σφάλματος στις εκτιμήσεις έχουν σταθερή διακύμανση δηλαδή είναι ομοσκεδαστικοί. Στην πραγματικότητα οι μακροοικονομικές και χρηματοοικονομικές χρονοσειρές υψηλής συχνότητας τείνουν να εμφανίζουν μη σταθερή διακύμανση. Συγκεκριμένα εμφανίζεται το φαινόμενο της ομαδοποιημένης διακύμανσης, δηλαδή μικρά και μεγάλα σφάλματα τείνουν να εμφανίζονται ανά ομάδες. Για να μπορέσουν να εξηγηθούν αυτά τα φαινόμενα και να υπάρξουν ακριβέστερες εκτιμήσεις των υποδειγμάτων, ο Engle (1982) εισήγαγε τα υποδείγματα υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας.

a. Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα Υπό Συνθήκη Ετεροσκεδαστικότητας ARCH(p)

Ο Engle (1982) για να εξηγήσει τις διακυμάνσεις στον πληθωρισμό της Μεγάλης Βρετανίας, χρησιμοποίησε ένα υπόδειγμα όπου επιπλέον της βασικής εξίσωσης παλινδρόμησης εκτιμάται και μια ακόμη εξίσωση που δείχνει την εξάρτηση της διακύμανσης του διαταρακτικού όρου, της βασικής παλινδρόμησης, από τις παρελθοντικές τιμές του. Αποτελεί, δηλαδή, μια αυτοπαλίνδρομη εξίσωση της διακύμανσης των σφαλμάτων από τις παρελθοντικές τιμές τους. Το υπόδειγμα αναπτύσσεται γύρω από μια στάσιμη χρονοσειρά Y_t :

$$Y_t = \mu + u_t$$

όπου μ είναι ο μέσος της χρονοσειράς, που μπορεί να περιλαμβάνει ένα υπόδειγμα χρονοσειρών, όπως εκείνα που έχουν ήδη αναλυθεί, με μια σειρά από ανεξάρτητες μεταβλητές. Ο διαταρακτικός όρος u_t αποτελεί μια ανεξάρτητη και ταυτόνομη (IID) μεταβλητή με μέσο μηδέν. Η υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητα του διαταρακτικού όρου εκφράζεται ως αυτοπαλίνδρομη εξάρτηση της διακύμανσης του από τις p παρελθοντικές τιμές του ως εξής:

$$\sigma_{u_t}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p u_{t-p}^2 \quad (1)$$

Για να δείξουμε ότι η παραπάνω σχέση είναι ένα AR υπόδειγμα βλέπουμε τις στατιστικές ιδιότητες των τετραγώνων του όρου σφάλματος δηλαδή:

$$E[u_t] = 0 \text{ και } \text{Var}_{t-1}[u_t] = E_{t-1}[u_t^2] = \sigma_t^2$$

Επομένως η εξίσωση της διακύμανσης μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$u_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p u_{t-p}^2 + e_t \quad (2)$$

με $e_t = u_t^2 - E_{t-1}[u_t^2]$ λευκός θόρυβος με μέσο μηδέν. Βλέπουμε ότι οι (1) και (2) ταυτίζονται και εκφράζουν ένα αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα που καλείται αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας. Εν συντομία γράφεται ως ARCH(p) - Autoregressive Conditional Heteroskedasticity - και εκφράζεται ως:

$$Y_t = \mu + u_t$$

$$u_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

$$\sigma_{u_t}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p u_{t-p}^2$$

όπου ε_t είναι μια κανονικής κατανομής IID τυχαία μεταβλητή.

b. Γενικό Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα Υπό Συνθήκη Ετεροσκεδαστικότητας GARCH (p, q)

Ο Bollerslev (1986) επέκτεινε τα υποδείγματα ARCH προτείνοντας μια γενική δομή τους η οποία θα μπορούσε να περιγραφεί με την δομή ενός υποδείματος ARMA. Έτσι προκύπτουν τα γενικά αυτοπαλίνδρομα υποδείγματα υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας ή εν συντομία GARCH (General ARCH). Στην γενική μορφή των ARCH η εξίσωση της διακύμανσης του διαταρακτικού όρου αντικαθιστάται από την ακόλουθη:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i u_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

Η εξίσωση αυτή εκφράζει ένα GARCH (p, q) υπόδειγμα. Αν το πλήθος q των υστερήσεων της διακύμανσης των σφαλμάτων είναι μηδέν τότε το υπόδειγμα γίνεται ARCH. Είναι προφανές ότι οι εκτιμήσεις των όρων α_i και β_j πρέπει να είναι θετικές λόγω του θετικού προσήμου της διακύμανσης. Σύμφωνα με το παραπάνω υπόδειγμα η υπό συνθήκη διακύμανση του διαταρακτικού όρου εξαρτάται από τα τετράγωνα του όρου για p παρελθοντικές περιόδους και από τις q παρελθοντικές υπό συνθήκη διακυμάνσεις. Το πιο συνηθισμένο και το πιο αντιπροσωπευτικό υπόδειγμα στην εμπειρική βιβλιογραφία είναι το GARCH (1,1), που περιέχει τρεις μόνο παραμέτρους, μαζί με τον σταθερό όρο, Hansen & Lunde (2001):

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2$$

Γνωρίζουμε από την ανάλυση του υποδείγματος ARCH ότι $E_{t-1}[u_t^2] = \sigma_t^2$ άρα το GARCH (1,1) μετασχηματίζεται ως εξής:

$$u_t^2 = \alpha_0 + (\alpha_1 + \beta_1) u_{t-1}^2 + \varepsilon_t - \beta_1 \varepsilon_{t-1}$$

Το οποίο αποτελεί ένα ARMA (1,1) υπόδειγμα, όπως αναφέρθηκε στην αρχή της περιγραφής των μοντέλων GARCH. Ο όρος $\varepsilon_t = u_t^2 - E_{t-1}[u_t^2]$ αποτελεί διαταρακτικό όρο λευκού θορύβου. Εφ' όσον το υπόδειγμα είναι ισοδύναμο με την περιγραφή ενός μοντέλου ARMA, η στασιμότητα του GARCH (1,1) απαιτεί την ικανοποίηση της συνθήκης $\alpha_1 + \beta_1 < 1$.

Για την εξακρίβωση αν απαιτείται χρήση υποδειγμάτων GARCH σε ένα υπόδειγμα υπάρχει μια απλή μεθοδολογία, Kozhan (2010). Αρχικά, εκτιμάται το γενικό υπόδειγμα που προσφέρει την εξήγηση της εξαρτημένης μεταβλητής από τις ανεξάρτητες και από οποιαδήποτε ARMA (p,q) μορφή έχει διαπιστωθεί ότι ακολουθεί. Στην συνέχεια, χρησιμοποιούμε τα διαγράμματα αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης των τετραγώνων των καταλοίπων για την εξακρίβωση πιθανής ετεροσκεδαστικότητας στον διαταρακτικό όρο. Με χρήση της μεθοδολογίας των Box και Jenkins (1976) αν τα τετράγωνα του διαταρακτικού όρου φαίνονται να ακολουθούν ένα AR υπόδειγμα τότε χρειάζεται ARCH υπόδειγμα στην εκτίμηση της εξαρτημένης. Αν ακολουθούν ARMA υπόδειγμα τότε απαιτείται GARCH υπόδειγμα για την εξήγηση της εξαρτημένης μεταβλητής. Οι τάξεις των υποδειγμάτων διαπιστώνονται από την συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης.

5.2. Μεθοδολογία της Εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι η έρευνα για το ποιές από τις βασικές μεταβλητές της βιβλιογραφίας, που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και περιλαμβάνουν ενεργειακούς και μακροοικονομικούς παράγοντες, έχουν επηρεάσει την μεταβλητότητα της απόδοσης των πιστώσεων άνθρακα EUA για την δεύτερη φάση του προγράμματος EU ETS. Η απόδοση στις χρηματοοικονομικές χρονοσειρές υπολογίζεται ως η ποσοστιαία μεταβολή στην τιμή μεταξύ δύο διαδοχικών χρονικών περιόδων:

$$\% \Delta \text{EUA}_t = \frac{\text{EUA}_t - \text{EUA}_{t-1}}{\text{EUA}_{t-1}}$$

Ισοδύναμος υπολογισμός των αποδόσεων γίνεται με χρήση του νεπέριου λογαρίθμου:

$$\% \Delta \text{EUA}_t = \ln \text{EUA}_t - \ln \text{EUA}_{t-1}$$

Γίνεται εμφανές πως με τον παραπάνω υπολογισμό των αποδόσεων αν η χρονοσειρά της τιμής περιέχει μια μοναδιαία ρίζα τότε οι αποδόσεις είναι στάσιμες.

Για την ανάλυση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιούνται οι διαφορές των λογαρίθμων των τιμών για τον υπολογισμό της απόδοσης που θα αποτελεί την εξαρτημένη μεταβλητή. Στην συνέχεια, ερευνάται ο βαθμός ολοκλήρωσης της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών με χρήση των κριτηρίων που έχουν περιγραφεί στην προηγούμενη ενότητα και μετατρέπονται οι μεταβλητές σε στάσιμες για την εκτίμηση των υποδειγμάτων. Εφ' όσον οι μεταβλητές έχουν όλες μετατραπεί σε στάσιμες είναι εφικτή η εφαρμογή των ελέγχων και των μεθόδων για την ανάλυση χρονοσειρών που έχουν περιγραφεί.

Αρχικά, στις στάσιμες μεταβλητές ελέγχονται οι συσχετίσεις που υπάρχουν μεταξύ τους για την αποφυγή κοινής πληροφόρησης μεταξύ μεταβλητών που θα προκαλέσει πολυσυγγραμμικότητα στα υποδείγματα. Στην συνέχεια, χρησιμοποιούνται οι έλεγχοι

συνολοκλήρωσης και αιτιότητας, που έχουν αναλυθεί, για να διαπιστωθούν οι σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των μεταβλητών, ως μια ειδική περίπτωση της μεθοδολογίας των Kerpler και Mansanet-Bataller (2010).

Έχοντας μια αρχική εικόνα για το ποιές μεταβλητές συμβάλλουν στην μεταβολή των αποδόσεων των EUAs εκτιμώνται γραμμικά υποδείγματα για την απόκτηση ποσοτικών αποτελεσμάτων, σύμφωνα με την μεθοδολογία των Alberola, Chevallier και Chéze (2008a). Πρώτα από όλα, χρησιμοποιείται η μεθοδολογία των Box και Jenkins για να διαπιστωθεί το είδος του στοχαστικού υποδείγματος που χρειάζεται η μοντελοποίηση των EUAs. Εκτιμάται το υπόδειγμα γραμμικής παλινδρόμησης και το υπόδειγμα δεσμευμένης ετεροσκεδαστικότητας, που απαιτείται από την μεθοδολογία, για ισχυρότερα αποτελέσματα.

Στην ανάλυση των χρονολογικών σειρών, οι έλεγχοι και τα υποδείγματα εκτιμώνται με χρήση της γραμμικής μεθόδου OLS, που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Όπως, όμως, επισημάνθηκε η απόδοση των τιμών των EUAs δεν έχει μια γραμμική τάση, αλλά παρουσιάζει δομικές διακοπές. Για ορθότερα αποτελέσματα ελέγχουμε εξωγενώς, με χρήση του ελέγχου Chow, την ισχύ των διακοπών, μέσω της στατιστικής τους σημαντικότητας. Εν συνεχεία, αφού επιβεβαιωθούν οι ισχυρές διακοπές, διαχωρίζουμε το αρχικό δείγμα των παρατηρήσεων σε τρία υποσύνολα εκατέρωθεν, χρονικά, των δομικών διακοπών, όπως και οι Alberola, Chevallier και Chéze (2008a). Τέλος, επαναλαμβάνοντας την διαδικασία για την εκτίμηση των γραμμικών υποδειγμάτων και των υποδειγμάτων δεσμευμένης ετεροσκεδαστικότητας, διαπιστώνουμε ποιές μεταβλητές επηρέασαν την απόδοση των EUAs στα χρονικά υποσύνολα του δείγματος.

Στην ανάλυση της αγοράς του EU ETS που πραγματοποιήθηκε στο 2^ο κεφάλαιο, τονίζεται ότι τα δικαιώματα εκπομπής πρέπει να παραδίδονται, από τους ρυπαντές, μια συγκεκριμένη περίοδο του χρόνου ώστε να δικαιολογηθούν οι εκπεμπόμενοι ρύποι του προηγούμενου έτους. Γίνεται εύκολα κατανοητό πως οι συναλλαγές των δικαιωμάτων θα εντείνονται όσο πλησιάζει η χρονική περίοδος παράδοσης τους, με αποτέλεσμα, που θα αντικατοπτρίζεται στις μεταβολές της τιμής τους. Στην βιβλιογραφία, που αναλύθηκε στο 3^ο κεφάλαιο, πάνω στους διαμορφωτές της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής ρύπων, δεν έχει ληφθεί υπ' όψιν η χρονική παράμετρος των συναλλαγών. Γι' αυτό τον λόγο, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται μια επιπλέον ανεξάρτητη μεταβλητή - δείκτης, που αποτελεί τον μήνα της κάθε χρονικής παρατήρησης του δείγματος, ώστε να ελεγχθεί η στατιστική σημαντικότητα των μηνών του χρόνου στη μεταβολή της τιμής.

6. Αποτελέσματα Εμπειρικής Ανάλυσης

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της οικονομετρικής ανάλυσης πάνω στα EUAs και στις ανεξάρτητες μεταβλητές, που έχουν περιγραφεί, για να εντοπιστούν ποιές από αυτές επηρέασαν την απόδοση των δικαιωμάτων στην δεύτερη περίοδο του EU ETS. Στην πρώτη ενότητα του κεφαλαίου, παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα, που έχουν παρουσιάσει οι προηγούμενες έρευνες της βιβλιογραφίας, για την επιρροή που είχαν οι συγκεκριμένες ανεξάρτητες μεταβλητές στην τιμή των πιστώσεων άνθρακα. Στην δεύτερη ενότητα, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, με το συγκεκριμένο δείγμα και την συγκεκριμένη μεθοδολογία που έχουν αναλυθεί. Τέλος, στην τρίτη ενότητα συγκρίνονται τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης με εκείνα της βιβλιογραφίας για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

6.1. Αποτελέσματα της Βιβλιογραφίας

Στον Πίνακα 6 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των μεταβλητών της παρούσας εργασίας στην διαμόρφωση της τιμής των EUAs, όπως προκύπτουν από προηγούμενες έρευνες. Συγκεκριμένα, αναφέρεται το πρόσημο της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών καθώς και η στατιστική σημαντικότητα της επιρροής τους.

Πίνακας 6: Βιβλιογραφικά Αποτελέσματα για την Επιρροή των Μεταβλητών στην Εξέλιξη της Τιμής των EUAs.

Μεταβλητή	Πρόσημο Επιρροής	Στατιστική Σημαντικότητα
Oil	Θετικό	Ναι
Ngas	Θετικό	Ναι
Coal	Αρνητικό	Ναι
Elec	Θετικό	Ναι
Eu100	Αρνητικό	Ναι
Gsci	Αρνητικό	Όχι
IndPr	-	Ναι

Όσον αφορά τις ενεργειακές μεταβλητές, ο Chevallier (2009) δείχνει πως τα εμπορεύματα του αργού πετρελαίου (Oil) και του φυσικού αερίου (Ngas) είναι στατιστικά σημαντικές στην διαμόρφωση της τιμής των EUAs με θετικό πρόσημο επιρροής. Αντίστοιχα, οι Alberola, Chevallier και Chéze (2008a) δείχνουν πως η χρονοσειρά εμπορευμάτων του κάρβουνου (Coal) και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας (Elec) είναι στατιστικά σημαντικά με αρνητικό και θετικό πρόσημο επιρροής αντίστοιχα.

Ο Chevallier (2009) εξετάζει και την επιρροή των χρηματοοικονομικών μεταβλητών στα EUAs. Καταλήγει πως ο δείκτης μετοχών Euronext100 της ΕΕ είναι στατιστικά σημαντικός με αρνητικό πρόσημο επιρροής. Αντίθετα, το χαρτοφυλάκιο αγοράς του δείκτη εμπορευμάτων της Goldman Sachs (Gsci) δεν φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντικός.

Η βιομηχανική παραγωγή στην Ευρωζώνη (IndPr) φαίνεται, σύμφωνα με τους Bredin και Muckley (2009) να προκαλεί αιτιακά, κατά Granger, την τιμή των EUAs. Η επιρροή της δεν έχει μετρηθεί ποσοτικά, στην βιβλιογραφία, γι' αυτό δεν είναι γνωστό το πρόσημο επιρροής της. Σύμφωνα με τους Keppler και Mansanet-Bataller (2010), η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, του κάρβουνου και του φυσικού αερίου φαίνονται να προκαλούν αιτιακά, κατά Granger, την τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής της ΕΕ.

6.2. Αποτελέσματα της Οικονομετρικής Ανάλυσης

Όπως έχει αναφερθεί η εξαρτημένη μεταβλητή, τις μεταβολές τις οποίες ερευνούμε, είναι ο λογάριθμος των EUAs που σε πρώτες διαφορές μας δίνει την απόδοση των δικαιωμάτων. Για συντομία στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα αναφέρεται ως **Eua** ή Co2. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές θα αναφέρονται ως εξής: **Oil** (αργό πετρέλαιο), **Ngas** (φυσικό αέριο), **Coal** (κάρβουνο), **Elec** (ηλεκτρική ενέργεια), **IndPr** (βιομηχανική παραγωγή), **Eu100** (δείκτης Euronext100) και **Gsci** (δείκτης Goldman Sachs Commodity Indicator). Στους πίνακες των αποτελεσμάτων το σύμβολο (***) δηλώνει στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 1%, το (**) δηλώνει σημαντικότητα σε επίπεδο 5% και το (*) σημαντικότητα σε επίπεδο 10%.

Το πρώτο βήμα στην ανάλυση χρονοσειρών είναι να βρεθεί ο βαθμός ολοκλήρωσης τους. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται ο έλεγχος ADF στις μεταβλητές και στις πρώτες τους διαφορές. Όλες οι μεταβλητές εμφανίζουν πιθανότητα μοναδιαίας ρίζας σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, ενώ οι πρώτες τους διαφορές είναι στάσιμες σε επίπεδο 5%. Άρα όλες οι μεταβλητές είναι ολοκληρωμένες πρώτου βαθμού ή I(1).

Πίνακας 7: Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για τον Βαθμό Ολοκλήρωσης

Μεταβλητές	Augmented Dickey-Fuller Έλεγχος		Μηδενική Υπόθεση: Μοναδιαία Ρίζα		
	Ακατέργαστα Δεδομένα		Πρώτες Διαφορές		Βαθμός Ολοκλήρωσης
	t-stat	p-value	t-stat	p-value	
Eua	-2.031	0.582	-31.173	0.000***	I(1)
Oil	-3.012	0.129	-32.201	0.000***	I(1)
Ngas	-2.003	0.598	-29.913	0.000***	I(1)
Coal	-2.213	0.481	-9.213	0.000***	I(1)
Elec	-1.933	0.636	-29.266	0.000***	I(1)
IndPr	-3.138	0.097*	-3.881	0.013**	I(1)
Eu100	-3.356	0.058*	-10.382	0.000***	I(1)
Gsci	-3.36	0.057*	-31.509	0.000***	I(1)

Σε όλες τις μεταβλητές, χρησιμοποιούνται πρώτες διαφορές για να γίνουν στάσιμες, έτσι ώστε, οι οικονομετρικές τεχνικές που θα πραγματοποιηθούν στην συνέχεια να μην προσφέρουν πλασματικά αποτελέσματα. Επομένως, όλες οι μεταβλητές που εμφανίζονται στα επόμενα αποτελέσματα έχουν μετατραπεί σε στάσιμες και είναι I(0).

Το επόμενο βήμα είναι να ελέγχουν οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών. Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ όλων των μεταβλητών του δείγματος. Όλες οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών είναι θετικές. Η μεγαλύτερη συσχέτιση των δικαιωμάτων εκπομπής, παρατηρείται με τις τιμές του άνθρακα (0.253). Η αμέσως επόμενη συσχέτιση είναι με τις τιμές του χαρτοφυλακίου αγοράς (0.183) και έπειτα με το χαρτοφυλάκιο μετοχών (0.168) και με τις τιμές του πετρελαίου (0.16). Στις ανεξάρτητες μεταβλητές, η μόνη υψηλή συσχέτιση είναι των τιμών του πετρελαίου με το χαρτοφυλάκιο της αγοράς (0.929). Λόγω του ότι η συσχέτιση αυτή είναι πολύ υψηλή και τείνει στην μονάδα, οι μεταβλητές αυτές παρέχουν παρόμοια πληροφόρηση που ίσως να επηρεάζει την στατιστική σημαντικότητα τους στα υποδείγματα. Οι υπόλοιπες συσχετίσεις μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών δεν ξεπερνούν το 0.5.

Πίνακας 8: Συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών

	Eua	Oil	Ngas	Coal	Elec	IndPr	Eu100	Gsci
Eua	1							
Oil	0.16	1						
Ngas	0.11	0.133	1					
Coal	0.253	0.362	0.295	1				
Elec	0.02	0.151	0.156	0.184	1			
IndPr	0.099	0.097	0.084	0.104	0.043	1		
Eu100	0.168	0.442	0.136	0.366	0.142	0.08	1	
Gsci	0.183	0.929	0.149	0.39	0.148	0.127	0.493	1

Το επόμενο βήμα στην εμπειρική ανάλυση των χρονοσειρών είναι η εξακρίβωση για ύπαρξη συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών. Για τον έλεγχο της συνολοκλήρωσης, χρησιμοποιείται το κριτήριο του Johansen, επειδή εξετάζεται η σχέση μεταξύ πολλών μεταβλητών και όχι ενός ζεύγους, όπως έχει αναλυθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ελέγχεται ο αριθμός των σχέσεων συνολοκλήρωσης που προκύπτουν μεταξύ των μεταβλητών και για να υπάρχει σχέση συνολοκλήρωσης πρέπει να είναι μικρότερος του συνόλου των μεταβλητών. Τα αποτελέσματα του ελέγχου φαίνονται στον Πίνακα 9 που ακολουθεί. Ο έλεγχος δείχνει πως υπάρχουν το πολύ τρεις εξισώσεις συνολοκλήρωσης, αριθμός μικρότερος από τις οχτώ μεταβλητές που ελέγχονται. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει σχέση συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών του υποδείγματος.

Πίνακας 9: Έλεγχος Συνολοκλήρωσης κατά Johansen

Έλεγχος Βαθμού Πίνακα (Ιχθους) κατά Johansen		
Αριθμός Εξισώσεων Συνολοκλήρωσης	Κριτική Τιμή 5%	p-value
Καμία	143.669	0.000***
Το πολύ 1	111.78	0.000***
Το πολύ 2	83.937	0.021***
Το πολύ 3	60.061	0.091*
Το πολύ 4	40.174	0.115
Το πολύ 5	24.275	0.189

Μετά την απόδειξη ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές και η εξαρτημένη είναι συνολοκληρωμένες, το επόμενο βήμα είναι να ελεγχθούν οι σχέσεις αιτιότητας μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών. Χρησιμοποιώντας τον έλεγχο αιτιότητας του Granger, ελέγχεται αν η κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή προκαλεί την εξαρτημένη ή το αντίστροφο. Τα αποτελέσματα του ελέγχου παρουσιάζονται στον Πίνακα 10. Σύμφωνα με τον έλεγχο Granger υπάρχουν σχέσεις αιτιότητας της εξαρτημένης μεταβλητής με όλες τις ανεξάρτητες, εκτός από την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, η τιμή του κάρβουνου προκαλεί αιτιακά την απόδοση των δικαιωμάτων εκπομπής σε επίπεδο 10% και η τιμή του φυσικού αερίου προκαλεί αιτιακά την απόδοση των EUAs σε επίπεδο 5%. Οι υπόλοιπες μεταβλητές αργό πετρέλαιο, βιομηχανική παραγωγή, αποδόσεις χαρτοφυλακίου αγοράς και μετοχών προκαλούν αιτιακά την απόδοση των EUAs σε επίπεδο 1%.

Πίνακας 10: Έλεγχος Αιτιότητας κατά Granger

Έλεγχος Αιτιότητας Granger κατά ζεύγη		
Μηδενικές Υποθέσεις:	F-statistic	p-value
Oil δεν προκαλεί κατά Granger Eua	9.475	0.000***
Eua δεν προκαλεί κατά Granger Oil	0.078	0.924
Ngas δεν προκαλεί κατά Granger Eua	3.733	0.024**
Eua δεν προκαλεί κατά Granger Ngas	0.014	0.986
Coal δεν προκαλεί κατά Granger Eua	2.396	0.091*
Eua δεν προκαλεί κατά Granger Coal	0.603	0.547
Elec δεν προκαλεί κατά Granger Eua	0.109	0.896
Eua δεν προκαλεί κατά Granger Elec	1.077	0.341
IndPr δεν προκαλεί κατά Granger Eua	4.847	0.008***
Eua δεν προκαλεί κατά Granger IndPr	1.091	0.336
Eu100 δεν προκαλεί κατά Granger Eua	4.893	0.007***
Eua δεν προκαλεί κατά Granger Eu100	0.611	0.546
Gsci δεν προκαλεί κατά Granger Eua	11.054	0.000***
Eua δεν προκαλεί κατά Granger Gsci	0.051	0.950

a. Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για Όλη την Χρονική Περίοδο

Μετά την ανάλυση αιτιότητας που παρουσιάζει ποιές από τις ανεξάρτητες μεταβλητές προκαλούν αιτιακά την μεταβολή των δικαιωμάτων εκπομπής, το επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση ποσοτικών υποδειγμάτων για την επιβεβαίωση των παραπάνω αποτελεσμάτων αιτιότητας και την εξακρίβωση του προσήμου επιρροής της κάθε μεταβλητής. Πριν την εκτίμηση των υποδειγμάτων, χρησιμοποιείται η μεθοδολογία των Box και Jenkins για την εξακρίβωση του είδους του στοχαστικού υποδείγματος που ακολουθούν οι αποδόσεις των EUAs. Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας, δεν δείχνουν ισχυρές εξαρτήσεις μεταξύ των παρατηρήσεων της εξαρτημένης μεταβλητής. Οι συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης δείχνουν ότι τα EUAs δεν ακολουθούν υπόδειγμα ARMA οποιασδήποτε τάξης.

Στον Πίνακα 11 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης των ανεξάρτητων μεταβλητών σε όλο το δείγμα και η αντίστοιχη ενισχυμένη εκτίμηση GARCH(1,1) όπως προτείνεται από τους Alberola, Chevallier και Chéze (2008a) και Hansen & Lunde (2001).

Τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντικότητα: στις τιμές του κάρβουνου με θετική επιρροή, στη μεταβλητή-δείκτη των μηνών και στην ταχύτητα σύγκλισης προς την συνολοκλήρωση με αρνητική επιρροή, στο χαρτοφυλάκιο μετοχών και στις τιμές του φυσικού αερίου (μόνο για το υπόδειγμα GARCH) με θετική επιρροή. Οι συντελεστές του GARCH και οι σταθεροί όροι της εκτίμησης είναι στατιστικά σημαντικοί.

Πίνακας 11: Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για Ολόκληρο το Δείγμα

Εξαρτημένη: Eua	Ολόκληρη Χρονική Περίοδος	
	OLS	GARCH
Μεταβλητές	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)
Constant	0.002 (0.252)	0.003** (0.025)
Oil	-0.067 (0.399)	-0.043 (0.535)
Ngas	0.023 (0.309)	0.029* (0.089)
Coal	0.244*** (0.000)	0.23*** (0.000)
Elec	-0.024 (0.291)	-0.017 (0.2106)
IndPr	1.433 (0.101)	1.138 (0.182)
Eu100	0.076 (0.117)	0.0822** (0.051)
Gsci	0.164 (0.137)	0.141 (0.141)
Month	-0.0004* (0.057)	-0.0005*** (0.0032)
E(-1)	-0.0015*** (0.002)	-0.001** (0.024)
ARCH(1)	-	0.0688*** (0.000)
GARCH(1)	-	0.9233*** (0.000)
Const.	-	0.000005** (0.019)
R-squared	0.095	0.093
Adj. R-squared	0.086	0.084
F-statistic	10.715***	-
p-value	0.000	-

Αναλύοντας τις συσχετίσεις των μεταβλητών προέκυψε ότι, οι τιμές του αργού πετρελαίου παρουσιάζουν υψηλές συσχετίσεις με το χαρτοφυλάκιο της αγοράς. Για τον λόγο αυτό, διαχωρίζονται οι μεταβλητές στα υποδείγματα σε ενεργειακές (Coal, Ngas, Oil, Elec) και σε μακροχρηματοοικονομικές (IndPr, Eu100, Gsci) και επανεκτιμώνται τα παραπάνω μοντέλα χωρίς μεταβλητές με κοινή πληροφόρηση.

Στον Πίνακα 12 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των τεσσάρων υποδειγμάτων. Στις ενεργειακές μεταβλητές σημαντικότητα έχουν: οι τιμές του αργού πετρελαίου και του κάρβουνου με θετική επιρροή, η μεταβλητή – δείκτης των μηνών με αρνητικό συντελεστή και το φυσικό αέριο (μόνο για το GARCH) με θετική επιρροή.

Όσον αφορά τις μακροχρηματοοικονομικές μεταβλητές σημαντικότητα έχουν: όλες οι μεταβλητές, δηλαδή, οι αποδόσεις των χαρτοφυλακίων αγοράς, μετοχών και η βιομηχανική παραγωγή με θετικούς συντελεστές επιρροής και η μεταβλητή των μηνών (μόνο για το μοντέλο GARCH) με αρνητικό συντελεστή. Οι συντελεστές GARCH και στα δύο υποδείγματα είναι στατιστικά σημαντικοί.

Πίνακας 12: Διαχωρισμός Ενεργειακών και Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών

Εξαρτημένη: Eua	Ενεργειακές Μεταβλητές		Μάκρο Μεταβλητές	
	OLS	GARCH	OLS	GARCH
Μεταβλητές	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)
Constant	0.002 (0.194)	0.003** (0.031)	0.0013 (0.429)	0.002 (0.138)
Oil	0.0703** (0.026)	0.082*** (0.0006)	-	-
Ngas	0.0306 (0.189)	0.033* (0.065)	-	-
Coal	0.264*** (0.000)	0.245*** (0.000)	-	-
Elec	-0.028 (0.218)	-0.0208 (0.13)	-	-
IndPr	-	-	1.6804* (0.057)	1.721* (0.068)
Eu100	-	-	0.134*** (0.005)	0.111** (0.018)
Gsci	-	-	0.153*** (0.0009)	0.145*** (0.0004)
Month	-0.0005** (0.021)	-0.0005*** (0.0021)	-0.0003 (0.118)	-0.0004** (0.027)
ARCH(1)	-	0.069*** (0.000)	-	0.0606*** (0.000)
GARCH(1)	-	0.924*** (0.000)	-	0.933*** (0.000)
Const.	-	0.000004** (0.029)	-	0.0000042** (0.0201)
R-squared	0.077	0.077	0.049	0.049
Adj. R-squared	0.072	0.072	0.045	0.045
F-statistic	15.534***	-	12.046***	-
p-value	0.000	-	0.000	-

Το συμπέρασμα της οικονομετρικής ανάλυσης των υποδειγμάτων είναι ότι, σε όλη την εξεταζόμενη περίοδο, τα δικαιώματα εκπομπής ρύπων της ΕΕ, έχουν επηρεαστεί από την παγκόσμια και ευρωπαϊκή κρίση, λόγω σημαντικότητας των μακροχρηματοοικονομικών μεταβλητών και από τις ενεργειακές μεταβλητές του αργού πετρελαίου και του κάρβουνου. Εξαιρετικά σημαντικό είναι το αποτέλεσμα πως η απόδοση των δικαιωμάτων εξαρτάται από την κυκλικότητα των μηνών, μια υπόθεση που δεν είχε εξεταστεί στη βιβλιογραφία ως τώρα.

b. Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για την Πρώτη Υποπερίοδο

Η ανάλυση της απόδοσης των EUAs φανερώνει την ύπαρξη δύο ισχυρών δομικών διακοπών. Η ύπαρξη αυτών των διακοπών, έχει σαν αποτέλεσμα, τα υποδείγματα της προηγούμενης ενότητας να μην έχουν ισχυρή εξήγηση της μεταβλητότητας των EUAs όπως φαίνεται από τους χαμηλούς συντελεστές R^2 (Πίνακες 11 και 12). Επομένως, για να βελτιωθούν οι εκτιμήσεις και να ισχυροποιηθούν τα αποτελέσματα των υποδειγμάτων θα πρέπει να πραγματοποιηθούν οι εκτιμήσεις πριν και μετά τις ισχυρές αλλαγές στην πορεία της χρονοσειράς των αποδόσεων.

Για να βρεθεί σε ποιές ακριβώς χρονολογικές παρατηρήσεις γίνονται οι διακοπές στην τάση χρησιμοποιείται ο έλεγχος του Chow. Πραγματοποιώντας διαδοχικούς ελέγχους Chow στις παρατηρήσεις τοπικά των διακοπών, με κριτήριο την ισχυροποίηση των στατιστικών F και

Wald, όπως φαίνεται στον Πίνακα 13, βρίσκουμε πως οι διακοπές στην τάση συμβαίνουν στις 27/02/2009 και στις 13/06/2013.

Πίνακας 13: Έλεγχοι Chow για την Εύρεση των Δομικών Διακοπών

Μηδενική Υπόθεση: Δεν υπάρχει διακοπή			
Έλεγχος Chow: 27/02/2009			
F-statistic	5.764	Prob. F	0.0000
Log likelihood ratio	79.692	Prob. Chi-Squared	0.0000
Wald statistic	529.124	Prob. Chi-Squared	0.0000
Έλεγχος Chow: 13/06/2011			
F-statistic	3.144	Prob. F	0.0001
Log likelihood ratio	44.312	Prob. Chi-Squared	0.0001
Wald statistic	258.967	Prob. Chi-Squared	0.0000

Επομένως, μετά την εύρεση των δομικών διακοπών στην τάση το αρχικό δείγμα διαχωρίζεται σε τρεις χρονικές υποπεριόδους από 01/06/2008 έως 27/02/2009, από 28/02/2009 έως 13/06/2011 και από 14/06/2011 έως 30/08/2012. Για κάθε μια από τις χρονικές υποπεριόδους, πραγματοποιείται η διαδικασία εκτίμησης υποδειγμάτων, που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο (α.), έτσι ώστε να προκύψουν αποτελέσματα που να εξηγούν από ποιές μεταβλητές επηρεάστηκαν οι αποδόσεις των EUAs, σε κάθε υποπερίοδο.

Η μεθοδολογία των Box και Jenkins για την πρώτη υποπερίοδο, όπως και για ολόκληρο το χρονικό δείγμα, δεν παρουσιάζει αυτοσυσχετίσεις στις παρατηρήσεις της εξαρτημένης μεταβλητής. Επομένως, δεν ακολουθείται κάποιο ARMA υπόδειγμα.

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις των υποδειγμάτων OLS και GARCH, με όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές, για την πρώτη υποπερίοδο. Τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντικότητα στις μεταβλητές του κάρβουνου και του χαρτοφυλακίου της αγοράς με θετική επιρροή και στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας με αρνητική επιρροή. Το υπόδειγμα GARCH βελτιώνει την σημαντικότητα του αργού πετρελαίου και της μεταβλητής των μηνών, με αρνητικό και θετικό συντελεστή αντίστοιχα. Οι συντελεστές GARCH εμφανίζονται στατιστικά σημαντικοί.

Η βελτίωση των εκτιμημένων υποδειγμάτων στην πρώτη υποπερίοδο, σε σύγκριση με ολόκληρο το χρονικό δείγμα, φαίνεται από τους υψηλότερους συντελεστές R^2 και διορθωμένο R^2 , φανερώνοντας καλύτερη εκτίμηση της μεταβλητότητας των δικαιωμάτων εκπομπής.

Η ανάλυση συσχετίσεων μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών, έχει φανερώσει υψηλές τιμές μεταξύ του αργού πετρελαίου και των αποδόσεων του χαρτοφυλακίου της αγοράς. Επομένως, διαχωρίζονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές σε μακροχρηματοοικονομικές και ενεργειακές και στην συνέχεια επανεκτιμώνται τα υποδείγματα, όπως στην παράγραφο (α.) για ορθότερα αποτελέσματα, χωρίς την παρουσία μεταβλητών με κοινή πληροφόρηση.

Πίνακας 14: Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για την Πρώτη Χρονική Υποπερίοδο

Εξαρτημένη: Eua	Πρώτη Υποπερίοδος	
	OLS	GARCH
Μεταβλητές	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)
Constant	-0.003 (0.459)	-0.0056 (0.163)
Oil	-0.121 (0.349)	-0.218* (0.096)
Ngas	-0.0406 (0.318)	-0.024 (0.402)
Coal	0.283*** (0.000)	0.309*** (0.000)
Elec	-0.0685** (0.022)	-0.064** (0.014)
IndPr	2.34 (0.387)	1.911 (0.408)
Eu100	0.094 (0.254)	0.123 (0.171)
Gsci	0.3207* (0.086)	0.477** (0.011)
Month	0.00066 (0.338)	0.0009* (0.069)
ARCH(1)	-	0.072** (0.041)
GARCH(1)	-	0.919*** (0.000)
Const.	-	0.000013 (0.515)
R-squared	0.225	0.213
Adj. R-squared	0.19	0.177
F-statistic	6.471***	-
p-value	0.000	-

Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υποδειγμάτων με ενεργειακές και μακροχρηματοοικονομικές μεταβλητές. Όσον αφορά τις ενεργειακές μεταβλητές σημαντικότητα παρουσιάζουν οι τιμές του αργού πετρελαίου και του κάρβουνου με θετική επιρροή και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας με αρνητική επιρροή. Η μεταβλητή – δείκτης των μηνών γίνεται σημαντική μόνο στο υπόδειγμα GARCH με θετικό συντελεστή.

Από τις μακροχρηματοοικονομικές μεταβλητές σημαντικές είναι οι αποδόσεις των χαρτοφυλακίων της αγοράς και των μετοχών με θετική επιρροή. Η μεταβλητή μήνας γίνεται σημαντική μόνο στο GARCH μοντέλο με θετικό συντελεστή. Για τα υποδείγματα GARCH και των δύο κατηγοριών μεταβλητών ο συντελεστής ARCH είναι μη σημαντικός σε αντίθεση με τον συντελεστή GARCH.

Συμπεραίνοντας, στην πρώτη υποπερίοδο, η πτωτική πορεία των δικαιωμάτων εκπομπής είχε επιρροή από τις μεταβολές στα χαρτοφυλάκια μετοχών και αγοράς, δείκτες που επηρεάστηκαν άμεσα από την χρηματοπιστωτική κρίση που είχε ξεσπάσει πριν την έναρξη της περιόδου. Επιπλέον συμβολή στην μεταβολή της απόδοσης των δικαιωμάτων είχαν οι τιμές του άνθρακα, του αργού πετρελαίου και της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, η υπόθεση για την επίδραση της περιοδικότητας των μηνών στις αποδόσεις των EUAs επιβεβαιώνεται με τα υποδείγματα GARCH.

Πίνακας 15: Διαχωρισμός Ενεργειακών και Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για την Πρώτη Υποπερίοδο

Εξαρτημένη: Eua	Ενεργειακές Μεταβλητές		Μάκρο Μεταβλητές	
	OLS	GARCH	OLS	GARCH
Μεταβλητές	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)
Constant	-0.004 (0.294)	-0.0077*** (0.000)	-0.0041 (0.383)	-0.0049** (0.015)
Oil	0.098* (0.054)	0.132*** (0.001)	-	-
Ngas	-0.027 (0.494)	-0.0144 (0.654)	-	-
Coal	0.333*** (0.000)	0.349*** (0.000)	-	-
Elec	-0.063** (0.033)	-0.056** (0.037)	-	-
IndPr	-	-	2.93 (0.287)	1.228 (0.459)
Eu100	-	-	0.1903** (0.018)	0.196*** (0.007)
Gsci	-	-	0.219*** (0.0034)	0.293*** (0.000)
Month	0.0004 (0.481)	0.00078** (0.042)	0.00075 (0.292)	0.00064*** (0.000)
ARCH(1)	-	-0.022 (0.321)	-	-0.023 (0.306)
GARCH(1)	-	1.051*** (0.000)	-	1.052*** (0.000)
Const.	-	-0.0000068 (0.2702)	-	-0.0000078 (0.288)
R-squared	0.197	0.19	0.131	0.124
Adj. R-squared	0.175	0.168	0.112	0.104
F-statistic	8.932***	-	6.892***	-
p-value	0.000	-	0.000	-

ε. Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για την Δεύτερη Υποπερίοδο

Στην δεύτερη υποπερίοδο, τα EUAs, σύμφωνα με την μεθοδολογία των Box και Jenkins δεν φαίνονται να ακολουθούν κάποιο ARMA υπόδειγμα. Η Εικόνα 3 φανερώνει πως η δεύτερη υποπερίοδος, δεν έχει την πτωτική τάση της πρώτης και της τρίτης αλλά παρουσιάζει μια τυχαιότητα με κίνηση γύρω από μια μέση τιμή. Το γεγονός αυτό έχει επίπτωση στην επεξηγηματική ικανότητα των υποδειγμάτων, όπως φαίνεται στα αποτελέσματα της εκτίμησης τους στον Πίνακα 16. Πράγματι, οι συντελεστές R^2 και διορθωμένο R^2 είναι αισθητά χαμηλότεροι από τις προηγούμενες εκτιμήσεις, κάτω του 4% και 3% αντίστοιχα. Επιπλέον η στατιστική σημαντικότητα του OLS μοντέλου έπεσε σε επίπεδο 5%.

Όσον αφορά τις ανεξάρτητες μεταβλητές, στατιστική σημαντικότητα φαίνεται πως παρουσιάζουν οι τιμές του κάρβουνου και του φυσικού αερίου με θετική επιρροή αλλά και η μεταβλητή – δείκτης των μηνών με αρνητικό συντελεστή. Η εκτίμηση με το υπόδειγμα GARCH παρουσιάζει στατιστική σημαντικότητα στους συντελεστές του.

Το αρχικό συμπέρασμα για ισχυρή τυχαιότητα των αποδόσεων στην δεύτερη υποπερίοδο ενισχύεται εκτιμώντας δύο διαφορετικά υποδείγματα με μακροχρηματοοικονομικές και ενεργειακές μεταβλητές ξεχωριστά, λόγω της υψηλής συσχέτισης των τιμών του πετρελαίου με το χαρτοφυλάκιο της αγοράς.

Πίνακας 16: Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για τη Δεύτερη Χρονική Υποπερίοδο

Εξαρτημένη: Eua	Δεύτερη Υποπερίοδος	
	OLS	GARCH
Μεταβλητές	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)
Constant	0.003* (0.094)	0.0028 (0.045)
Oil	0.095 (0.387)	0.066 (0.502)
Ngas	0.048* (0.079)	0.0519** (0.042)
Coal	0.127** (0.019)	0.111** (0.028)
Elec	0.0003 (0.995)	0.0187 (0.747)
IndPr	1.531 (0.212)	1.436 (0.309)
Eu100	-0.0304 (0.692)	-0.046 (0.486)
Gsci	-0.099 (0.497)	-0.048 (0.716)
Month	-0.0005** (0.03)	-0.00049** (0.0108)
ARCH(1)	-	-0.0111** (0.049)
GARCH(1)	-	1.0103*** (0.000)
Const.	-	0.00000043 (0.462)
R-squared	0.037	0.036
Adj. R-squared	0.022	0.021
F-statistic	2.422**	-
p-value	0.014	-

Τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων σε υποδείγματα με διαχωρισμένες τις ενεργειακές μεταβλητές από τις μακροχρηματοοικονομικές, είναι παρόμοια με τα αποτελέσματα του συνόλου των ανεξάρτητων μεταβλητών. Από τις ενεργειακές μεταβλητές σημαντικότητα εμφανίζουν μόνο το φυσικό αέριο και το αργό πετρέλαιο με θετική επιρροή αλλά και η μεταβλητή των μηνών με αρνητικό συντελεστή. Οι συντελεστές GARCH του υποδείγματος είναι στατιστικά σημαντικοί. Η πληροφοριακή ικανότητα των υποδειγμάτων με τις ενεργειακές μεταβλητές είναι αρκετά χαμηλή, όπως αναμενόταν, με τους συντελεστές R^2 και διορθωμένο R^2 να είναι λίγο περισσότερο από 3% και 2% αντίστοιχα.

Οι μακροχρηματοοικονομικές μεταβλητές δεν έχουν καμία προβλεπτική ικανότητα στις μεταβολές των EUAs, καθώς δεν παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα στα υποδείγματα τους. Το γεγονός αυτό ενισχύεται από τις πολύ χαμηλές τιμές των συντελεστών R^2 και διορθωμένο R^2 και από την πιθανότητα όλοι οι συντελεστές του μοντέλου να είναι μηδενικοί, που σημαίνει καμία προβλεπτική ικανότητα και στατιστική σημαντικότητα του υποδείγματος, η οποία έχει τιμή 15%. Η μόνη μεταβλητή που προσφέρει στο υπόδειγμα είναι ο δείκτης των μηνών, με αρνητικό συντελεστή αλλά και οι συντελεστές του μοντέλου GARCH.

Συμπεραίνοντας, η δεύτερη περίοδος χαρακτηρίζεται από τυχαιότητα στην εξέλιξη της απόδοσης των EUAs. Η χρηματοπιστωτική κρίση στην Ευρωζώνη, αλλά και παγκόσμια, δεν

φαίνεται να έχει επιρροή στα δικαιώματα εκπομπής. Οι μόνες μεταβλητές που συμβάλλουν στην εξέλιξη της απόδοσης των πιστώσεων είναι οι τιμές του κάρβουνου και του φυσικού αερίου αλλά και η περιοδικότητα των μηνών.

Πίνακας 17: Διαχωρισμός Ενεργειακών και Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για τη Δεύτερη Υποπερίοδο

Εξαρτημένη: Eua	Ενεργειακές Μεταβλητές		Μάκρο Μεταβλητές	
	OLS	GARCH	OLS	GARCH
Μεταβλητές	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)
Constant	0.0038** (0.026)	0.0032** (0.015)	0.0027 (0.121)	0.0025* (0.072)
Oil	0.0105 (0.8)	0.019 (0.547)	-	-
Ngas	0.052* (0.059)	0.052** (0.043)	-	-
Coal	0.122** (0.025)	0.1103** (0.029)	-	-
Elec	-0.0044 (0.928)	0.016 (0.772)	-	-
IndPr	-	-	1.738 (0.157)	1.548 (0.326)
Eu100	-	-	-0.017 (0.819)	-0.0509 (0.457)
Gsci	-	-	0.0503 (0.408)	0.0669 (0.169)
Month	-0.00055** (0.017)	-0.00051*** (0.0086)	-0.00043* (0.059)	-0.00042** (0.029)
ARCH(1)	-	-0.0109** (0.053)	-	-0.011** (0.034)
GARCH(1)	-	1.009*** (0.000)	-	1.0105*** (0.000)
Const.	-	-0.0000003 (0.502)	-	-0.0000003 (0.532)
R-squared	0.032	0.0319	0.013	0.0126
Adj. R-squared	0.023	0.022	0.005	0.0048
F-statistic	3.409***	-	1.688	-
p-value	0.0048	-	0.151	-

d. Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για την Τρίτη Υποπερίοδο

Στην Τρίτη, και τελευταία, υποπερίοδο οι αποδόσεις των EUAs, σύμφωνα με την μεθοδολογία των Box και Jenkins, δεν ακολουθούν κάποιο ARMA υπόδειγμα. Η τάση αλλάζει ξανά και η απόδοση των δικαιωμάτων ακολουθεί μια πτωτική πορεία παρόμοια με εκείνη της πρώτης υποπεριόδου. Παρόλα αυτά, η πορεία των αποδόσεων εξακολουθεί να έχει μια τυχαιότητα, με πτωτική τάση όμως, η οποία δεν μπορεί να εξηγηθεί σε μεγάλο βαθμό από τις ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιούμε στα υποδείγματα. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων, στον Πίνακα 18, η επεξηγηματική ικανότητα των μοντέλων, μέσω των συντελεστών R^2 και διορθωμένο R^2 , κυμαίνεται κοντά στο 8% και 5% αντίστοιχα, ελαφρώς αυξημένη από την δεύτερη υποπερίοδο και αισθητά μικρότερη από την πρώτη.

Όσον αφορά τις ανεξάρτητες μεταβλητές, μόνο η τιμή του κάρβουνου φαίνεται να επηρεάζει την μεταβλητότητα των δικαιωμάτων σε επίπεδο σημαντικότητας 10%, με θετικό συντελεστή βήτα και μόνο για το υπόδειγμα OLS. Στο μοντέλο GARCH καμία ανεξάρτητη μεταβλητή

δεν είναι στατιστικά σημαντική εκτός από τους συντελεστές GARCH που δείχνουν να μπορούν να προσφέρουν κάποια πληροφόρηση για την μεταβλητότητα.

Πίνακας 18: Αποτελέσματα Υποδειγμάτων για την Τρίτη Χρονική Υποπερίοδο

Εξαρτημένη: Eua	Τρίτη Υποπερίοδος	
	OLS	GARCH
Μεταβλητές	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)
Constant	0.003 (0.441)	0.0038 (0.469)
Oil	-0.294 (0.27)	-0.2907 (0.312)
Ngas	0.146 (0.125)	0.095 (0.207)
Coal	0.475* (0.065)	0.265 (0.213)
Elec	0.109 (0.383)	0.105 (0.393)
IndPr	2.889 (0.388)	2.282 (0.535)
Eu100	0.027 (0.844)	0.0755 (0.506)
Gsci	0.553 (0.144)	0.625 (0.109)
Month	-0.00084 (0.137)	-0.00081 (0.138)
ARCH(1)	-	0.082** (0.027)
GARCH(1)	-	0.885*** (0.000)
Const.	-	0.000026 (0.272)
R-squared	0.089	0.083
Adj. R-squared	0.056	0.049
F-statistic	2.674***	-
p-value	0.008	-

Όπως στις προηγούμενες χρονικές περιόδους εκτίμησης, έτσι και στην τρίτη υποπερίοδο, η μεταβλητή του αργού πετρελαίου παρουσιάζει υψηλές συσχετίσεις με το χαρτοφυλάκιο αγοράς. Επομένως, διαχωρίζονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές σε ενεργειακές και μακροχρηματοοικονομικές και εκτιμώνται ξεχωριστά τα υποδείγματα όπως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον Πίνακα 19.

Ο διαχωρισμός των υποδειγμάτων ενισχύει την στατιστική σημαντικότητα των τιμών του κάρβουνο, με θετικό συντελεστή επιρροής. Επιπλέον, σύμφωνα με το υπόδειγμα GARCH και οι τιμές του αργού πετρελαίου συμβάλλουν στην μεταβλητότητα των EUAs με θετικό συντελεστή επιρροής. Στατιστικά σημαντικοί είναι και οι συντελεστές GARCH του αντίστοιχου υποδείγματος.

Από τις μακροχρηματοοικονομικές μεταβλητές μόνο το χαρτοφυλάκιο της αγοράς προσφέρει στατιστικά σημαντική πληροφόρηση για τις μεταβολές των EUAs, με θετικό συντελεστή επιρροής, σε επίπεδο σημαντικότητας 10% και μόνο στο υπόδειγμα GARCH. Το υπόδειγμα OLS δεν προσφέρει καμία στατιστική σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών σε

αντίθεση με το μοντέλο GARCH, του οποίου οι ομώνυμοι συντελεστές είναι στατιστικά σημαντικοί.

Συνοψίζοντας, στην τρίτη υποπερίοδο, όπως και στην δεύτερη, φαίνεται η δυσκολία στην εύρεση διαμορφωτών της τιμής των EUAs. Η παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση φαίνεται πως επηρεάζει ελάχιστα την πορεία των δικαιωμάτων, τα οποία ακολουθούν, ως ένα βαθμό, την πορεία των τιμών του κάρβουνου και σε μικρότερο βαθμό τις τιμές του πετρελαίου. Η υπόθεση ότι ο μήνας διαπραγμάτευσης της τιμής μπορεί να επηρεάσει την εξέλιξη της, δεν φαίνεται να επιβεβαιώνεται στην τρίτη υποπερίοδο, σε αντίθεση με τις δύο προηγούμενες.

Πίνακας 19: Διαχωρισμός Ενεργειακών και Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για την Τρίτη Υποπερίοδο

Εξαρτημένη: Eua	Ενεργειακές Μεταβλητές		Μάκρο Μεταβλητές	
	OLS	GARCH	OLS	GARCH
Μεταβλητές	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)	Συντελεστής β (p-value)
Constant	0.003 (0.465)	0.002 (0.555)	0.002 (0.553)	0.002 (0.593)
Oil	0.122 (0.319)	0.2139* (0.089)	-	-
Ngas	0.1201 (0.203)	0.0655 (0.3809)	-	-
Coal	0.527** (0.032)	0.379* (0.0707)	-	-
Elec	0.104 (0.404)	0.098 (0.416)	-	-
IndPr	-	-	0.323 (0.921)	-0.782 (0.8304)
Eu100	-	-	0.113 (0.418)	0.148 (0.195)
Gsci	-	-	0.288 (0.158)	0.335* (0.092)
Month	-0.00088 (0.117)	-0.00082 (0.144)	-0.00091 (0.109)	-0.00082 (0.1404)
ARCH(1)	-	0.065** (0.023)	-	0.078** (0.019)
GARCH(1)	-	0.9105*** (0.000)	-	0.902*** (0.000)
Const.	-	0.00002 (0.323)	-	0.000017 (0.302)
R-squared	0.0728	0.067	0.045	0.043
Adj. R-squared	0.051	0.046	0.028	0.025
F-statistic	3.456***	-	2.636**	-
p-value	0.005	-	0.035	-

6.3. Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Μετά την εφαρμογή των οικονομετρικών ελέγχων, την εκτίμηση των υποδειγμάτων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, στην προηγούμενη ενότητα, προκύπτουν τα τελικά συμπεράσματα που μπορούν να συγκριθούν με εκείνα που έχουν προκύψει από προηγούμενες έρευνες. Όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές που εξετάστηκαν ως παράγοντες επιρροής της απόδοσης των EUAs είχαν συμβολή στην εξέλιξη της, άλλες λιγότερο και άλλες περισσότερο.

Η πιο ισχυρά σημαντική μεταβλητή φάνηκε πως είναι η εξέλιξη της τιμής του κάρβουνου, οι οποία, σε όλες, σχεδόν, τις εκτιμήσεις παρουσίαζε στατιστική σημαντικότητα. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο, καθώς μια αύξηση της ζήτησης για κάρβουνο, από τις παραγωγικές μονάδες, θα οδηγήσει σε αύξηση των ρύπων και σε αυξημένη ζήτηση για δικαιώματα εκπομπής. Τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων φανέρωσαν αυτή την θετική σχέση, μέσω των συντελεστών βήτα, σε αντίθεση με αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών που φανέρωναν αρνητική σχέση.

Η τιμή του αργού πετρελαίου, φάνηκε πως ασκεί επίδραση στις αποδόσεις των δικαιωμάτων, μόνο όμως για την πρώτη χρονική περίοδο εξέτασης, από τα μέσα του 2008 έως την αρχή του 2009, και ελάχιστα στην τρίτη περίοδο από τα μέσα του 2011 έως τα μέσα του 2012. Ο θετικός συντελεστής βήτα έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας.

Ελάχιστη στατιστική σημαντικότητα παρουσιάζει η τιμή του φυσικού αερίου μόνο για την δεύτερη χρονική υποπερίοδο και με θετικό συντελεστή όπως έχει διατυπωθεί στην βιβλιογραφία. Το γεγονός αυτό, πιθανόν, οφείλεται στους λιγότερους ρύπους που εκλύει η καύση του φυσικού αερίου και στην μη αλλαγή της παραγωγικής διαδικασίας των ρυπαντών για χρήση φυσικού αερίου. Μικρή σημαντικότητα παρουσιάζει και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μόνο στην πρώτη υποπερίοδο και με αρνητικό συντελεστή επιρροής, σε αντίθεση με την βιβλιογραφία. Το γεγονός αυτό φανερώνει πως οι ρυπογόνες παραγωγικές μονάδες ενέργειας δεν μετακυλύουν συνεχώς το κόστος των δικαιωμάτων εκπομπής στους καταναλωτές της ενέργειας με αύξηση των τιμών.

Οι μακροχρηματοοικονομικές μεταβλητές της βιομηχανικής παραγωγής και τα χαρτοφυλάκια αγοράς και μετοχών αποτελούν τους δείκτες του οικονομικού περιβάλλοντος και της πρόσφατης χρηματοπιστωτικής κρίσης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φανέρωσαν στατιστική σημαντικότητα, με θετικούς συντελεστές σε αντίθεση με την βιβλιογραφία, κυρίως στην πρώτη χρονική περίοδο, από τα μέσα του 2008 έως την αρχή του 2009, όταν και ξέσπασε η κρίση στην Ευρωζώνη. Η ύφεση συμπαρέσυρε σε πτωτική πορεία την αγορά των EUAs, η οποία επανήλθε σε κανονικούς ρυθμούς γρήγορα στην δεύτερη υποπερίοδο και στην τρίτη ακολούθησε τις πτωτικές τιμές του άνθρακα, του αργού πετρελαίου αλλά και του χαρτοφυλακίου αγοράς.

Τέλος, η υπόθεση που τέθηκε στην παρούσα εργασία, ως επέκταση των προηγούμενων ερευνών, ότι ο μήνας διαπραγμάτευσης των EUAs έχει επίδραση στην ζήτηση τους και κατά συνέπεια στην εξέλιξη της τιμής τους επιβεβαιώθηκε για τις δύο πρώτες χρονικές περιόδους. Ο συντελεστής των μηνών είναι αρνητικός με ισχυρή στατιστική σημαντικότητα. Συνολικά τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τον ισχυρισμό της βιβλιογραφίας, πως η αγορά των δικαιωμάτων εκπομπής είναι ειδική και πρωτόγνωρη περίπτωση και απαιτείται αρκετή έρευνα για να κατανοηθούν οι μηχανισμοί της.

7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκε η αγορά των δικαιωμάτων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με σκοπό να ερευνηθεί ποιοί κύριοι παράγοντες της βιβλιογραφίας είχαν επίδραση στην τιμή των δικαιωμάτων για την χρονική περίοδο 2008 – 2012. Με χρήση οικονομετρικών ελέγχων για την ανάλυση χρονολογικών σειρών, εξετάστηκε η επίδραση ενεργειακών παραγόντων όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, το κάρβουνο και η ηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η επίδραση της χρηματοπιστωτικής κρίσης στην αγορά μέσα από μακροχρηματοοικονομικούς παράγοντες. Επιπλέον, ως επέκταση στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, ελέγχθηκε η υπόθεση ότι σημαντική επιρροή στην τιμή διαπραγμάτευσης των δικαιωμάτων εκπομπής ασκεί ο μήνας διαπραγμάτευσης των τίτλων, καθώς η ζήτηση των δικαιωμάτων παρουσιάζει χρονική περιοδικότητα.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φανέρωσαν πως τα δικαιώματα εκπομπής επηρεάστηκαν έντονα την περίοδο 2008 – 2009 από την χρηματοοικονομική ύφεση στην Ευρωζώνη, από τις τιμές του κάρβουνου και του αργού πετρελαίου. Την περίοδο 2009-2011 η αγορά δεν επηρεάστηκε από την οικονομική κρίση, απέκτησε μια σταθερότητα στην διακύμανση των τιμών και επηρεάστηκε κυρίως από τις τιμές του κάρβουνου και του φυσικού αερίου. Την τελευταία υποπερίοδο εξέτασης, 2011 – 2012 η αγορά επανήλθε ξανά σε πτωτική πορεία η οποία φαίνεται πως εξαρτάται σε μικρό βαθμό από τις πτωτικές τιμές του κάρβουνου, του αργού πετρελαίου και από το παγκόσμιο χαρτοφυλάκιο της αγοράς. Η υπόθεση της χρονικής επίδρασης των μηνών, που αποτέλεσε επέκταση των υπαρχόντων ερευνών της βιβλιογραφίας, επιβεβαιώνεται για την χρονική περίοδο 2008 – 2011.

Η ασθενής εξήγηση της μεταβλητότητας της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής από τα οικονομετρικά υποδείγματα, επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, πως η εξεταζόμενη αγορά εξαρτάται από παράγοντες που η ακαδημαϊκή έρευνα δεν έχει, ακόμα, ανακαλύψει ή είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν. Ο δεσμευτικός χαρακτήρας της αγοράς, το αυστηρό θεσμικό πλαίσιο που την διέπει και η εξάρτηση από τις αποφάσεις των αρχών που είναι υπεύθυνες για την διαχείριση της είναι ορισμένοι από τους παράγοντες που δύσκολα ποσοτικοποιούνται για να προκύψουν συμπεράσματα για την επίδραση τους στις τιμές της αγοράς. Η αγορά των δικαιωμάτων εκπομπής προβλέπεται να γνωρίσει άνθιση στο μέλλον τόσο στην Ευρώπη, τουλάχιστον μέχρι το 2030 σύμφωνα με τις αποφάσεις των αρμόδιων αρχών, όσο και παγκόσμια, καθώς κάθε χρόνο έρχονται σε λειτουργία παρόμοιες αγορές. Επομένως, η ακαδημαϊκή κοινότητα θα αποκτήσει τις πληροφορίες για την μελέτη αυτής της αγοράς, που είναι πρωτόγνωρη για την χρηματοοικονομική βιβλιογραφία.

Πρόσθετη έρευνα, ως επέκταση της παρούσας εργασίας, μπορεί να γίνει στην επίδραση που έχουν στην τιμή των δικαιωμάτων οι ετήσιες μειώσεις που γίνονται, από το 2013, στον αριθμό των διαθέσιμων τίτλων της αγοράς.

Αναφορές

- Aatola, P., Ollikainen, M. and Toppinen, A. (2013). Price Determination in the EU ETS Market: Theory and Econometric Analysis with Market Fundamentals. *Energy Economics*, 36, pp.380--395.
- Alberola, E., Chevallier, J. and Chéze, B. (2007). European Carbon Prices Fundamentals in 2005-2007: The effects of Energy Markets, Temperatures and Sectorial Production.
- Alberola, E., Chevallier, J. and Chéze, B. (2008a). Price Drivers and Structural Breaks in European Carbon Prices 2005--2007. *Energy Policy*, 36(2), pp.787--797.
- Alberola, E., Chevallier, J. and Chéze, B. (2008b). Disentangling the Effects of Industrial Production and CO₂ Emissions on Carbon Prices. *Citeseer*.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), pp.307--327.
- Box, G. and Jenkins, G. (1976). *Time Series Analysis*. 1st ed. San Francisco: Holden-Day.
- Bredin, D. and Muckley, C. (2009). An Analysis of the EU Emission Trading Scheme. *University College Dublin. School of Business. Centre for Financial Markets*.
- Brohe, A., Eyre, N. and Howarth, N. (2009). *Carbon Markets An International Business Guide Environmental Market Insights*. 1st ed. London: Earthscan.
- Chevallier, J. (2009). Carbon Futures and Macroeconomic Risk Factors: A View from the EU ETS. *Energy Economics*, 31(4), pp.614--625.
- Chevallier, J. (2011a). Carbon Price Drivers: An Updated Literature Review. *Available at SSRN 1811963*.
- Chevallier, J. (2011b). *Econometric Analysis of Carbon Markets*. 1st ed. New York: Springer.
- Chevallier, J. (2011c). Macroeconomics, Finance, Commodities: Interactions with Carbon Markets in a Data-Rich Model. *Economic Modelling*, 28(1), pp.557--567.
- Chow, G. (1960). Tests of Equality Between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp.591--605.
- Christiansen, A., Arvanitakis, A., Tangen, K. and Hasselknippe, H. (2005). Price Determinants in the EU Emissions Trading Scheme. *Climate Policy*, 5(1), pp.15--30.
- Creti, A., Jouvét, P. and Mignon, V. (2012). Carbon Price Drivers: Phase I versus Phase II

- Equilibrium?. *Energy Economics*, 34(1), pp.327--334.
- Engle, R. and Granger, C. (1987). Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp.251--276.
- Engle, R. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp.987--1007.
- Granger, C. and Newbold, P. (1974). Spurious Regressions in Econometrics. *Journal of Econometrics*, 2(2), pp.111--120.
- Granger, C. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp.424--438.
- Granger, C. (1981). Some Properties of Time Series Data and Their Use in Econometric Model Specification. *Journal of Econometrics*, 16, pp.121-130.
- Gudbrandsdottir, H. and Haraldsson, H. (2011). Predicting the Price of EU ETS Carbon Credits. *Systems Engineering Procedia*, 1, pp.481--489.
- Hansen, P. and Lunde, A. (2001). A Forecast Comparison of Volatility Models: Does Anything Beat a GARCH (1, 1).
- Hintermann, B. (2010). Allowance Price Drivers in the First Phase of the EU ETS. *Journal of Environmental Economics and Management*, 59(1), pp.43--56.
- Johansen, S. (1988). Statistical Analysis of Cointegration Vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2), pp.231--254.
- Keppler, J. and Mansanet-Bataller, M. (2010). Causalities Between CO₂, Electricity, and Other Energy Variables During Phase I and Phase II of the EU ETS. *Energy Policy*, 38(7), pp.3329--3341.
- Kim, H. and Koo, W. (2010). Factors Affecting the Carbon Allowance Market in the US. *Energy Policy*, 38(4), pp.1879--1884.
- Kozhan, R. (2010). *Financial Econometrics - with Eviews*. 1st ed. Roman Kozhan & Ventus Publishing ApS.
- Mansanet-Bataller, M., Pardo, A. and Valor, E. (2007). CO₂, Prices, Energy and Weather. *The Energy Journal*, pp.73--92.

Maydybura, A. and Andrew, B. (2012). A Study of the Determinants of Emissions Unit Allowance Price in the European Union Emissions Trading Scheme. *Australasian Accounting Business and Finance Journal*, 5(4), pp.123--142.

Ιστοσελίδες

The EU Emissions Trading System (EU ETS) - European Commission:
http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm

Sustainability / University of Arkansas: <http://sustainability.uark.edu/>

United Nations Framework Convention on Climate Change: <http://unfccc.int/2860.php>

Παράρτημα

Παράρτημα 1: Περιγραφικά Στατιστικά Μεταβλητών

	CO2	EUX100	GSCI	ICOAL	ICOILB	IELEC	INDPR	INGAS
Mean	14.12984	641.6261	4997.410	102.9475	89.92343	51.39054	100.9548	49.12001
Median	14.19000	648.5200	4647.703	97.33000	85.59000	45.30000	102.3600	54.33000
Maximum	27.30000	895.0200	10898.10	217.7500	146.0800	116.2200	112.9400	85.26000
Minimum	6.290000	434.6100	3200.265	51.75000	36.61000	32.89000	90.23227	20.10000
Std. Dev.	4.485298	77.73855	1432.585	32.48281	24.95546	20.16531	5.519552	14.76842
Skewness	0.851225	0.191380	2.452942	1.242411	-0.073419	1.982459	-0.144330	-0.251655
Kurtosis	4.303293	3.348602	8.904832	4.690268	2.042396	6.470824	2.419165	2.035025
Jarque-Bera	177.5556	10.35257	2276.354	348.8360	36.25213	1072.508	16.24931	45.75124
Probability	0.000000	0.005649	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000296	0.000000
Sum	13098.36	594787.4	4632599.	95432.30	83359.02	47639.03	93585.11	45534.25
Sum Sq. Dev.	18629.17	5596079.	1.90E+09	977053.0	576689.7	376548.2	28211.02	201966.5
Observations	927	927	927	927	927	927	927	927

Παράρτημα 2: Συσχετίσεις Μεταβλητών

	DCO	DCOAL	DELEC	DEUX100	DGAS	DGSCI	DINDPR	DOIL
DCO	1.000000	0.253913	0.020176	0.168202	0.110819	0.183240	0.099533	0.160383
DCOAL	0.253913	1.000000	0.184469	0.366618	0.295479	0.390720	0.104869	0.362607
DELEC	0.020176	0.184469	1.000000	0.142519	0.156812	0.148259	0.043276	0.151494
DEUX100	0.168202	0.366618	0.142519	1.000000	0.136625	0.493062	0.080334	0.442167
DGAS	0.110819	0.295479	0.156812	0.136625	1.000000	0.149398	0.084417	0.133419
DGSCI	0.183240	0.390720	0.148259	0.493062	0.149398	1.000000	0.127952	0.929337
DINDPR	0.099533	0.104869	0.043276	0.080334	0.084417	0.127952	1.000000	0.097210
DOIL	0.160383	0.362607	0.151494	0.442167	0.133419	0.929337	0.097210	1.000000

Παράρτημα 3: Έλεγχος Συνολοκλήρωσης κατά Johansen

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.075779	213.7325	143.6691	0.0000
At most 1 *	0.055256	141.0755	111.7805	0.0002
At most 2 *	0.033963	88.66777	83.93712	0.0218
At most 3	0.021970	56.80941	60.06141	0.0912
At most 4	0.018368	36.32741	40.17493	0.1158
At most 5	0.010644	19.23433	24.27596	0.1897
At most 6	0.009358	9.368276	12.32090	0.1487
At most 7	0.000758	0.699140	4.129906	0.4622

Παράρτημα 4: Έλεγχος Αιτιότητας κατά Granger

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEUX100 does not Granger Cause DCO	924	4.89317	0.0077
DCO does not Granger Cause DEUX100		0.61187	0.5426
DGAS does not Granger Cause DCO	924	3.73394	0.0243
DCO does not Granger Cause DGAS		0.01413	0.9860
DGSCI does not Granger Cause DCO	924	11.0546	2.E-05
DCO does not Granger Cause DGSCI		0.05113	0.9502
DINDPR does not Granger Cause DCO	924	4.84776	0.0080
DCO does not Granger Cause DINDPR		1.09116	0.3363
DOIL does not Granger Cause DCO	924	9.47520	8.E-05
DCO does not Granger Cause DOIL		0.07857	0.9244
DELEC does not Granger Cause DCO	924	0.10967	0.8961
DCO does not Granger Cause DELEC		1.07776	0.3408
DCOAL does not Granger Cause DCO	924	2.39637	0.0916
DCO does not Granger Cause DCOAL		0.60378	0.5470

Παράρτημα 5: Αποτελέσματα OLS για Όλο το Δείγμα

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.001932	0.001686	1.145690	0.2522
DCOAL	0.244938	0.043336	5.652019	0.0000
DELEC	-0.024155	0.022871	-1.056134	0.2912
DEUX100	0.076335	0.048706	1.567271	0.1174
DGAS	0.023643	0.023239	1.017391	0.3092
DGSCI	0.164565	0.110661	1.487111	0.1373
DINDPR	1.433920	0.873400	1.641767	0.1010
DOIL	-0.067068	0.079552	-0.843072	0.3994
M	-0.000431	0.000226	-1.902921	0.0574
EE(-1)	-0.001586	0.000524	-3.029933	0.0025
R-squared	0.095251	Mean dependent var		-0.001440
Adjusted R-squared	0.086361	S.D. dependent var		0.024069
S.E. of regression	0.023007	Akaike info criterion		-4.695328
Sum squared resid	0.484843	Schwarz criterion		-4.643159
Log likelihood	2183.937	Hannan-Quinn criter.		-4.675427
F-statistic	10.71500	Durbin-Watson stat		2.075712
Prob(F-statistic)	0.000000			

Παράρτημα 6: Αποτελέσματα GARCH για Όλο το Δείγμα

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.003249	0.001456	2.230817	0.0257
DCOAL	0.230178	0.034323	6.706313	0.0000
DELEC	-0.017472	0.013955	-1.252024	0.2106
DEUX100	0.082222	0.042218	1.947552	0.0515

DGAS	0.029293	0.017271	1.696047	0.0899
DGSCI	0.141041	0.095801	1.472234	0.1410
DINDPR	1.138881	0.854144	1.333359	0.1824
DOIL	-0.043449	0.070088	-0.619918	0.5353
M	-0.000568	0.000193	-2.948771	0.0032
EE(-1)	-0.001046	0.000465	-2.247821	0.0246

Variance Equation

C	5.08E-06	2.16E-06	2.345853	0.0190
RESID(-1)^2	0.068827	0.011732	5.866693	0.0000
GARCH(-1)	0.923383	0.012504	73.84592	0.0000

R-squared	0.093134	Mean dependent var	-0.001440
Adjusted R-squared	0.084224	S.D. dependent var	0.024069
S.E. of regression	0.023034	Akaike info criterion	-4.892589
Sum squared resid	0.485977	Schwarz criterion	-4.824769
Log likelihood	2278.269	Hannan-Quinn criter.	-4.866717
Durbin-Watson stat	2.086981		

Παράρτημα 7: Αποτελέσματα OLS Ενεργειακών Μεταβλητών για Όλο το Δείγμα

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.002167	0.001667	1.300090	0.1939
DCOAL	0.264495	0.042203	6.267271	0.0000
DELEC	-0.028263	0.022917	-1.233270	0.2178
DGAS	0.030656	0.023332	1.313908	0.1892
DOIL	0.070332	0.031687	2.219592	0.0267
M	-0.000508	0.000221	-2.302458	0.0215

R-squared	0.077852	Mean dependent var	-0.001440
Adjusted R-squared	0.072841	S.D. dependent var	0.024069
S.E. of regression	0.023176	Akaike info criterion	-4.684920
Sum squared resid	0.494167	Schwarz criterion	-4.653619
Log likelihood	2175.118	Hannan-Quinn criter.	-4.672979
F-statistic	15.53417	Durbin-Watson stat	2.081449
Prob(F-statistic)	0.000000		

Παράρτημα 8: Αποτελέσματα GARCH Ενεργειακών Μεταβλητών για Όλο το Δείγμα

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.003065	0.001427	2.148340	0.0317
DCOAL	0.245992	0.033700	7.299543	0.0000
DELEC	-0.020813	0.013747	-1.514047	0.1300
DGAS	0.033301	0.018057	1.844211	0.0652
DOIL	0.082986	0.024136	3.438250	0.0006
M	-0.000578	0.000188	-3.079121	0.0021

Variance Equation

C	4.59E-06	2.10E-06	2.183567	0.0290
RESID(-1)^2	0.069427	0.011820	5.873774	0.0000
GARCH(-1)	0.924200	0.012339	74.90045	0.0000

R-squared	0.077024	Mean dependent var	-0.001440
-----------	----------	--------------------	-----------

Adjusted R-squared	0.072008	S.D. dependent var	0.024069
S.E. of regression	0.023187	Akaike info criterion	-4.884826
Sum squared resid	0.494610	Schwarz criterion	-4.837874
Log likelihood	2270.675	Hannan-Quinn criter.	-4.866915
Durbin-Watson stat	2.084361		

Παράρτημα 9: Αποτελέσματα OLS Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για Όλο το Δείγμα

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
M	-0.000359	0.000230	-1.562047	0.1186
C	0.001352	0.001708	0.791293	0.4290
DEUX100	0.134037	0.048465	2.765631	0.0058
DGSCI	0.153361	0.046170	3.321622	0.0009
DINDPR	1.680439	0.883824	1.901327	0.0576
R-squared	0.049719	Mean dependent var	-0.001440	
Adjusted R-squared	0.045592	S.D. dependent var	0.024069	
S.E. of regression	0.023514	Akaike info criterion	-4.657028	
Sum squared resid	0.509243	Schwarz criterion	-4.630943	
Log likelihood	2161.204	Hannan-Quinn criter.	-4.647077	
F-statistic	12.04673	Durbin-Watson stat	2.110258	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Παράρτημα 10: Αποτελέσματα GARCH Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για Όλο το Δείγμα

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
M	-0.000427	0.000194	-2.203476	0.0276
C	0.002094	0.001414	1.481563	0.1385
DEUX100	0.111008	0.044743	2.481023	0.0131
DGSCI	0.145571	0.041127	3.539572	0.0004
DINDPR	1.721276	0.942597	1.826099	0.0678
Variance Equation				
C	4.20E-06	1.80E-06	2.324657	0.0201
RESID(-1)^2	0.060676	0.010064	6.028846	0.0000
GARCH(-1)	0.932893	0.010876	85.77905	0.0000
R-squared	0.049016	Mean dependent var	-0.001440	
Adjusted R-squared	0.044885	S.D. dependent var	0.024069	
S.E. of regression	0.023523	Akaike info criterion	-4.853651	
Sum squared resid	0.509620	Schwarz criterion	-4.811916	
Log likelihood	2255.241	Hannan-Quinn criter.	-4.837730	
Durbin-Watson stat	2.106264			

Παράρτημα 11: Έλεγχος Chow για την Πρώτη Δομική Διακοπή

Chow Breakpoint Test: 2/27/2009
Null Hypothesis: No breaks at specified breakpoints
Equation Sample: 5/26/2008 6/11/2012

F-statistic	5.764807	Prob. F(14,896)	0.0000
Log likelihood ratio	79.69186	Prob. Chi-Square(14)	0.0000

Wald Statistic	529.1241	Prob. Chi-Square(14)	0.0000
----------------	----------	----------------------	--------

Παράρτημα 12: Έλεγχος Chow για τη Δεύτερη Δομική Διακοπή

Chow Breakpoint Test: 6/13/2011
 Null Hypothesis: No breaks at specified breakpoints
 Equation Sample: 5/26/2008 6/11/2012

F-statistic	3.144064	Prob. F(14,896)	0.0001
Log likelihood ratio	44.31267	Prob. Chi-Square(14)	0.0001
Wald Statistic	258.9672	Prob. Chi-Square(14)	0.0000

Παράρτημα 13: Αποτελέσματα OLS για την Πρώτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.003372	0.004546	-0.741744	0.4592
DCOAL	0.283120	0.069684	4.062887	0.0001
DELEC	-0.068559	0.029603	-2.315968	0.0217
DEUX100	0.094315	0.082483	1.143458	0.2544
DGAS	-0.040668	0.040608	-1.001486	0.3180
DGSCI	0.320714	0.185999	1.724276	0.0864
DINDPR	2.340173	2.700753	0.866489	0.3874
DOIL	-0.121061	0.129095	-0.937772	0.3496
M	0.000668	0.000696	0.959934	0.3384
R-squared	0.225314	Mean dependent var		-0.003910
Adjusted R-squared	0.190497	S.D. dependent var		0.029979
S.E. of regression	0.026973	Akaike info criterion		-4.341050
Sum squared resid	0.129500	Schwarz criterion		-4.185542
Log likelihood	414.8882	Hannan-Quinn criter.		-4.278038
F-statistic	6.471314	Durbin-Watson stat		2.072668
Prob(F-statistic)	0.000000			

Παράρτημα 14: Αποτελέσματα GARCH για την Πρώτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.005676	0.004074	-1.393072	0.1636
DCOAL	0.309628	0.064976	4.765272	0.0000
DELEC	-0.064653	0.026339	-2.454680	0.0141
DEUX100	0.123435	0.090167	1.368960	0.1710
DGAS	-0.024611	0.029351	-0.838515	0.4017
DGSCI	0.477684	0.189912	2.515294	0.0119
DINDPR	1.911916	2.312797	0.826668	0.4084
DOIL	-0.218337	0.131483	-1.660569	0.0968
M	0.000918	0.000506	1.814376	0.0696
Variance Equation				
C	1.31E-05	2.01E-05	0.651120	0.5150
RESID(-1)^2	0.072349	0.035456	2.040502	0.0413
GARCH(-1)	0.919012	0.060198	15.26655	0.0000
R-squared	0.213023	Mean dependent var		-0.003910

Adjusted R-squared	0.177653	S.D. dependent var	0.029979
S.E. of regression	0.027186	Akaike info criterion	-4.470227
Sum squared resid	0.131555	Schwarz criterion	-4.262883
Log likelihood	429.9662	Hannan-Quinn criter.	-4.386211
Durbin-Watson stat	2.072794		

Παράρτημα 15: Αποτελέσματα OLS Ενεργειακών Μεταβλητών για την Πρώτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.004780	0.004548	-1.051177	0.2946
DCOAL	0.333580	0.065266	5.111074	0.0000
DELEC	-0.063701	0.029717	-2.143621	0.0334
DGAS	-0.027712	0.040454	-0.685038	0.4942
DOIL	0.098679	0.051007	1.934610	0.0546
M	0.000397	0.000562	0.706086	0.4810

R-squared	0.197904	Mean dependent var	-0.003910
Adjusted R-squared	0.175747	S.D. dependent var	0.029979
S.E. of regression	0.027217	Akaike info criterion	-4.338365
Sum squared resid	0.134082	Schwarz criterion	-4.234693
Log likelihood	411.6372	Hannan-Quinn criter.	-4.296357
F-statistic	8.931776	Durbin-Watson stat	2.016499
Prob(F-statistic)	0.000000		

Παράρτημα 16: Αποτελέσματα GARCH Ενεργειακών Μεταβλητών για την Πρώτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.007780	0.001951	-3.987183	0.0001
DCOAL	0.349649	0.048026	7.280412	0.0000
DELEC	-0.056599	0.027243	-2.077580	0.0377
DGAS	-0.014472	0.032279	-0.448330	0.6539
DOIL	0.132123	0.041090	3.215435	0.0013
M	0.000780	0.000384	2.032452	0.0421

Variance Equation				
C	-6.79E-06	6.16E-06	-1.102636	0.2702
RESID(-1)^2	-0.021939	0.022110	-0.992248	0.3211
GARCH(-1)	1.051676	0.022053	47.68839	0.0000

R-squared	0.190405	Mean dependent var	-0.003910
Adjusted R-squared	0.168041	S.D. dependent var	0.029979
S.E. of regression	0.027344	Akaike info criterion	-4.536223
Sum squared resid	0.135335	Schwarz criterion	-4.380715
Log likelihood	433.1368	Hannan-Quinn criter.	-4.473211
Durbin-Watson stat	2.011028		

Παράρτημα 17: Αποτελέσματα OLS Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για την Πρώτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
M	0.000748	0.000708	1.056706	0.2920
C	-0.004105	0.004697	-0.873951	0.3833
DEUX100	0.190321	0.079902	2.381918	0.0183
DGSCI	0.219160	0.073797	2.969761	0.0034
DINDPR	2.930601	2.749464	1.065881	0.2879
R-squared	0.131551	Mean dependent var		-0.003910
Adjusted R-squared	0.112464	S.D. dependent var		0.029979
S.E. of regression	0.028243	Akaike info criterion		-4.269579
Sum squared resid	0.145174	Schwarz criterion		-4.183186
Log likelihood	404.2056	Hannan-Quinn criter.		-4.234572
F-statistic	6.892229	Durbin-Watson stat		2.126702
Prob(F-statistic)	0.000035			

Παράρτημα 18: Αποτελέσματα GARCH Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για την Πρώτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
M	0.000648	1.93E-05	33.56876	0.0000
C	-0.004945	0.002043	-2.420032	0.0155
DEUX100	0.196314	0.073684	2.664276	0.0077
DGSCI	0.293883	0.063941	4.596188	0.0000
DINDPR	1.228754	1.661990	0.739327	0.4597
Variance Equation				
C	-7.82E-06	7.36E-06	-1.061336	0.2885
RESID(-1)^2	-0.023534	0.022987	-1.023806	0.3059
GARCH(-1)	1.052165	0.023073	45.60083	0.0000
R-squared	0.124000	Mean dependent var		-0.003910
Adjusted R-squared	0.104747	S.D. dependent var		0.029979
S.E. of regression	0.028365	Akaike info criterion		-4.458945
Sum squared resid	0.146436	Schwarz criterion		-4.320715
Log likelihood	424.9113	Hannan-Quinn criter.		-4.402934
Durbin-Watson stat	2.144552			

Παράρτημα 19: Αποτελέσματα OLS για τη Δεύτερη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.003006	0.001793	1.676477	0.0943
M	-0.000505	0.000232	-2.175591	0.0301
DCOAL	0.127704	0.054689	2.335103	0.0199
DELEC	0.000297	0.050227	0.005904	0.9953
DEUX100	-0.030411	0.076690	-0.396546	0.6919
DGAS	0.048847	0.027745	1.760570	0.0789
DGSCI	-0.099032	0.145653	-0.679920	0.4969
DINDPR	1.531601	1.226029	1.249237	0.2122
DOIL	0.095523	0.110465	0.864736	0.3876

R-squared	0.037319	Mean dependent var	0.000411
Adjusted R-squared	0.021916	S.D. dependent var	0.017707
S.E. of regression	0.017512	Akaike info criterion	-5.234295
Sum squared resid	0.153342	Schwarz criterion	-5.159458
Log likelihood	1341.128	Hannan-Quinn criter.	-5.204951
F-statistic	2.422840	Durbin-Watson stat	2.205237
Prob(F-statistic)	0.014180		

Παράρτημα 20: Αποτελέσματα GARCH για τη Δεύτερη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.002797	0.001397	2.002807	0.0452
DCOAL	0.111903	0.050994	2.194419	0.0282
DELEC	0.018718	0.057996	0.322749	0.7469
DEUX100	-0.046762	0.067119	-0.696698	0.4860
DGAS	0.051999	0.025572	2.033418	0.0420
DGSCI	-0.048535	0.133289	-0.364130	0.7158
DINDPR	1.436107	1.414282	1.015432	0.3099
DOIL	0.066606	0.099317	0.670645	0.5024
M	-0.000498	0.000195	-2.548491	0.0108

Variance Equation

C	-4.32E-07	5.87E-07	-0.735384	0.4621
RESID(-1)^2	-0.011103	0.005653	-1.964220	0.0495
GARCH(-1)	1.010333	0.008709	116.0083	0.0000

R-squared	0.036442	Mean dependent var	0.000411
Adjusted R-squared	0.021025	S.D. dependent var	0.017707
S.E. of regression	0.017520	Akaike info criterion	-5.419905
Sum squared resid	0.153481	Schwarz criterion	-5.320122
Log likelihood	1391.366	Hannan-Quinn criter.	-5.380780
Durbin-Watson stat	2.202798		

Παράρτημα 21: Αποτελέσματα OLS Ενεργειακών Μεταβλητών για τη Δεύτερη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.003802	0.001702	2.234261	0.0259
DCOAL	0.121920	0.054305	2.245085	0.0252
DELEC	-0.004478	0.050055	-0.089455	0.9288
DGAS	0.052144	0.027567	1.891570	0.0591
DOIL	0.010481	0.041351	0.253463	0.8000
M	-0.000550	0.000230	-2.393750	0.0170

R-squared	0.032776	Mean dependent var	0.000411
Adjusted R-squared	0.023162	S.D. dependent var	0.017707
S.E. of regression	0.017501	Akaike info criterion	-5.241375
Sum squared resid	0.154065	Schwarz criterion	-5.191484
Log likelihood	1339.930	Hannan-Quinn criter.	-5.221813
F-statistic	3.409037	Durbin-Watson stat	2.202077
Prob(F-statistic)	0.004869		

Παράρτημα 22: Αποτελέσματα GARCH Ενεργειακών Μεταβλητών για τη Δεύτερη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.003227	0.001324	2.437349	0.0148
DCOAL	0.110358	0.050654	2.178653	0.0294
DELEC	0.016781	0.057997	0.289333	0.7723
DGAS	0.052393	0.025909	2.022189	0.0432
DOIL	0.018927	0.031474	0.601359	0.5476
M	-0.000512	0.000195	-2.626324	0.0086
Variance Equation				
C	-3.50E-07	5.21E-07	-0.670313	0.5027
RESID(-1)^2	-0.010934	0.005652	-1.934706	0.0530
GARCH(-1)	1.009707	0.008367	120.6794	0.0000
R-squared	0.031944	Mean dependent var		0.000411
Adjusted R-squared	0.022321	S.D. dependent var		0.017707
S.E. of regression	0.017509	Akaike info criterion		-5.427487
Sum squared resid	0.154198	Schwarz criterion		-5.352650
Log likelihood	1390.296	Hannan-Quinn criter.		-5.398144
Durbin-Watson stat	2.202802			

Παράρτημα 23: Αποτελέσματα OLS Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για τη Δεύτερη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.002778	0.001790	1.552100	0.1213
M	-0.000438	0.000232	-1.888049	0.0596
DGSCI	0.050384	0.060856	0.827927	0.4081
DEUX100	-0.017591	0.077164	-0.227963	0.8198
DINDPR	1.738297	1.226345	1.417462	0.1570
R-squared	0.013226	Mean dependent var		0.000411
Adjusted R-squared	0.005394	S.D. dependent var		0.017707
S.E. of regression	0.017660	Akaike info criterion		-5.225293
Sum squared resid	0.157179	Schwarz criterion		-5.183716
Log likelihood	1334.837	Hannan-Quinn criter.		-5.208991
F-statistic	1.688753	Durbin-Watson stat		2.222986
Prob(F-statistic)	0.151246			

Παράρτημα 24: Αποτελέσματα GARCH Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για τη Δεύτερη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.002542	0.001415	1.796068	0.0725
M	-0.000420	0.000192	-2.180414	0.0292
DGSCI	0.066913	0.048669	1.374869	0.1692
DEUX100	-0.050938	0.068536	-0.743233	0.4573
DINDPR	1.548347	1.576432	0.982185	0.3260
Variance Equation				
C	-3.62E-07	5.79E-07	-0.625479	0.5317

RESID(-1)^2	-0.011567	0.005455	-2.120324	0.0340
GARCH(-1)	1.010514	0.008383	120.5467	0.0000
R-squared	0.012699	Mean dependent var		0.000411
Adjusted R-squared	0.004863	S.D. dependent var		0.017707
S.E. of regression	0.017664	Akaike info criterion		-5.407138
Sum squared resid	0.157263	Schwarz criterion		-5.340616
Log likelihood	1384.117	Hannan-Quinn criter.		-5.381055
Durbin-Watson stat	2.221285			

Παράρτημα 25: Αποτελέσματα OLS για την Τρίτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.003213	0.004162	0.771860	0.4410
DCOAL	0.475143	0.256940	1.849238	0.0658
DELEC	0.109391	0.125080	0.874568	0.3828
DEUX100	0.027634	0.140141	0.197190	0.8439
DGAS	0.146280	0.095137	1.537564	0.1256
DGSCI	0.553489	0.377753	1.465213	0.1443
DINDPR	2.889671	3.346308	0.863540	0.3888
DOIL	-0.294155	0.266435	-1.104043	0.2708
M	-0.000843	0.000566	-1.490204	0.1376
R-squared	0.089760	Mean dependent var		-0.003713
Adjusted R-squared	0.056203	S.D. dependent var		0.029959
S.E. of regression	0.029105	Akaike info criterion		-4.196784
Sum squared resid	0.183825	Schwarz criterion		-4.060568
Log likelihood	483.2366	Hannan-Quinn criter.		-4.141813
F-statistic	2.674830	Durbin-Watson stat		2.085904
Prob(F-statistic)	0.008027			

Παράρτημα 26: Αποτελέσματα GARCH για την Τρίτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.003196	0.004420	0.723105	0.4696
DCOAL	0.265145	0.212841	1.245746	0.2129
DELEC	0.105294	0.123238	0.854396	0.3929
DEUX100	0.075526	0.113550	0.665135	0.5060
DGAS	0.095252	0.075621	1.259605	0.2078
DGSCI	0.625145	0.390635	1.600331	0.1095
DINDPR	2.282422	3.676843	0.620756	0.5348
DOIL	-0.290734	0.287756	-1.010349	0.3123
M	-0.000816	0.000551	-1.480520	0.1387
Variance Equation				
C	2.61E-05	2.38E-05	1.097003	0.2726
RESID(-1)^2	0.081907	0.037203	2.201611	0.0277
GARCH(-1)	0.885736	0.054047	16.38810	0.0000
R-squared	0.082965	Mean dependent var		-0.003713
Adjusted R-squared	0.049158	S.D. dependent var		0.029959
S.E. of regression	0.029214	Akaike info criterion		-4.243156
Sum squared resid	0.185197	Schwarz criterion		-4.061535
Log likelihood	491.4766	Hannan-Quinn criter.		-4.169861

Durbin-Watson stat 2.076028

Παράρτημα 27: Αποτελέσματα OLS Ενεργειακών Μεταβλητών για την Τρίτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.003053	0.004169	0.732240	0.4648
DCOAL	0.527825	0.245039	2.154046	0.0323
DELEC	0.104741	0.125274	0.836094	0.4040
DGAS	0.120131	0.094118	1.276397	0.2032
DOIL	0.122171	0.122396	0.998162	0.3193
M	-0.000883	0.000562	-1.570707	0.1177
R-squared	0.072828	Mean dependent var		-0.003713
Adjusted R-squared	0.051755	S.D. dependent var		0.029959
S.E. of regression	0.029174	Akaike info criterion		-4.204901
Sum squared resid	0.187244	Schwarz criterion		-4.114091
Log likelihood	481.1539	Hannan-Quinn criter.		-4.168254
F-statistic	3.456114	Durbin-Watson stat		2.093505
Prob(F-statistic)	0.005004			

Παράρτημα 28: Αποτελέσματα GARCH Ενεργειακών Μεταβλητών για την Τρίτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.002766	0.004691	0.589680	0.5554
DCOAL	0.379220	0.209823	1.807336	0.0707
DELEC	0.098730	0.121567	0.812146	0.4167
DGAS	0.065510	0.074755	0.876327	0.3809
DOIL	0.213968	0.126018	1.697922	0.0895
M	-0.000823	0.000564	-1.460856	0.1441
Variance Equation				
C	2.05E-05	2.07E-05	0.987916	0.3232
RESID(-1)^2	0.065351	0.028869	2.263721	0.0236
GARCH(-1)	0.910491	0.042577	21.38458	0.0000
R-squared	0.067246	Mean dependent var		-0.003713
Adjusted R-squared	0.046047	S.D. dependent var		0.029959
S.E. of regression	0.029261	Akaike info criterion		-4.236373
Sum squared resid	0.188372	Schwarz criterion		-4.100157
Log likelihood	487.7101	Hannan-Quinn criter.		-4.181402
Durbin-Watson stat	2.090069			

Παράρτημα 29: Αποτελέσματα OLS Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για την Τρίτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.002465	0.004155	0.593343	0.5536
M	-0.000914	0.000568	-1.609005	0.1090
DEUX100	0.112867	0.139262	0.810460	0.4185
DGSCI	0.288656	0.204111	1.414213	0.1587
DINDPR	0.323730	3.262582	0.099225	0.9210
R-squared	0.045349	Mean dependent var		-0.003787
Adjusted R-squared	0.028148	S.D. dependent var		0.029914
S.E. of regression	0.029490	Akaike info criterion		-4.187738
Sum squared resid	0.193067	Schwarz criterion		-4.112298
Log likelihood	480.3082	Hannan-Quinn criter.		-4.157297
F-statistic	2.636427	Durbin-Watson stat		2.041339
Prob(F-statistic)	0.034942			

Παράρτημα 30: Αποτελέσματα GARCH Μακροχρηματοοικονομικών Μεταβλητών για την Τρίτη Υποπερίοδο

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.002434	0.004556	0.534107	0.5933
DEUX100	0.148362	0.114463	1.296156	0.1949
DGSCI	0.335427	0.199155	1.684252	0.0921
DINDPR	-0.781844	3.650945	-0.214148	0.8304
M	-0.000821	0.000557	-1.474233	0.1404
Variance Equation				
C	1.77E-05	1.71E-05	1.030788	0.3026
RESID(-1)^2	0.078234	0.033494	2.335746	0.0195
GARCH(-1)	0.902087	0.042016	21.46984	0.0000
R-squared	0.043078	Mean dependent var		-0.003787
Adjusted R-squared	0.025836	S.D. dependent var		0.029914
S.E. of regression	0.029525	Akaike info criterion		-4.255542
Sum squared resid	0.193526	Schwarz criterion		-4.134839
Log likelihood	491.0040	Hannan-Quinn criter.		-4.206837
Durbin-Watson stat	2.046964			