

«Θεωρητική και Εμπειρική ανάλυση της περιβαλλοντικής καμπύλης
Kuznet (ΕΚC) για την Ελλάδα την περίοδο 1990-2018»



Πτυχιακή εργασία

Ζαχαρίου Φωτεινή

Τμήμα Οικονομικών Επιστήμων

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

Επιβλέπων καθηγητής:

Ελευθέριος Φιλιπιάδης

Σεπτέμβριος 2021

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Εισαγωγή.....	5
Μέρος 1 ^ο : Θεωρητική Ανάλυση.....	6
1. Καμπύλη Kuznet και η Περιβαλλοντική της μορφή	6
1.1 Καμπύλη Kuznet	6
1.2 Περιβαλλοντική καμπύλη Kuznet (ΕΚC)	7
1.3 Κριτικές καμπύλης Kuznet.....	8
2. Ανάλυση άρθρου και βιβλιογραφική επισκόπηση	9
2.1 Ανάλυση άρθρου «Environmental Kuznets Curve in Greece in the Period 1960 2014» 9	
2.2 Βιβλιογραφική επισκόπηση.....	10
Μέρος 2 ^ο : Εμπειρική Ανάλυση.....	14
1. Εισαγωγικές έννοιες	15
2. Δεδομένα και περιγραφικές στατιστικές	16
3. Μεθοδολογία	19
3.1 Υποδείγματα VAR	19
3.2 Κριτήρια επιλογής υστερήσεων VAR.....	20
3.3 Συνολοκλήρωση κατά Johansen.....	20
3.4 Αιτιότητα κατά Granger	21
4. Αποτελέσματα	22
4.1 Εκτίμηση VAR.....	22
4.2 Έλεγχος αυτοσυσχέτισης και κανονικότητας των καταλοίπων.....	24
4.3 Έλεγχος υστερήσεων.....	25
4.4 Έλεγχος συνολοκλήρωσης Johansen.....	26
4.5 Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger	27
4.6 Πιθανές ερμηνείες	30
5. Συμπεράσματα.....	31
Παράρτημα 1	33
Παράρτημα 2	34
Παράρτημα 3	36
Βιβλιογραφία.....	37

Εικόνα 1 Μορφή καμπύλης Kuznet	7
Εικόνα 2 Απεικόνιση σχέσης μεταξύ CO2 και GDP	31
Διάγραμμα 1 Ταυτόχρονη απεικόνιση των αποδόσεων όλων των μεταβλητών	18
Διάγραμμα 2 Διαγραμματική απεικόνιση αποδόσεων μεταβλητών.....	33
Διάγραμμα 3 Διαγραμματική απεικόνιση αποδόσεων μεταβλητών στο υπόδειγμα VAR.....	36
Πίνακας 1 Περιγραφικές στατικές των αποδόσεων των μεταβλητών.....	17
Πίνακας 2 Αποτελέσματα εκτίμησης υποδείγματος VAR.....	22
Πίνακας 3 Αποτελέσματα ελέγχου αυτοσυσχέτισης των καταλοίπων.....	24
Πίνακας 4 Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας των καταλοίπων.....	25
Πίνακας 5 Αποτελέσματα ελέγχου υστερήσεων του υποδείγματος.....	25
Πίνακας 6 Αποτελέσματα ελέγχου συνολοκλήρωσης.....	26
Πίνακας 7 Αποτελέσματα ελέγχου συνολοκλήρωσης του Johansen	27
Πίνακας 8 Αιτιότητα διοξειδίου του άνθρακα.....	28
Πίνακας 9 Αιτιότητα Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος	29
Πίνακας 10 Αιτιότητα πρωτογενούς ενέργειας	29
Πίνακας 11 Αιτιότητα διοξειδίου αζώτου και θείου	30
Πίνακας 12 Αποτελέσματα ελέγχου στασιμότητας.....	34

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει σκοπό να εξετάσει την σχέση μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και ρύπανσης του περιβάλλοντος. Θα εξετάσουμε την εγκυρότητα της υπόθεσης της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet με τελικό σκοπό την διαπίστωση για το αν η οικονομική ανάπτυξη θα αποτελούσε λύση για την περιβαλλοντική υποβάθμιση. Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιήσουμε αφορούν την περίπτωση της Ελλάδας για την χρονική περίοδο 1990-2018. Αρχικά θα παρουσιάσουμε κάποιες θεωρητικές έννοιες που αφορούν την καμπύλη Kuznets, την προέλευση της, τις κριτικές που έχει υποστεί, καθώς και έρευνες που έχουν γίνει στηριζόμενες σε αυτή την θεωρία. Στη συνέχεια μέσα από εμπειρικούς ελέγχους αιτιότητας και συνολοκλήρωσης αποδεικνύουμε ότι η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznet δεν είναι έγκυρη για το δείγμα μας.

Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η εμπειρική διερεύνηση για την εγκυρότητα της υπόθεσης της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet. Σύμφωνα με την θεωρία της καμπύλης Kuznet, όσο αναπτύσσεται η οικονομία, το περιβάλλον υποβαθμίζεται όλο και πιο έντονα μέχρι ένα σημείο, που από εκεί και έπειτα η ρύπανση αρχίζει να μειώνεται. Αυτό συμβαίνει γιατί, καθώς αναπτύσσεται η οικονομία χρησιμοποιούνται φυσικοί πόροι, αλλά με την χρήση τεχνολογικών μεθόδων μπορεί η σπατάλη αυτή να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό. Σκοπός αυτής της θεωρίας είναι να εξετάσει αν οι πολιτικές οικονομικής ανάπτυξης μπορούν να θεωρηθούν λύση για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Η εγκυρότητας της υπόθεσης αυτής, είναι αρκετά ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα, καθώς τα περιβαλλοντικά προβλήματα στις μέρες μας, αυξάνονται με ταχύ ρυθμό και πρέπει να προβούμε στην αντιμετώπισή τους. Είναι σημαντικό να λαμβάνονται, εγκαίρως, μέτρα πολιτικής για την προστασία του περιβάλλοντος τα οποία να στηρίζονται σε κάποια θεωρία, και όταν είναι δυνατόν, και σε έγκυρα αποτελέσματα εμπειρικών ερευνών.

Η παρούσα μελέτη είναι βασισμένη και εμπνευσμένη από την έρευνα των Erasmia Kotroni, Dimitra Kaika, Efthimios Zervas με τίτλο «Environmental Kuznets Curve in Greece in the Period 1960-2014». Χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες οικονομετρικές μεθόδους και τα κατάλληλα δεδομένα θα εξετάσουμε κατά πόσο ισχύει η θεωρία της ΕΚΚ στην Ελλάδα τη χρονική περίοδο από το 1990 έως το 2018.

Η έρευνα χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο, παρουσιάζεται η θεωρητική ανάλυση στην οποία γίνεται η αναφορά στην θεωρία της καμπύλης Kuznet για την καλύτερη κατανόηση του θέματος από τον αναγνώστη. Επιπλέον, γίνεται αναφορά και στην βιβλιογραφική επισκόπηση ενώ στο δεύτερο μέρος της εργασίας, παρουσιάζεται η εμπειρική ανάλυση. Περιλαμβάνει την παρουσίαση των δεδομένων μας, την ανάλυση αυτών καθώς και τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε. Η διαδικασία που θα ακολουθήσουμε αποτελείται από μια σειρά ελέγχων οι οποίοι θα βασιστούν πάνω σε ένα υπόδειγμα VAR που θα δημιουργήσουμε, αφού πρώτα ελέγξουμε την στασιμότητα των μεταβλητών μας. Αφού εξετάσουμε την αυτοσυσχέτιση και την κανονικότητα των

καταλοίπων του υποδείγματος, θα προβούμε σε έλεγχο συνολοκλήρωσης και έλεγχο αιτιότητας των μεταβλητών μας.

Μέρος 1^ο : Θεωρητική Ανάλυση

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τις βασικές έννοιες της καμπύλης του Kuznet και την υπομορφή αυτής, την περιβαλλοντική καμπύλη Kuznet, γνωστή και ως Environmental Kuznet Curve (EKC), με σκοπό την καλύτερη κατανόηση από τον αναγνώστη. Η παρούσα εργασία βασίζεται, ως προς τα δεδομένα και ως προς την οικονομετρική μεθοδολογία, στο άρθρο των Erasmia Kotroni, Dimitra Kaika, Efthimios Zervas με τίτλο «Environmental Kuznets Curve in Greece in the Period 1960-2014» το οποίο και θα αναλύσουμε.

1. Καμπύλη Kuznet και η Περιβαλλοντική της μορφή

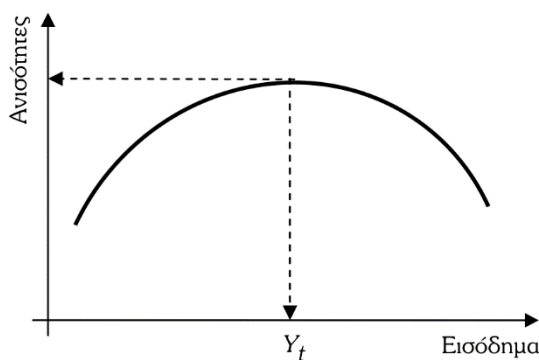
1.1 Καμπύλη Kuznet

Η καμπύλη Kuznet είναι μία υπόθεση που διατυπώθηκε το 1950-1960 από τον Αμερικάνο οικονομολόγο Simon Kuznet από όπου και πήρε την ονομασία της. Η υπόθεση αυτή ήρθε να δείξει την σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην οικονομική ανισότητα και τις δυνάμεις της αγοράς. Αρχικός σκοπός της καμπύλης ήταν να ερμηνεύσει την υπόθεση του Simon Kuznet περί συμπεριφοράς των οικονομικών μεταβλητών καθώς αναπτύσσεται μια οικονομία από μια αγροτική σε μια αστική κοινωνία. Ο Kuznet διεξήγαγε αυτή την μελέτη προκειμένου να ερμηνεύσει ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την συμπεριφορά των εισοδηματικών ανισοτήτων και κατά πόσο αυτές επηρεάζονται από την οικονομική ανάπτυξη. Στην αρχή χρησιμοποίησε χρονολογικές σειρές από τη Γερμανία, τις Η.Π.Α και το Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ αργότερα ενσωμάτωσε διαστρωματικά δεδομένα και αναπτυσσόμενες χώρες.

Βάσει αυτής της θεωρίας, καθώς μια οικονομία αναπτύσσεται, οι δυνάμεις της αγοράς αρχικά επιφέρουν αύξηση στην οικονομική ανισότητα, ενώ στην συνέχεια

παρατηρείται μείωση. Αυτό συμβαίνει διότι δημιουργείται μια συσσώρευση του πλούτου από την αστική τάξη και με την πάροδο του χρόνου διαμοιράζεται ευρύτερα με αποτέλεσμα την εξισορρόπηση (Kuznet, 1955). Εξαιτίας της ανάγκης για εσωτερική μετανάστευση των αγροτών σε αστικές περιοχές δημιουργείται χάσμα ανισότητας μεταξύ των δύο επιπέδων, το οποίο φέρει ως αποτέλεσμα την μείωση του πληθυσμού των αγροτικών περιοχών και την μετακίνηση αυτών σε αστικές περιοχές, όπου και παρατηρείται η αύξηση του πληθυσμού. Η μετακίνηση αυτή θα ωφελήσει τις επιχειρήσεις, ενώ θα παρατηρηθεί επιβράδυνση στην αύξηση του εισοδήματος σε εργαζόμενους στην βιομηχανία. Η ανισότητα θα αρχίσει να μειώνεται στο σημείο όπου η εκβιομηχάνιση θα μπορεί πλέον να απορροφήσει τα οφέλη μιας τέτοιας γρήγορης ανάπτυξης και αύξησης του εισοδήματος.

Η συμπεριφορά αυτή της ανισότητας δίνει στην καμπύλη Kuznet την μορφή ενός ανεστραμμένου U. Όπως αναφέρεται και στο παρακάτω σχεδιάγραμμα, στον οριζόντιο άξονα X απεικονίζεται το κατά κεφαλήν εισόδημα και στον κάθετο άξονα Y, η οικονομική ανισότητα. Το κατά κεφαλήν εισόδημα αυξάνεται κατά την διάρκεια της οικονομικής ανάπτυξης, και παράλληλα αυξάνεται η ανισότητα μέχρι ένα σημείο κορυφής, από το οποίο και έπειτα αρχίζει να μειώνεται.



Εικόνα 1 Μορφή καμπύλης Kuznet

1.2 Περιβαλλοντική καμπύλη Kuznet (ΕΚΚ)

Η καμπύλη Kuznet, το 1991, έλαβε μια νέα ερμηνεία. Αφού συγκεντρώθηκαν επαρκή στοιχεία και δεδομένα για το περιβάλλον και για άλλους συντελεστές που

επηρεάζουν την οικονομία, διατυπώθηκε η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznet. Είναι μια σχέση μεταξύ ρύπανσης και εισοδήματος, η οποία φαίνεται να είναι αντίθετη. Όσο η οικονομία πετυχαίνει ένα επαρκές στάδιο οικονομικής ανάπτυξης, τα επίπεδα ρύπανσης του περιβάλλοντος φαίνεται να μειώνονται, με αποτέλεσμα να ακολουθείται η ίδια σχέση της μορφής του ανεστραμμένου U. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει διότι, σύμφωνα και με την βιβλιογραφία, στα πρώτα στάδια της οικονομικής ανάπτυξης οι φυσικοί πόροι θεωρούνται ανεξάντλητοι ενώ η περιβαλλοντική ρύπανση είναι σχεδόν ανύπαρκτη εξαιτίας της μικρής δραστηριότητας. Όσο όμως αυξάνεται η οικονομική ανάπτυξη και προχωράμε στην εκβιομηχάνιση της παραγωγής, η υποβάθμιση του περιβάλλοντος εντείνεται καθώς γίνεται χρήση των φυσικών πόρων. Από το σημείο όμως όπου η οικονομία θα έχει φτάσει στο υψηλότερο επίπεδο, από εκεί και έπειτα η παραγωγική διαδικασία χρησιμοποιεί τεχνολογίες πιο φιλικές στο περιβάλλον και έτσι η υποβάθμισή του μειώνεται καθώς συνεχίζει να αυξάνεται η οικονομική μεγέθυνση.

Αυτή η τάση έχει παρατηρηθεί σε πολλά επίπεδα ρύπων όπως στο διοξείδιο του άνθρακα, σε οξείδια του αζώτου και του θείου, σε λύματα καθώς και σε χημικές ουσίες που απελευθερώνονται σε νερό και αέρα. Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι η οικονομική ανάπτυξη έχει θετική επιρροή στο περιβάλλον.

1.3 Κριτικές καμπύλης Kuznet

Όπως ήταν αναμενόμενο, υπήρξαν πολλές κριτικές για την θεωρία αυτή και για το πόσο ισχύει. Ο ίδιος ο Kuznet είχε αναφέρει ότι λόγω έλλειψης καλών δεδομένων, είναι λογικό να μην λειτουργεί «τέλεια». Παρά' όλα αυτά υπήρξαν κριτικές τόσο θεωρητικού όσο και οικονομικού περιεχομένου. Η επικρατέστερη και κυριότερη κριτική ήταν αυτή της μη σύνδεσης περιβάλλοντος και ανάπτυξης, καθώς υπώθηκε ότι η καμπύλη δεν μπορεί να ερμηνεύσει την σχέση μεταξύ εισοδήματος και περιβαλλοντικής ρύπανσης. Οι Fare το 2001, κατηγορούν τις δυνατότητες της ΚC και αναφέρονται στην ποιότητα του περιβάλλοντος, η οποία δεν μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια. Επομένως θεωρούν απαραίτητο τον περιορισμό οποιασδήποτε μελέτης πάνω στην καμπύλη Kuznet, έως ότου βρεθεί τρόπος μέτρησης της περιβαλλοντικής ποιότητας. Ο Paul Krugman αμφισβήτησε τα συμπεράσματα πολιτικής στηριζόμενος στην εμπειρία των Η.Π.Α.. Υποστήριξε ότι η μείωση της ανισότητας, την δεκαετία του 1930 έως την δεκαετία του 1950, δεν ήταν φυσικό αποτέλεσμα των δυνάμεων της

αγοράς, αλλά οφειλόταν στην υψηλή φορολογία των μεγάλων εισοδημάτων και περιουσιακών στοιχείων. Ο Stern ερευνώντας την ΕΚΚ υποστήριξε ότι οι οικονομετρικές επικρίσεις έρχονται αντιμέτωπες με προβλήματα όπως η ετεροσκεδαστικότητα, η συνοχή και οι ελλειπείς παραλλαγές των μεταβλητών.

Θα ήταν λάθος όμως να μην αναφέρουμε ότι υπήρξαν μελέτες που ερμήνευσαν την ΕΚΚ με επιτυχία. Η έρευνα των Markandya, Pedroso και Golub το 2004 βασίστηκε σε μια τετραγωνική σχέση χρησιμοποιώντας παλινδρομήσεις εκπομπών διοξειδίου του θείου και ερμήνευσε τις προδιαγραφές της καμπύλης. Οι Andreoni και Levinson το 2001 ερμήνευσαν ότι μια ισχυρή αύξηση της ανάπτυξης μπορεί να φέρει μείωση της ρύπανσης, ενώ ο Mitra το 1997 ανέφερε ότι η κυβέρνηση σε μια προσπάθειά της να μειώσει τους περιβαλλοντικούς ρύπους θα μπορούσε να μετακινήσει το σημείο καμπής, επηρεάζοντας το σχήμα της ΕΚΚ.

2. Ανάλυση άρθρου και βιβλιογραφική επισκόπηση

2.1 Ανάλυση άρθρου «Environmental Kuznets Curve in Greece in the Period 1960-2014»

Η παρούσα εργασία, όπως προαναφέρθηκε, βασίζεται στο άρθρο των Erasmia Kotroni, Dimitra Kaika, Efthimios Zervas με τίτλο «Environmental Kuznets Curve in Greece in the Period 1960-2014». Το αναφερόμενο άρθρο αφορά μια θεωρητική και εμπειρική ανάλυση πάνω στο θέμα της περιβαλλοντικής καμπύλης του Kuznet. Πιο συγκεκριμένα εξετάζει το εάν η θεωρία αυτή ισχύει για την Ελλάδα, για το διάστημα 1960 έως και 2014. Η ανάλυση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές του διοξειδίου του άνθρακα, του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος, της κατά κεφαλή χρήσης της ενέργειας και του ποσοστού του αστικού πληθυσμού ανά έτος. Οι μέθοδοι στις οποίες βασίζονται οι συντάκτες την ανάλυσή τους αντιστοιχούν σε ελέγχους συσχέτισης, συνολοκλήρωσης και αιτιότητας, καθώς χρησιμοποιούν μεθόδους όπως ελέγχους Dickey Fuller, Granger causality, unit root tests και Johansen Co-integration test. Τα αποτελέσματα του άρθρου αφορούσαν την αιτιότητα κατά Granger των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά κεφαλήν, σε σχέση με το κατά κεφαλήν ΑΕΠ σε σύντομο αλλά και μακροπρόθεσμο επίπεδο. Η έρευνα έδειξε ότι δεν επιβεβαιώνεται

η θεωρία της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet για το διάστημα 1960 – 2014, καθώς η μείωση των ρύπων κινείται παράλληλα με την οικονομική ανάπτυξη στη χώρα. Για το λόγο αυτό το κράτος θα μπορούσε να εφαρμόσει στρατηγικές για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και για την ισορρόπηση της κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με τους ερευνητές.

2.2 Βιβλιογραφική επισκόπηση

Στο παραπάνω άρθρο που εξετάσαμε γίνονται αναφορές και σε άλλες έρευνες. Θα ασχοληθούμε λοιπόν με την περαιτέρω ανάλυση αντίστοιχων ερευνών που σχετίζονται με την δική μας, και με το παραπάνω άρθρο, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του θέματος.

Η πρώτη αναφορά με την οποία θα ασχοληθούμε είναι το άρθρο των Acaravci και Ozturk (2010), με τίτλο «CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in Turkey». Σε αυτό το άρθρο εξετάστηκε η μακροχρόνια σχέση μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης, των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα καθώς και της κατανάλωσης ενέργειας και της απασχόλησης στην Τουρκία για το διάστημα 1968-2005. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν ότι υπάρχει σχέση μεταξύ των μεταβλητών σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Η ύπαρξη αιτιότητας κατά Granger υποδηλώνει ότι το ΑΕΠ επηρεάζεται βραχυπρόθεσμα μόνο από την απασχόληση και όχι από την κατανάλωση ενέργειας ή τις εκπομπές του CO₂. Στην περίπτωση αυτή δεν ισχύει η θεωρία της περιβαλλοντικής καμπύλης του Kuznet για την Τουρκία, την συγκεκριμένη περίοδο. Αυτό σημαίνει ότι οι πολιτικές για την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση των περιβαλλοντικών ρύπων δεν λειτουργούν υπέρ της οικονομικής ανάπτυξης στην χώρα.

Μια άλλη έρευνα είναι αυτή των Shafic και Bandyopadhyay (1992), με τίτλο «Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence». Η συγκεκριμένη ανάλυση εστιάζει στην σχέση μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και της ποιότητας του περιβάλλοντος, με βάση πρότυπα χωρών με διαφορετικά επίπεδα εισοδήματος. Τα συμπεράσματα ήταν ότι το εισόδημα έχει επίδραση με όλους τους περιβαλλοντικούς δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν, οι χώρες

μεσαίου εισοδήματος έδειχναν μεγαλύτερη βελτίωση στους δείκτες ανάπτυξης, σε σχέση με τις πιο φτωχές, ενώ η ποιότητα του περιβάλλοντος αντιδρά θετικά στην εξέλιξη της τεχνολογίας. Επιπλέον, μεταβλητές οικονομικής πολιτικής, φάνηκε να έχουν μικρή επίδραση στο περιβάλλον, παρ' όλο που πολλές από αυτές συνδέονταν άμεσα με περιβαλλοντικά προβλήματα, αλλά δεν μπορούμε να απαλλαγούμε από ορισμένα από αυτά, χωρίς την πολιτική παρέμβαση.

Πρόσφατη έρευνα των Mohamed Abdouli και Sami Hammami (2017), με τίτλο «Economic growth, FDI inflows and their impact on the environment: an empirical study for the MENA countries», έδειξε ότι ισχύει η θεωρία της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet. Η ανάλυση έγινε για την περίοδο 1990-2012. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι ξένες επενδύσεις αυξάνουν την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και ότι η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας οδηγεί σε αύξηση των ρύπων, κάτι που προκαλεί μεγάλο ενδιαφέρον στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής.

Οι Mehdi Ben Jebli και Montassar Kahia (2020), ασχολήθηκαν με την περιβαλλοντική έννοια της καμπύλης Kuznet, στην ανάλυση τους με τίτλο «The interdependence between CO₂ emissions, economic growth, renewable and non-renewable energies, and service development: evidence from 65 countries». Η μελέτη εξέτασε την συσχέτιση μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης, παραγωγής ενέργειας και εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και αφορά 65 χώρες για το διάστημα 1980-2014. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχουν ισχυρές σχέσεις αιτιότητας μεταξύ ρύπων και μη ανανεώσιμης ενέργειας, καθώς και μεταξύ ρύπων και της προστιθέμενης αξίας αυτής σε βραχυχρόνια περίοδο, ενώ μακροχρόνια η σχέση αυτή είναι αμφίδρομη. Στην περίπτωση αυτή η θεωρία της ΕΚC είναι έγκυρη.

Ο J. H. Lee (2015) στο άρθρο «CO₂ Emissions, Energy Consumption and GDP: Evidence from Iraq» αναφέρεται στις σχέσεις μεταξύ ποιότητας περιβάλλοντος, χρήσης ενέργειας και οικονομικής παραγωγής. Εξετάζει λοιπόν τις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες σχέσεις μεταξύ ενέργειας, ΑΕΠ και εκπομπών CO₂ για την χώρα του Ιράκ, κατά την χρονική περίοδο 1980-2010. Χρησιμοποίησε μεθόδους ελέγχων όπως αυτές των Augmented Dickey-Fuller, Phillips-Perron, Johansen καθώς και Juselius, και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο ΑΕΠ μακροπρόθεσμα. Επίσης σημειώνεται αρνητική

αιτιότητα ανάμεσα στην κατανάλωση πετρελαίου, στην καύση αργού πετρελαίου και τη χρήση φυσικού αερίου με το ΑΕΠ, ενώ παράλληλα υπάρχει θετική αιτιότητα στη χρήση ενέργειας με το ΑΕΠ, κάτι που οδηγεί τον ερευνητή στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να διαφέρουν αρκετά εξαιτίας των πηγών ενέργειας.

Οι S. Koc και Gokay Canberk Bulus (2020), στο άρθρο «Testing validity of the EKC hypothesis in South Korea: role of renewable energy and trade openness» μελέτησαν την ισχύ της θεωρίας της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet για την Νότια Κορέα από το 1971 έως το 2017. Χρησιμοποιώντας δεδομένα για το ΑΕΠ, την κατανάλωση ενέργειας, την κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατέληξαν στο ότι τα ευρήματα τους δεν υποστηρίζουν την υπόθεση της ΕΚΚ. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από το γεγονός ότι οι αυξήσεις του κατά κεφαλήν ΑΕΠ και της κατανάλωσης ενέργειας, αυξάνουν τους κατά κεφαλή ρύπους διοξειδίου του άνθρακα, ενώ το άνοιγμα του εμπορίου, τις μειώνει. Τα αποτελέσματα αυτά επομένως, μπορούσαν να αποτυπωθούν σε μια σχέση σχήματος Ν. Συμπερασματικά η οικονομική ανάπτυξη από μόνη της δεν μπορεί να αντιμετωπίσει την ρύπανση του περιβάλλοντος, άρα καταλήγουμε στην κρατική παρέμβαση.

Σε μια μελέτη των A. Ullah και D. Khan (2020), «Testing environmental Kuznets curve hypothesis in the presence of green revolution: a cointegration analysis for Pakistan», φαίνεται να ισχύει η θεωρία της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet. Η έρευνα καλύπτει το χρονικό διάστημα 1972-2014 και αφορά την χώρα του Πακιστάν. Έγινε με αφορμή την επιδείνωση της περιβαλλοντικής κατάστασης της χώρας, λόγω των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου. Η σχέση που εξετάστηκε ήταν μεταξύ των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και της πράσινης επανάστασης, γνωστή ως green revolution (G.R.). Τα στοιχεία δείχνανε ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών, καθώς μια αύξηση της γεωργικής έκτασης θα οδηγήσει σε αύξηση των εκπομπών CO₂. Επίσης η σχέση μεταξύ παραγωγής καλλιεργειών και εκπομπών CO₂ τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα βρέθηκε να έχει το σχήμα ενός ανεστραμμένου U, κάτι που επιβεβαιώνει την θεωρία.

Οι Riyaz Alam και Masudul Hasan Adil (2019), εξέτασαν την ισχύ της ΕΚΚ στην Ινδία για την περίοδο 1971-2016 στην μελέτη τους με τίτλο «Validating the

Environmental Kuznets Curve in India: Ardl Bounds Testing Framework». Η μελέτη εξετάζει την συνολοκλήρωση μεταξύ εκπομπών άνθρακα, οικονομικής ανάπτυξης, πρωτογενούς ενέργειας, χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης και ανοίγματος εμπορίου στην Ινδία. Οι σχέσεις μεταξύ εκπομπών άνθρακα και οικονομικής ανάπτυξης δεν παρουσίασαν σημαντικές συσχετίσεις, επομένως η θεωρία της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet δεν είναι έγκυρη για την περίπτωση της Ινδίας. Επιπλέον, αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν να υπάρχει σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ ενέργειας και εκπομπών CO₂, φέρνοντας τους ερευνητές στο συμπέρασμα ότι η χώρα πρέπει να προβεί στην επιτάχυνση της διαδικασίας ενίσχυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Έρευνα των Istihak Rayhan, K. Akter, M. Islam και M. Hossain (2018), με τίτλο «Impact of Urbanization and Energy Consumption on CO₂ Emissions in Bangladesh: An ARDL Bounds Test Approach», εξετάζει την υπόθεση της ΕΚΚ στην περίπτωση του Μπαγκλαντές. Τα εμπειρικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την υπόθεση καθώς υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών και οι βραχυπρόθεσμες αποκλίσεις τείνουν να διορθώνονται προς την μακροπρόθεσμη ισορροπία. Επιπλέον, η κατανάλωση ενέργειας και η αστικοποίηση του πληθυσμού φαίνεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, ενώ το άνοιγμα του εμπορίου θεωρείται στατιστικά ασήμαντο. Συμπερασματικά, δεν χρειάζεται να ελεγχθεί η οικονομική ανάπτυξη για την μείωση των εκπομπών άνθρακα, αλλά πρέπει να τεθούν έλεγχοι στην αστικοποίηση και στη χρήση ενέργειας.

Οι Usama Al-mulali και I. Ozturk (2016), στο άρθρο «The investigation of environmental Kuznets curve hypothesis in the advanced economies: The role of energy prices», έκαναν έρευνα για τις επιδράσεις των τιμών της ενέργειας στην ρύπανση και για την ισχύ της θεωρίας της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet σε 27 αναπτυγμένης οικονομίας χώρες, κατά την περίοδο 1990-2012. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ΑΕΠ, της κατανάλωσης ανανεώσιμων και μη πηγών ενέργειας, του ανοίγματος του εμπορίου, της αστικοποίησης και των τιμών ενέργειας. Έτσι επιβεβαιώθηκε η ανεστατρεμμένου σχήματος U σχέση μεταξύ ΑΕΠ και εκπομπών άνθρακα, που υποδηλώνει την εγκυρότητα της υπόθεσης της ΕΚΚ.

Οι Muhammad Shahbaz, R. Sbia και H. Hamdi (2013), στην μελέτη τους «The Environmental cost of Skiing in the Desert? Evidence from Cointegration with unknown Structural breaks in UAE», επικεντρώθηκαν στην διερεύνηση της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και υποβάθμισης του περιβάλλοντος στην περίπτωση των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων κατά την περίοδο 1975-2011. Τα αποτελέσματα έδειξαν συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών και διαπιστώθηκε μια ανεστραμμένη σχήματος U, μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και εκπομπών CO₂, δηλαδή την ύπαρξη ΕΚC, καθώς η οικονομική ανάπτυξη αυξάνει τις εκπομπές άνθρακα αρχικά και μετά από ένα κατώτατο σημείο εισοδήματος φαίνεται να τις μειώνει. Επίσης, η κατανάλωση ηλιακής ενέργειας μειώνει τις εκπομπές άνθρακα, η σχέση μεταξύ αστικοποίησης και εκπομπών άνθρακα είναι θετική, καθώς η περιβαλλοντική ποιότητα δείχνει να βελτιώνεται με τις εξαγωγές και έτσι να μειώνονται οι εκπομπές CO₂.

Οι H. M. Ertuğrul, M. Çetin, F. Şeker και Eyup Dogan (2015), «The impact of trade openness on global carbon dioxide emissions: Evidence from the top ten emitters among developing countries», στην μελέτη τους στόχευσαν στην ανάλυση των σχέσεων εκπομπών CO₂, ανοίγματος του εμπορίου, πραγματικού εισοδήματος και κατανάλωσης ενέργειας, μεταξύ αναπτυσσόμενων χωρών (Κίνα, Ινδία, Νότια Κορέα, Βραζιλία, Μεξικό, Ινδονησία, Νότια Αφρική, Τουρκία, Ταϊλάνδη και Μαλαισία) κατά την περίοδο 1971-2011. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει αιτιώδης σχέση μεταξύ των μεταβλητών αλλά η υπόθεση της ΕΚC επικυρώνεται μόνο για τις χώρες Τουρκία, Ινδία, Κίνα και Κορέα.

Μέρος 2^ο : Εμπειρική Ανάλυση

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας ασχολούμαστε με το κομμάτι της εμπειρικής ανάλυσης, βασισμένο σε δεδομένα που αναζητήσαμε και χρησιμοποιώντας οικονομετρικές μεθόδους που θα μας βοηθήσουν να καταλήξουμε στο συμπέρασμα για το οποίο πραγματοποιείται η παρούσα έρευνα. Η μελέτη γίνεται με σκοπό τον έλεγχο της ισχύος της υπόθεσης της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet για την Ελλάδα την χρονική περίοδο 1990-2018. Θα χρησιμοποιήσουμε οικονομετρικά μοντέλα και

μεθόδους όπως το μοντέλο VAR, τον έλεγχο στασιμότητας Augmented Dickey Fuller, τον έλεγχο συνολοκλήρωσης Johansen και τον έλεγχο αιτιότητας Granger, αλλά πρώτα θα παρουσιάσουμε κάποιες εισαγωγικές έννοιες και τα δεδομένα της μελέτης μας.

1. Εισαγωγικές έννοιες

Μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για την εύρεση σχέσεων μεταξύ οικονομικών μεταβλητών είναι μέσω της χρήσης διανυσματικών αυτοπαλίνδρομων υποδειγμάτων (Vector Autoregressive, VAR). Το υπόδειγμα αυτό μας επιτρέπει να εντοπίσουμε την ταυτόχρονη επίδραση των υστερήσεων πολλαπλών ανεξάρτητων μεταβλητών στην εκάστοτε εξαρτημένη και έπειτα να εντοπίσουμε την κατεύθυνση των σχέσεων αυτών με τους ελέγχους αιτιότητας. Οι μεταβλητές που θα εξετάσουμε είναι:

1. Οι εκπομπές του CO₂, το οποίο εκπέμπεται κυρίως από τα ορυκτά καύσιμα εκ του οποίου το 50% διαλύεται στους ωκεανούς και απορροφάται, ενώ το υπόλοιπο 50% διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα
2. Οι εκπομπές του NO_x, το οποίο είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες ρύπανσης της ατμόσφαιρας καθώς καταστρέφει την οζονόσφαιρα, αλλά είναι επιβλαβές και για τον άνθρωπο καθώς προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα
3. Οι εκπομπές του SO_x, το οποίο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από την καύση ορυκτών καυσίμων και δημιουργεί το φαινόμενο της όξινης βροχής
4. Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (PE), δηλαδή η ενέργεια που προέρχεται κατευθείαν από την ήλιο ή από την γη, όπου δεν απαιτείται κάποια επεξεργασία για την χρήση της
5. Η αύξηση του αστικού πληθυσμού (UP), όπου αστικός χαρακτηρίζεται ο πληθυσμός που κατοικεί σε μια αστική περιοχή όπου το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού της δραστηριοποιείται στον τριτογενή τομέα της οικονομίας. Την μεταβλητή αυτή χρησιμοποιούμε ως διορθωτική μεταβλητή (control variable) για να αφαιρέσει οποιαδήποτε αποτελέσματα οφείλονται σε μεταβολές του πληθυσμού της χώρας. Θεωρούμε ότι το μέγεθος του πληθυσμού

της χώρας επηρεάζει άμεσα όλες τις υπόλοιπες μεταβλητές της μελέτης και για αυτό θέλουμε να κρατήσουμε σταθερή την επίδρασή του.

6. Το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (GDP), δηλαδή «η συνολική αγοραία αξία όλων των τελικών προϊόντων και υπηρεσιών που παράγονται σε μια χώρα στη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου»

2. Δεδομένα και περιγραφικές στατιστικές

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούμε στην παρακάτω ανάλυση είναι τα εξής:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) μετρήσιμο σε εκατομμύρια τόνους, από την βάση δεδομένων της BP
- Κατά κεφαλήν εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) μετρήσιμες σε χιλιόγραμμα, από την βάση δεδομένων της OCED
- Κατά κεφαλήν εκπομπές οξειδίου του θείου (SO_x) μετρήσιμες σε χιλιόγραμμα, από την βάση δεδομένων της OCED
- Κατά κεφαλή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (Primary Energy, PE) μετρήσιμη σε Gigajoule, από την βάση δεδομένων της BP
- Αύξηση του αστικού πληθυσμού (urban population growth, UP) μετρήσιμη σε ετήσιο ποσοστό, από την βάση δεδομένων The World Bank και το
- Κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (GDP) μετρήσιμο σε δισεκατομμύρια αμερικανικά δολάρια, από την βάση δεδομένων της FRED St. Louis

Όλα τα δεδομένα είναι χρονοσειρές ετήσιας συχνότητας για την περίοδο 1990-2018. Για όλες τις μεταβλητές, εκτός του UP, υπολογίζουμε τις λογαριθμικές διαφορές, προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε τις αποδόσεις τους (από εδώ και έπειτα όποτε αναφερόμαστε στις μεταβλητές θα εννοούμε τις αποδόσεις τους). Καταλήγουμε σε ένα δείγμα 28 παρατηρήσεων, κάτι που δεν θα είναι ευνοϊκό για την έρευνα μας, αλλά λόγω έλλειψης δεδομένων θα συνεχίσουμε με μικρό δείγμα, λαμβάνοντάς το υπόψιν σε όλη την διαδικασία της ανάλυσης. Παρακάτω παρουσιάζουμε τις περιγραφικές στατιστικές

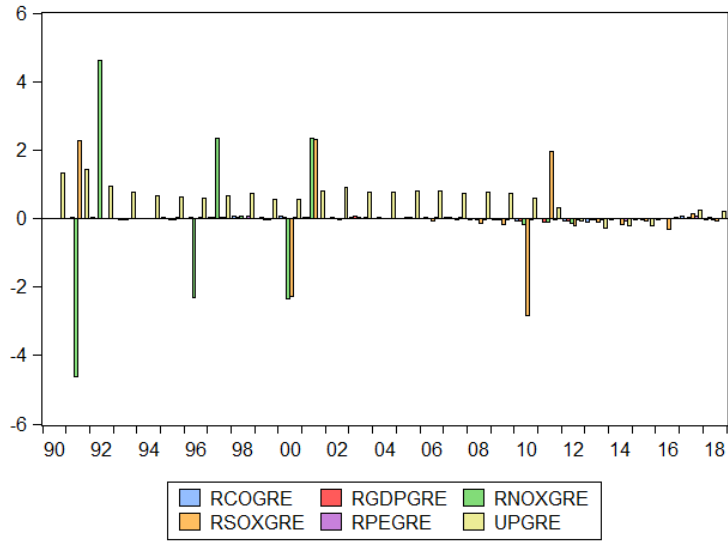
των μεταβλητών και τα διαγράμματά τους, καθώς και τον έλεγχο στασιμότητάς τους με την μέθοδο του Augmented Dickey Fuller.

Πίνακας 1 Περιγραφικές στατικές των αποδόσεων των μεταβλητών

Sample: 1990 2018

	RCOGR	RGDPGR	RNOXGR	RSOXGR	RPEGR
Mean	-0.003815	0.006948	-0.017544	0.009281	0.002607
Median	0.003163	0.016512	-0.017324	-0.024088	0.004680
Maximum	0.061359	0.053942	4.612585	2.307492	0.056458
Minimum	-0.097506	-0.094288	-4.614437	-2.837233	-0.056784
Std. Dev.	0.041707	0.037078	1.543803	1.015908	0.031361
Skewness	-0.441372	-1.169489	0.042599	-0.123231	-0.161812
Kurtosis	2.445672	3.733610	6.925192	5.833779	2.429391
Jarque-Bera Probability	1.267603 0.530571	7.010507 0.030039	17.98346 0.000124	9.439558 0.008917	0.502047 0.778004
Sum	-0.106825	0.194539	-0.491229	0.259873	0.073009
Sum Sq. Dev.	0.046967	0.037119	64.34987	27.86585	0.026555
Observations	28	28	28	28	28

Το δείγμα μας περιλαμβάνει παρατηρήσεις για τη χρονική περίοδο 1990-2018. Παρατηρούμε ότι η μεταβλητή του NO_x έχει την μικρότερη μέση τιμή, στις -0.01 μονάδες, ενώ ο αστικός πληθυσμός την μεγαλύτερη, με τιμή ίση με 0.55. Παρατηρούμε επίσης ότι η κύρτωση του NO_x και του SO_x είναι σχεδόν διπλάσια από αυτές των άλλων μεταβλητών, οι οποίες βρίσκονται κοντά στην κύρτωση της κανονική κατανομής (K=3). Το ίδιο μπορούμε να συμπεράνουμε και από την ασυμμετρία των μεταβλητών (skewness) καθώς όλες οι μεταβλητές παίρνουν τιμές πολύ κοντά στο μηδέν, που σημαίνει ότι είναι σχεδόν συμμετρικές. Τα διαγράμματα των αποδόσεων των μεταβλητών βρίσκονται στο Παράρτημα 1.



Διάγραμμα 1 Ταυτόχρονη απεικόνιση των αποδόσεων όλων των μεταβλητών

Για να δούμε αν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια μεταβλητή σε μια παλινδρόμηση, πρέπει να βεβαιωθούμε ότι είναι στάσιμη. Για τον λόγο αυτό κάνουμε έλεγχο στασιμότητας με Augmented Dickey-Fuller με μέσο, ο οποίος εξετάζει υπό την μηδενική υπόθεση ότι η μεταβλητή έχει μοναδιαία ρίζα, επομένως είναι μη-στάσιμη. Μετά τον έλεγχο στασιμότητας Augmented Dickey-Fuller (με την μέθοδο trend and intercept) διακρίνουμε ότι όλες οι μεταβλητές μας εκτός του GDP είναι στάσιμες, καθώς απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση, άρα οι αποδόσεις μας δεν έχουν μοναδιαία ρίζα. Το GDP θεωρείται λογικό να μας δίνει αυτό το αποτέλεσμα από την στιγμή που τα δεδομένα καλύπτουν μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο υπάρχουν ισχυρές αυτοσυσχετίσεις και δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για να είναι στάσιμη. Εδώ σημειώνεται ότι στην μεταβλητή του πληθυσμού δεν χρειάζεται να γίνει έλεγχος στασιμότητας γιατί δίνεται ήδη σε ποσοστά και διότι θέλουμε να την χρησιμοποιήσουμε στα επίπεδα. Επομένως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε όλες τις μεταβλητές στο υπόδειγμά μας. Τα αποτελέσματα του ελέγχου βρίσκονται στο Παράρτημα 2.

3. Μεθοδολογία

3.1 Υποδείγματα VAR

Όταν δεν γνωρίζουμε a priori ποιες μεταβλητές είναι ενδογενείς και ποιες εξωγενείς, τότε είναι προτιμότερο να θεωρήσουμε ότι όλες μπορεί να λειτουργήσουν ως ενδογενείς και να μελετήσουμε τις σχέσεις τους από κοινού. Αυτό γίνεται με την χρήση του αυτοπαλίνδρομου διανυσματικού υποδείγματος (VAR). Ένα υπόδειγμα VAR περιγράφει τη δυναμική εξέλιξη ενός συνόλου μεταβλητών με βάση την υστέρηση των υπολοίπων. Δηλαδή, κάθε μεταβλητή περιγράφεται ως μια συνάρτηση των προηγούμενων τιμών της ίδιας, καθώς και των προηγούμενων τιμών όλων των υπόλοιπων μεταβλητών του συστήματος.

Τα VAR ποσοτικοποιούν την πραγματική αλληλεπίδραση. Υποθέτουμε ότι το σφάλμα είναι λευκός θόρυβος (iid) και ότι η αναμενόμενη τιμή του είναι $E[u]=0$, δηλαδή δεν έχει αυτοσυσχέτιση. Επίσης υποθέτουμε ότι το υπόδειγμα VAR είναι στάσιμο, δηλαδή οι μεταβλητές είναι στάσιμες και άρα δεν έχουν τάση ή εποχικότητα, και ούτε διακυμάνσεις που μεταβάλλονται διαχρονικά. Τα υποδείγματα VAR είναι «αθεωρητικά» με την έννοια ότι η εξειδίκευσή τους δεν στηρίζεται σε κάποια συγκεκριμένη οικονομική θεωρία που να απαιτεί τον καθορισμό περιορισμών στις παραμέτρους των διαρθρωτικών εξισώσεων. Επομένως εκτιμούμε με OLS 5 παλινδρομήσεις για 5 εξαρτημένες μεταβλητές και συνολικά 7 συντελεστές για κάθε μια από αυτές, σύμφωνα με τον τύπο:

$$\begin{bmatrix} y_{1,t} \\ \vdots \\ y_{5,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ \vdots \\ a_{5,t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{1,1} & \dots & \beta_{1,5} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{5,1} & \dots & \beta_{5,5} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ \vdots \\ y_{5,t-1} \end{bmatrix} + [\beta_{1,6} \quad \dots \quad \beta_{5,6}] * \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ \vdots \\ y_{5,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_{1,t} \\ \vdots \\ u_{5,t} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Κανονικά η μαθηματική διατύπωση περιλαμβάνει μια τετραγωνική μήτρα 5 επί 5 συντελεστών με τους συντελεστές κλίσης των εκάστοτε ανεξάρτητων μεταβλητών. Το ξεχωριστό διάνυσμα $\beta_{1,6} - \beta_{5,6}$ αποτελεί τους συντελεστές της διορθωτικής μεταβλητής UP (urban population) και καταγράφεται ξεχωριστά καθώς παραλείπεται από το σύνολο των εξαρτημένων μεταβλητών y .

Το τελικό VAR(1) σύστημα 5 εξαρτημένων μεταβλητών απαιτεί την εκτίμηση 30 συντελεστών. Για παράδειγμα η πρώτη παλινδρόμηση που προκύπτει εκτιμάει τους συντελεστές ως εξής:

$$CO_t = a_{1,t} + \beta_{1,1}CO_{t-1} + \beta_{1,2}GDP_{t-1} + \beta_{1,3}PE_{t-1} + \beta_{1,4}NOx_{t-1} + \beta_{1,5}SOx_{t-1} + \beta_{1,6}UP_t + u_t \quad (2)$$

3.2 Κριτήρια επιλογής υστερήσεων VAR

Για να αποφασίσουμε πόσες υστερήσεις θα συμπεριλάβουμε στο υπόδειγμα και επομένως ποιος θα είναι ο βαθμός p του υποδείγματος VAR(p), χρησιμοποιούμε κριτήρια υστέρησης όπως για παράδειγμα το Akaike criterion. Επιλέγουμε τα κριτήρια του Akaike και όχι του Schwarz, διότι είναι πιο αποτελεσματικά και σε αυτή την περίπτωση δεν θέλουμε να προβλέψουμε, αλλά να εξηγήσουμε. Ουσιαστικά ο έλεγχος για τις υστερήσεις αρχίζει από έναν μέγιστο αριθμό υστερήσεων και ελέγχει αν ο συντελεστής της υστέρησης είναι στατιστικά σημαντικός. Αν ο συντελεστής είναι στατιστικά ασήμαντος ξαναγίνεται έλεγχος με λιγότερες υστερήσεις, έως ότου ο συντελεστής να είναι σημαντικός.

3.3 Συνολοκλήρωση κατά Johansen

Η μέθοδος του Johansen είναι ένας έλεγχος συνολοκλήρωσης, που βασίζεται στα υποδείγματα VAR. Με τον έλεγχο αυτό εξετάζουμε αν στο υπόδειγμά μας υπάρχει μεγάλος αριθμός σχέσεων συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών πολλών χρονολογικών σειρών. Θα πρέπει να μετατρέψουμε το υπόδειγμά μας σε διανυσματικό υπόδειγμα διόρθωσης λαθών, γνωστό ως VECM (Vector Error Correction Model).

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Τα διανύσματα στο δεξί μέλος της σχέσης είναι $I(0)$, και γνωρίζοντας ότι το Y είναι το πολύ $I(1)$, τα διανύσματα του γινομένου ΔY_t θα πρέπει να είναι στάσιμα. Τα διανύσματα της μήτρας Δ (μήτρα ισορροπίας) είναι τα διανύσματα συνολοκλήρωσης και ο βαθμός της φανερώνει την ύπαρξη συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών.

Αν ο βαθμός της μήτρας είναι μηδέν, δηλαδή όλα τα στοιχεία της είναι μηδέν, τότε δεν υπάρχει ο μηχανισμός διόρθωσης λαθών, άρα οι μεταβλητές δεν συνολοκληρώνονται και δεν υπάρχει σχέση μακροχρόνιας ισορροπίας. Αν οι γραμμές της μήτρας είναι γραμμικά ανεξάρτητες, τότε λέμε ότι ο βαθμός της είναι πλήρης. Το διάλυμα των μεταβλητών είναι στάσιμο και όλες οι μεταβλητές είναι ολοκληρωμένες μηδενικής τάξης. Σε τέτοιες περιπτώσεις δεν υπάρχει συνολοκλήρωση. Τέλος αν όλες οι γραμμές δεν είναι γραμμικά ανεξάρτητες, τότε ο βαθμός της μήτρας είναι μειωμένος και υπάρχει η δυνατότητα συνολοκλήρωσης μεταξύ των διανυσμάτων των μεταβλητών.

Με την μέθοδο του Johansen οι τιμές του βαθμού συνολοκλήρωσης υπολογίζονται με δύο στατιστικούς ελέγχους. Τον έλεγχο ίχνους και τον έλεγχο της μέγιστης ιδιοτιμής. Ακολουθώντας την κατανομή χ^2 και την διαδικασία προσέγγισης της μέγιστης πιθανοφάνειας γίνεται ο έλεγχος των υποθέσεων με σκοπό την αποδοχή ή την απόρριψή τους. Η μηδενική υπόθεση (H_0) υποθέτει την ύπαρξη διανυσμάτων συνολοκλήρωσης. Αν δεν απορριφθεί τότε δεν υπάρχει συνολοκλήρωση και οι μεταβλητές μακροχρόνια δεν εμφανίζουν κοινή πορεία, αν όμως απορριφθεί ο έλεγχος συνεχίζεται με μεγαλύτερο βαθμό συνολοκλήρωσης, έως ότου ικανοποιηθεί η μηδενική υπόθεση και να καταλήξουμε στον ακριβή αριθμό συνολοκλήρωσης των διανυσμάτων.

3.4 Αιτιότητα κατά Granger

Η υψηλή συσχέτιση μεταξύ μεταβλητών όπως αυτή καταγράφεται από τους συντελεστές των παλινδρομήσεων και τις στατιστικές τους σημαντικότητες δεν υπονοούν αιτιότητα, ότι δηλαδή υπάρχει κατεύθυνση στην μεταξύ τους σχέση. Ο έλεγχος αιτιότητας κατά Granger ελέγχει εάν μια ενδογενής μεταβλητή μπορεί να αντιμετωπιστεί ως εξωγενής. Ο έλεγχος αιτιότητας είναι έλεγχος F, με τη μηδενική υπόθεση να είναι:

$$H_0 : \beta_{i,1}/\beta_{i,2}/\beta_{i,3}/\beta_{i,4}/\beta_{i,5} = 0$$

όπου ελέγχουμε τους αντίστοιχους συντελεστές ανάλογα με την εκάστοτε αιτιώδη σχέση και για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή από τις παλινδρομήσεις, για κάθε $i=1, \dots, 5$. Η μηδενική υπόθεση (H_0) υποθέτει ότι οι υστερήσεις της μεταβλητής δεν επηρεάζουν

σημαντικά την προβλεπτική ικανότητα των άλλων μεταβλητών, άρα δεν «προκαλείται» αιτιότητα κατά Granger. Αντίστοιχα η εναλλακτική υπόθεση λέει ότι, H_1 : τουλάχιστον ένας εκ των παραπάνω συντελεστών είναι στατιστικά διάφορος του μηδενός ανάλογα με το εξεταζόμενο ζευγάρι, και επομένως υστερήσεις της μεταβλητής επηρεάζουν σημαντικά την ικανότητα πρόβλεψης των άλλων μεταβλητών.

4. Αποτελέσματα

4.1 Εκτίμηση VAR

Εν συνεχεία δημιουργούμε ένα υπόδειγμα VAR επιλέγοντας τις μεταβλητές του CO₂, του GDP, της ενέργειας, του NO_x και του SO_x ως ενδογενείς με την αντίστοιχη σειρά, ενώ σαν εξωγενή μεταβλητή παίρνουμε το UP. Επιλέγουμε Standard VAR και μια υστέρηση στο υπόδειγμα.

Πίνακας 2 Αποτελέσματα εκτίμησης υποδείματος VAR

Vector Autoregression Estimates

	RCOGRE	RGDPGRE	RPEGRE	RNOXGRE	RSOXGRE
RCOGRE(-1)	-0.015083 (0.44225) [-0.03410]	0.051627 (0.30606) [0.16868]	0.168331 (0.33081) [0.50884]	10.74084 (12.9554) [0.82906]	12.03018 (10.9336) [1.10030]
RGDPGRE(-1)	0.533971 (0.27648) [1.93131]	0.808238 (0.19134) [4.22408]	0.547762 (0.20681) [2.64859]	-0.465799 (8.09934) [-0.05751]	0.398272 (6.83534) [0.05827]
RPEGRE(-1)	-0.096107 (0.59554) [-0.16138]	0.148614 (0.41215) [0.36059]	-0.317854 (0.44547) [-0.71352]	-13.41195 (17.4460) [-0.76877]	-7.817189 (14.7233) [-0.53094]
RNOXGRE(-1)	-0.000612 (0.00479) [-0.12769]	-0.001185 (0.00331) [-0.35754]	0.000912 (0.00358) [0.25452]	-0.533034 (0.14029) [-3.79939]	-0.123485 (0.11840) [-1.04295]
RSOXGRE(-1)	-0.004399 (0.00741) [-0.59331]	0.004281 (0.00513) [0.83431]	-0.003481 (0.00555) [-0.62755]	0.115509 (0.21720) [0.53180]	-0.448445 (0.18331) [-2.44642]
C	-0.025554 (0.01510) [-1.69238]	0.014383 (0.01045) [1.37647]	-0.004665 (0.01129) [-0.41307]	-0.131948 (0.44232) [-0.29831]	0.105818 (0.37329) [0.28347]
UPGRE	0.036492 (0.02619) [1.39352]	-0.026218 (0.01812) [-1.44665]	0.010366 (0.01959) [0.52921]	0.674455 (0.76713) [0.87919]	-0.243541 (0.64741) [-0.37618]

R-squared	0.432627	0.654895	0.438271	0.461147	0.276288
Adj. R-squared	0.262415	0.551363	0.269753	0.299491	0.059175
Sum sq. resid	0.026646	0.012762	0.014909	22.86667	16.28635
S.E. equation	0.036501	0.025261	0.027303	1.069268	0.902395
F-statistic	2.541697	6.325557	2.600728	2.852642	1.272551
Log likelihood	55.12144	65.05981	62.96036	-36.06823	-31.48696
Akaike AIC	-3.564551	-4.300727	-4.145212	3.190239	2.850886
Schwarz SC	-3.228593	-3.964769	-3.809254	3.526197	3.186844
Mean dependent	-0.003758	0.006519	0.002737	0.152711	-0.074936
S.D. dependent	0.042501	0.037713	0.031951	1.277555	0.930341
Determinant resid covariance (dof adj.)		7.67E-11			
Determinant resid covariance		1.71E-11			
Log likelihood		143.1331			
Akaike information criterion		-8.009858			
Schwarz criterion		-6.330070			
Number of coefficients		35			

Εκτιμώντας το μοντέλο VAR με μια υστέρηση παρουσιάζουμε στον πίνακα 2 τους εκτιμηθέντες συντελεστές, τα τυπικά τους σφάλματα σε παρενθέσεις και τις statistic τιμές σε αγκύλες. Τις τελευταίες τις συγκρίνουμε, σε απόλυτη τιμή, με την κριτική τιμή της t-student κατανομής για $\alpha = 0.05$ και $\nu = 28$ βαθμούς ελευθερίας (μέγεθος δείγματος) η οποία δίνεται 1.701, με σκοπό να ερμηνεύσουμε αν ο συντελεστής που μας δίνεται είναι στατιστικά σημαντικός. Η μηδενική υπόθεση για τον κάθε συντελεστή είναι ότι ισούται με το μηδέν, ενώ η εναλλακτική είναι ότι ο συντελεστής είναι στατιστικά διάφορος από το μηδέν. Από τους παραπάνω συντελεστές δίνουμε παραπάνω βάση στην ερμηνεία των στατιστικά σημαντικών.

Αρχικά παρατηρούμε ότι η πρώτη υστέρηση του CO₂ δεν επηρεάζει σε στατιστικά σημαντικό βαθμό καμία από τις υπόλοιπες μεταβλητές, όταν αυτές χρησιμοποιούνται ως εξαρτημένες.

Η πρώτη υστέρηση του GDP επηρεάζει σε στατιστικά σημαντικό βαθμό την μεταβλητή του CO₂ και την μεταβλητή του PE καθώς οι statistic τιμές είναι μεγαλύτερες από την κριτική τιμή σε απόλυτες τιμές. Επιπλέον παρατηρούμε ότι η πρώτη υστέρηση του GDP επηρεάζει την σημερινή του απόδοση σε μεγάλο βαθμό καθώς και σε επίπεδο συντελεστών και σε επίπεδο κριτικών τιμών, παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή από τις υπόλοιπες μεταβλητές. Επομένως η σειρά έχει αυτοσυσχέτιση όπως βρήκαμε στον έλεγχο στασιμότητάς της.

Στη συνέχεια, παρατηρούμε ότι η υστέρηση της πρωτογενούς ενέργειας δεν επηρεάζει ούτε αυτή σε στατιστικά σημαντικό βαθμό κάποια από τις υπόλοιπες εξαρτημένες μεταβλητές. Η υστέρηση της μεταβλητής του NO_x φαίνεται να επηρεάζει

αρνητικά τη σημερινή της απόδοση. Η statistic τιμή ανέρχεται στα -3.79 και σε απόλυτη τιμή είναι μεγαλύτερη από την κριτική τιμή που μας δίνεται ίση με 1.71 . Παρ' όλα αυτά το μέγεθος του συντελεστή είναι σχετικά μικρό και αρνητικό με -0.53 .

Ο επόμενος συντελεστής που βρίσκουμε ως στατιστικά σημαντικό αφορά πάλι αυτοσυσχετίσεις καθώς το SO_x επηρεάζεται αρνητικά από την πρώτη του υστέρηση σε στατιστικά σημαντικό βαθμό, με συντελεστή -0.44 , ενώ δεν επηρεάζει καμία από τις εξαρτημένες μεταβλητές. Τέλος παρατηρούμε ότι η μεταβλητή του σταθερού όρου και του πληθυσμού δεν παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα.

Οι απεικονίσεις των αποδόσεων των μεταβλητών του υποδείγματος, παρουσιάζονται στο Παράρτημα 3.

4.2 Έλεγχος αυτοσυσχέτισης και κανονικότητας των καταλοίπων

Αφού έχουμε υπολογίσει την παλινδρόμηση, πρέπει να κάνουμε έλεγχο Αυτοσυσχέτισης και Κανονικότητας στα κατάλοιπα του υποδείγματος.

Πίνακας 3 Αποτελέσματα ελέγχου αυτοσυσχέτισης των καταλοίπων

VAR Residual Serial Correlation LM Tests						
Sample: 1990 2018						
Included observations: 27						
Null hypothesis: No serial correlation at lag h						
Lag	LRE* stat	df	Prob.	Rao F-stat	df	Prob.
1	22.24326	25	0.6217	0.866383	(25, 42.4)	0.6427
Null hypothesis: No serial correlation at lags 1 to h						
Lag	LRE* stat	df	Prob.	Rao F-stat	df	Prob.
1	22.24326	25	0.6217	0.866383	(25, 42.4)	0.6427

*Edgeworth expansion corrected likelihood ratio statistic.

Στον έλεγχο αυτοσυσχέτισης η μηδενική υπόθεση (H_0) μας λέει ότι δεν υπάρχει αυτοσυσχέτιση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα κατάλοιπα μας δεν παρουσιάζουν αυτοσυσχέτιση διότι η $p - value = 0.6427$ είναι μεγαλύτερη από τον συντελεστή α για επίπεδο σημαντικότητας 5%, επομένως δεν απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση και δεν υπάρχει αυτοσυσχέτιση στα κατάλοιπα της παλινδρόμησης.

Όσον αφορά την κανονικότητα των εκτιμημένων καταλοίπων κάνουμε έλεγχο Jarque-Bera. Ο έλεγχος εξετάζει κατά πόσο η ασυμμετρία και η κύρτωση των καταλοίπων ταιριάζουν με τα χαρακτηριστικά της κανονικής κατανομής. Η μηδενική υπόθεση (H_0) υποθέτει ότι όλα τα κατάλοιπα ακολουθούν μια κανονική πολυμεταβλητή κατανομή. Στην περίπτωση μας, τα κατάλοιπα της τρίτης, τέταρτης και πέμπτης παλινδρόμησης δεν ακολουθούν κανονική πολυμεταβλητή κατανομή καθώς απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση. Αντιθέτως στην πρώτη και δεύτερη παλινδρόμηση, τα κατάλοιπα ακολουθούν κανονική κατανομή, καθώς δεν απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση. Το αποτέλεσμα έχει να κάνει κυρίως με την φύση των μεταβλητών. Συνολικά, στον από κοινού έλεγχο όλων των καταλοίπων του δείγματος, τα κατάλοιπα δεν ακολουθούν κανονική πολυμεταβλητή κατανομή. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς ήδη τρεις από τις σειρές καταλοίπων δεν ακολουθούν την κατανομή αυτή.

Πίνακας 4 Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας των καταλοίπων

Component	Jarque-Bera	df	Prob.
1	0.026171	2	0.9870
2	1.962095	2	0.3749
3	7.404438	2	0.0247
4	10.59712	2	0.0050
5	8.508523	2	0.0142
Joint	28.49835	10	0.0015

4.3 Έλεγχος υστερήσεων

Σύμφωνα με τα κριτήρια επιλογής υστερήσεων και σύμφωνα και τα κριτήρια πληροφοριών του Akaike (AIC), το υπόδειγμά μας θα έπρεπε να μην έχει υστερήσεις. Ξεκινάμε να επιλέγουμε τον βαθμό του υποδείγματος από υψηλές τιμές, μέχρις ότου ο συντελεστής να είναι σημαντικός, πράγμα το οποίο συμβαίνει στην περίπτωση των 0 υστερήσεων.

Πίνακας 5 Αποτελέσματα ελέγχου υστερήσεων του υποδείγματος

VAR Lag Order Selection Criteria
 Sample: 1990 2018
 Included observations: 26

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	118.0186	NA*	1.70e-10*	-8.309126*	-7.825243*	-8.169785*
1	141.4853	34.29746	2.04e-10	-8.191179	-6.497587	-7.703486
2	158.6624	18.49840	5.07e-10	-7.589416	-4.686116	-6.753371

Επειδή όμως χρειαζόμαστε υστερήσεις για τους επόμενους ελέγχους της έρευνάς μας λαμβάνουμε υπόψιν ότι οι έλεγχοι είναι στατιστικές μέθοδοι χωρίς οικονομική λογική και δεδομένου ότι έχουμε πολύ μικρό δείγμα, για να είναι αξιόπιστοι, θα συνεχίσουμε εκτιμώντας το υπόδειγμα μας με μια υστέρηση. Δηλαδή θα προβούμε στην εκτίμηση ενός υποδείγματος VAR(1).

4.4 Έλεγχος συνολοκλήρωσης Johansen

Αφού έχουμε προσδιορίσει την τάξη του υποδείγματος VAR ξεκινάμε τη διαδικασία ελέγχου υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει καμία σχέση μεταξύ μεταβλητών, που αντιστοιχεί σε μη συνολοκλήρωση, άρα στην πρώτη μηδενική υπόθεση η οποία απορρίπτεται, ο έλεγχος σταματά. Στην δεύτερη στήλη του πίνακα 6 απεικονίζονται οι ιδιοτιμές, κατά φθίνουσα τάξη, στις οποίες βασίζονται οι δύο έλεγχοι. Ο βαθμός της μήτρας (r) ισούται με τον μεγαλύτερο αριθμό των μη μηδενικών ιδιοτιμών, ενώ σε κάθε μη μηδενική ιδιοτιμή αντιστοιχεί ένα ιδιοδιάνυσμα.

Πίνακας 6 Αποτελέσματα ελέγχου συνολοκλήρωσης

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.762233	97.19227	69.81889	0.0001
At most 1 *	0.624944	59.84420	47.85613	0.0025
At most 2 *	0.469778	34.34654	29.79707	0.0140
At most 3 *	0.433216	17.85060	15.49471	0.0217
At most 4	0.112001	3.088414	3.841466	0.0788

Trace test indicates 4 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.762233	37.34807	33.87687	0.0185
At most 1	0.624944	25.49765	27.58434	0.0903
At most 2	0.469778	16.49595	21.13162	0.1972
At most 3 *	0.433216	14.76218	14.26460	0.0417
At most 4	0.112001	3.088414	3.841466	0.0788

Max-eigenvalue test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Με βάση τον έλεγχο ίχνους (Trace), η αρχική υπόθεση $H_0: r = 0$ για μη συνολοκλήρωση (None) απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και στον έλεγχο μέγιστης τιμής (Maximum Eigenvalue). Ο έλεγχος για ύπαρξη μιας το πολύ σχέσης ($H_0 : r \leq 1$) στο έλεγχο ίχνους απορρίπτεται για επίπεδο σημαντικότητας 5%, αλλά δεν απορρίπτεται στον έλεγχο της μέγιστης τιμής. Ο έλεγχος τερματίζεται εδώ από την στιγμή που με τον έλεγχο της ύπαρξης μιας, το πολύ, σχέσης καταλήξαμε στη μη απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης. Επομένως δεχόμαστε την ύπαρξη μιας σχέσης συνολοκλήρωσης πρώτου βαθμού με μέγιστο αριθμό εξισώσεων ένα (cointegration equation CE at most 1).

Πίνακας 7 Αποτελέσματα ελέγχου συνολοκλήρωσης του Johansen

1 Cointegrating Equation(s):	Log likelihood	125.3777		
Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)				
RCOGRE	RGDPGRE	RPEGRE	RNOXGRE	RSOXGRE
1.000000	-0.012675 (0.22154)	-1.545059 (0.30364)	-0.030977 (0.00834)	0.068630 (0.01038)
Adjustment coefficients (standard error in parentheses)				
D(RCOGRE)	-0.404875 (0.22060)			
D(RGDPGRE)	0.334697 (0.13371)			
D(RPEGRE)	0.006209 (0.17937)			
D(RNOXGRE)	1.534119 (8.01774)			
D(RSOXGRE)	-20.34313 (5.99738)			

Η εξίσωση συνολοκλήρωσης δίνεται παραπάνω και οι στατιστικές τιμές των συντελεστών δίνονται ως 0.0572 για την GDP, 5.088 για την PE ενώ 3.714 και -6.611 για τις NO_x και SO_x αντίστοιχα. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι μόνο οι τρεις τελευταίες είναι στατιστικά σημαντικές όταν παίρνουμε την CO_2 ως εξαρτημένη. Η συναρτησιακή μορφή της σχέσης συνολοκλήρωσης είναι:

$$CO_{2t-1} + 0.01GDP_{t-1} + 1.54PE_{t-1} + 0.03NO_{xt-1} - 0.06SO_{xt-1} = 0 \quad (4)$$

4.5 Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger

Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα τα αποτελέσματα αιτιότητας κατά Granger διαμορφώνονται ως εξής:

4.5.1 Αιτιότητα CO₂

Παρατηρούμε ότι οι αποδόσεις του διοξειδίου του άνθρακα δεν εμφανίζουν κάποια σχέση αιτιότητας με καμία από τις τέσσερις υπόλοιπες μεταβλητές για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Αυτό σημαίνει ότι το GDP, η ενέργεια, το NO_x και το SO_x δεν επηρεάζουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμό την πορεία του CO₂, για όλα τα επίπεδα σημαντικότητας. Παρατηρούμε ότι η p-value της μεταβλητής GDP βρίσκεται πολύ κοντά στο επίπεδο σημαντικότητας διότι είναι ίσο με 0.0534. Αυτό σημαίνει ότι για επίπεδο σημαντικότητας 5% δεν είναι στατιστικά σημαντικό, αλλά για επίπεδο σημαντικότητας ίσο με 10%, θα λέγαμε ότι είναι στατιστικά σημαντική. Το αποτέλεσμα είναι λογικό διότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα επηρεάζονται πιο πολύ από άλλες χημικές ουσίες και από τον τρόπο με τον οποίον αυτές αντιδρούν.

Πίνακας 8 Αιτιότητα διοξειδίου του άνθρακα

Dependent variable: RCOGRE			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
RGDPGRE	3.729963	1	0.0534
RPEGRE	0.026043	1	0.8718
RNOXGRE	0.016305	1	0.8984
RSOXGRE	0.352017	1	0.5530
All	4.617829	4	0.3288

4.5.2 Αιτιότητα GDP

Στην αιτιότητα των αποδόσεων του GDP δεν παρατηρείται κάποια σχέση αιτιότητας με καμία από τις μεταβλητές μας, για κανένα επίπεδο σημαντικότητας. Αυτό σημαίνει ότι δεν επηρεάζεται από κανένα άλλο στοιχείο της έρευνας μας, ούτε με το CO₂, όπως θα περιμέναμε. Το αποτέλεσμα αυτό ίσως βασίζεται στο γεγονός ότι η μεταβλητή είναι η πιο ευρεία και επηρεάζεται από μεγάλο αριθμό παραμέτρων, καθώς επίσης αφορά την πραγματική οικονομία, ενώ οι άλλες μεταβλητές είναι κυρίως περιβαλλοντικού περιεχομένου. Επίσης όπως αναφέραμε και νωρίτερα οι αποδόσεις του GDP οριακά δεν ήταν στάσιμες για το συγκεκριμένο δείγμα και αυτό μπορεί να επηρεάζει επίσης την στατιστική εκτίμηση.

Πίνακας 9 Αιτιότητα Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος

Dependent variable: RGDPGRE

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
RCOGRE	0.028454	1	0.8660
RPEGRE	0.130022	1	0.7184
RNOXGRE	0.127836	1	0.7207
RSOXGRE	0.696079	1	0.4041
All	1.961275	4	0.7429

4.5.3 Αιτιότητα PE

Στη συνέχεια παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μονόπλευρη σχέση μεταξύ του GDP και της πρωτογενούς ενέργειας, καθώς οι αποδόσεις του πρώτου επηρεάζουν τον δεύτερο για όλα τα επίπεδα σημαντικότητας ($p - value = 0.008$), επομένως απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση. Οι υπόλοιπες μεταβλητές του υποδείγματος δεν φαίνεται να έχουν στατιστικά σημαντική αιτιώδη σχέση με την κατανάλωση της πρωτογενούς ενέργειας. Επομένως βρίσκουμε ότι το επίπεδο του κατά κεφαλήν εισοδήματος επηρεάζει άμεσα και σημαντικά το επίπεδο της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Με άλλα λόγια όσο πιο εύπορος είναι ένας Έλληνας πολίτης σε όρους εισοδήματος, τόσο περισσότερη ενέργεια θα καταναλώνει κατά μέσο όρο.

Πίνακας 10 Αιτιότητα πρωτογενούς ενέργειας

Dependent variable: RPEGRE

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
RCOGRE	0.258923	1	0.6109
RGDPGRE	7.015030	1	0.0081
RNOXGRE	0.064783	1	0.7991
RSOXGRE	0.393819	1	0.5303
All	7.540149	4	0.1100

4.5.4 Αιτιότητα NO_x και SO_x

Και στις δύο αυτές περιπτώσεις δεν παρατηρείται κάποια στατιστικά σημαντική αιτιώδης σχέση μεταξύ των μεταβλητών του υποδείγματος μας. Επομένως και οι εκπομπές NO_x αλλά και οι εκπομπές SO_x , δεν επηρεάζονται από καμία παράμετρο που περιλαμβάνεται στη μελέτη μας, για το συγκεκριμένο δείγμα.

Πίνακας 11 Αιτιότητα διοξειδίου αζώτου και θείου

Dependent variable: RNOXGRE			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
RCOGRE	0.687343	1	0.4071
RGDPGRE	0.003307	1	0.9541
RPEGRE	0.591009	1	0.4420
RSOXGRE	0.282809	1	0.5949
All	1.535124	4	0.8204

Dependent variable: RSOXGRE			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
RCOGRE	1.210656	1	0.2712
RGDPGRE	0.003395	1	0.9535
RPEGRE	0.281897	1	0.5955
RNOXGRE	1.087747	1	0.2970
All	2.566865	4	0.6327

4.6 Πιθανές ερμηνείες

Έπειτα από τους ελέγχους για συνολοκλήρωση και αιτιότητα μεταξύ των μεταβλητών, βρήκαμε ότι υπάρχουν ισχυρές θετικές σχέσης από το κατά κεφαλήν εισόδημα προς τα επίπεδα εκπομπών διοξειδίου το άνθρακα και της κατά κεφαλήν κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας.

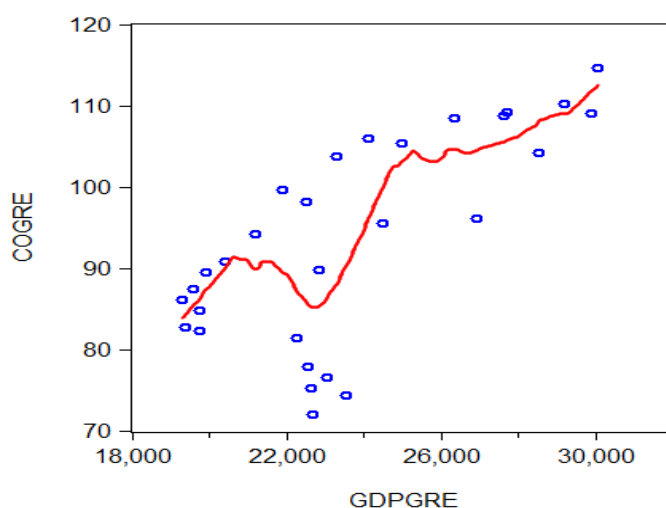
Παρατηρώντας και εμπειρικά το scatter plot μεταξύ των δύο μεταβλητών όπως αυτό προτείνεται από το υπόδειγμα ΕΚC, βρίσκουμε ότι η σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών έχει μια σχέση N-σχήματος και όχι ανεστραμμένου U. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι για το επίπεδο εισοδήματος μεταξύ 22,000 και 24,000 ευρώ, υπάρχει μια πτώση στις εκπομπές CO₂, ενώ για όλα τα υπόλοιπα επίπεδα υπάρχει μια θετική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Τα επίπεδα 22,000-24,000 παρατηρείται να υπάρχουν στα τέλη τις δεκαετίας του 1990 συνεχίζοντας την ανοδική, μέχρι τότε, τάση στις εκπομπές αλλά και στην περίοδο 2011-2018 κατά τη διάρκεια της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα.

Βάση βιβλιογραφίας θεωρούμε πιο πιθανό να ισχύει ότι η ΕΚC παίρνει την μορφή της λεγόμενης N-σχήμα καμπύλης. Η καμπύλη αυτή παρουσιάζει ίδιο μοτίβο με την μορφή της ανεστραμμένης U καμπύλης, με την διαφορά ότι από ένα ορισμένο επίπεδο εισοδήματος και έπειτα παρατηρείται ξανά η αύξηση της περιβαλλοντικής

ρύπανσης, καθώς αυξάνεται το εισόδημα. Αυτό μπορεί να συμβαίνει διότι μπορεί η τεχνολογική βελτίωση, η οποία βοηθά στην αποτελεσματικότερη χρήση των πόρων, να γίνει ακριβότερη ή ακόμα και να εξαντληθεί.

Σαν εναλλακτική ερμηνεία, θα μπορούσε να ισχύει και ότι η χώρα ακόμα βρίσκεται στο πρώτο μέρος της καμπύλης, που είναι το ανοδικό και δεν έχει φτάσει ακόμα το σημείο εκείνο του εισοδήματος για το οποίο η οικονομική ανάπτυξη μειώνει τους συνολικούς ρύπους.

Επομένως θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι για το δεδομένο δείγμα, δεν ισχύει εμπειρικά η ΕΚΚ για την Ελλάδα.



Εικόνα 2 Απεικόνιση σχέσης μεταξύ CO2 και GDP

5. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν, μέσα από την εμπειρική ανάλυση, να διερευνηθεί κατά πόσο ισχύει η θεωρία της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet στην περίπτωση της Ελλάδας και για το χρονικό διάστημα 1990-2018. Αυτή η θεωρία υποστηρίζει ότι η ρύπανση του περιβάλλοντος στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης μιας οικονομίας είναι αναπόφευκτη, αλλά από ένα επίπεδο του κατά κεφαλήν εισοδήματος και έπειτα, η υποβάθμιση του περιβάλλοντος μειώνεται, ενώ το εισόδημα συνεχίζει να

αυξάνεται. Αυτό σημαίνει ότι η ρύπανση του περιβάλλοντος παρουσιάζει σημείο καμψής. Με τον τρόπο αυτό εξετάζουμε αν και κατά πόσο η οικονομική ανάπτυξη θα μπορούσε να επιλύσει προβλήματα που αφορούν το περιβάλλον.

Στην παρούσα μελέτη εξετάσαμε τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη σχέση μεταξύ κατά κεφαλήν εισοδήματος, των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, της πρωτογενούς ενέργειας, καθώς και των διοξειδίων του αζώτου και του θείου, ενώ λάβαμε υπόψιν και την επίδραση της αστικοποίησης του πληθυσμού παίρνοντας ετήσια δεδομένα.

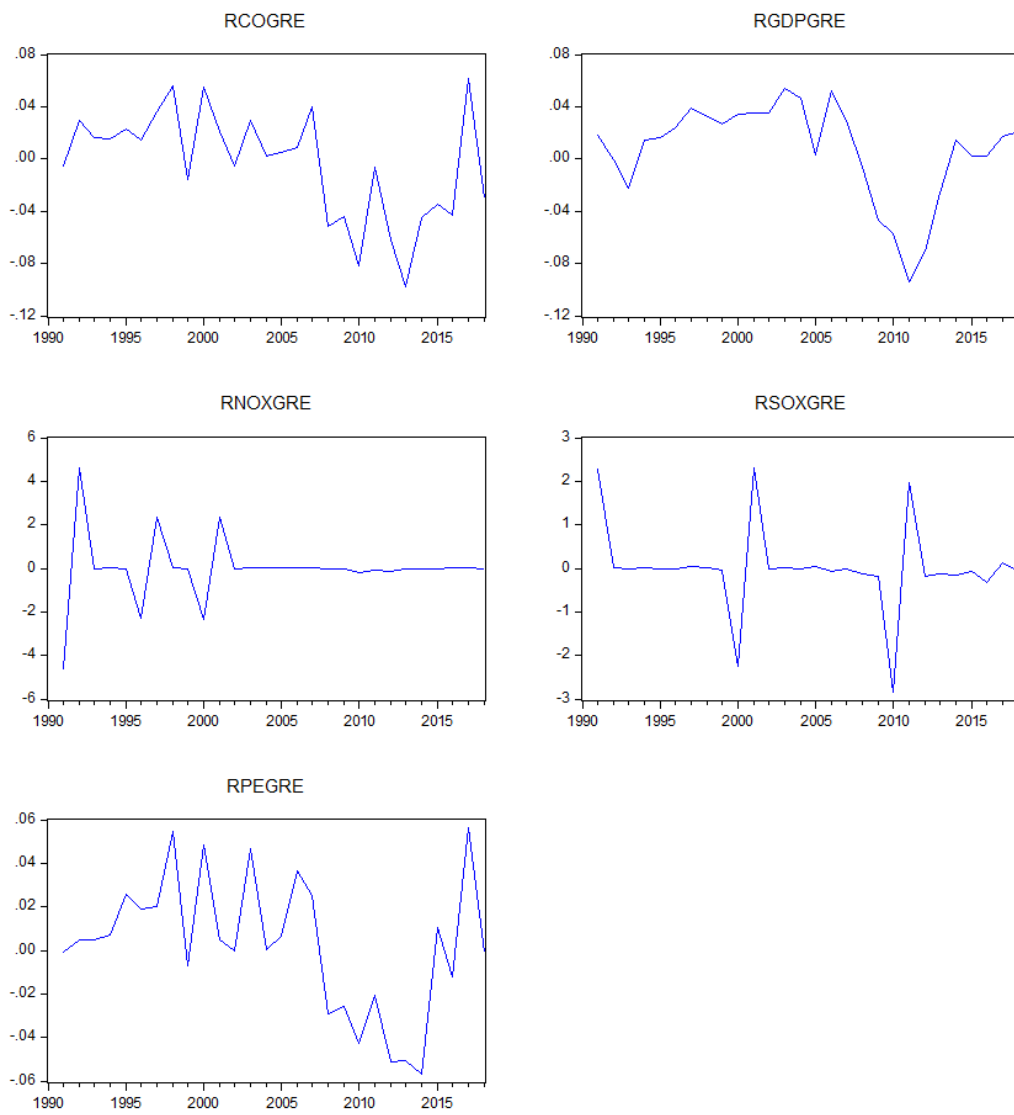
Τα αποτελέσματα της εμπειρικής μελέτης μας, έδειξαν ότι υπάρχουν σχέσεις αιτιότητας και συνολοκλήρωσης. Οι μόνες σχέσεις αιτιότητας που βρήκαμε αφορούν την κατεύθυνση εισόδημα προς CO₂ για επίπεδο σημαντικότητας 10% και εισόδημα προς PE για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Επομένως το επίπεδο εισοδήματος επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή καταναλωτική συμπεριφορά των Ελλήνων. Σύμφωνα με τους ελέγχους του Granger και του Johansen, η σχέση μεταξύ ρύπανσης και οικονομικής ανάπτυξης δεν περιγράφεται μέσα από μια ανεστραμμένου U-σχήματος καμπύλη, αλλά από μια καμπύλη μορφής «N». Αυτό σημαίνει ότι εκτός από την συμπεριφορά που θα είχε η ανεστραμμένου U καμπύλη, αυτή τη φορά από ένα επίπεδο εισοδήματος και μετά η υποβάθμιση του περιβάλλοντος αυξάνεται ξανά. Επομένως το εισόδημα και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δεν υποστηρίζουν την υπόθεση της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznet.

Επιπλέον, για την χώρα της Ελλάδας, παρατηρήθηκε ότι τα ποσοστά αστικοποίησης του πληθυσμού δεν έχουν σημαντική επιρροή στην αύξηση ρύπων, καθώς από την αρχή του δείγματος τα επίπεδα αστικοποίησης ήταν ήδη πολύ υψηλά και δεν άλλαξαν σημαντικά στη συνέχεια.

Ακόμα παρατηρήθηκε μια ισχυρή αιτιότητα ανάμεσα σε GDP και πρωτογενούς ενέργειας, καθώς φαίνεται ότι αυτή επηρεάζεται ανάλογα με τα επίπεδα του εισοδήματος.

Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι για την περίπτωση της Ελλάδας η θεωρία ΕΚC μάλλον δεν επαρκεί για τη χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής, διότι η οικονομική ανάπτυξη δεν θα αποτελέσει λύση για την μείωση των ρύπων και τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Παράρτημα 1



Διάγραμμα 2 Διαγραμματική απεικόνιση αποδόσεων μεταβλητών

Παράρτημα 2

Για να καταλάβουμε αν μια μεταβλητή είναι στάσιμη ή όχι, συγκρίνουμε την p-value με τον δείκτη $\alpha = 0.05$ που φανερώνει το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας. Εάν η τιμή μας είναι μικρότερη του συντελεστή 0.05, τότε η μεταβλητή μας είναι στάσιμη και απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση, η οποία σε αυτή την περίπτωση υποθέτει ότι η μεταβλητή έχει μοναδιαία ρίζα, άρα είναι μη στάσιμη.

Πίνακας 12 Αποτελέσματα ελέγχου στασιμότητας

Null Hypothesis: RCOGRE has a unit root
Exogenous: Constant, Linear Trend
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=6)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.531663	0.0065
Test critical values: 1% level	-4.339330	
5% level	-3.587527	
10% level	-3.229230	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Null Hypothesis: RGDPGRE has a unit root
Exogenous: Constant, Linear Trend
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=6)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.738530	0.7058
Test critical values: 1% level	-4.339330	
5% level	-3.587527	
10% level	-3.229230	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Null Hypothesis: RPEGRE has a unit root
Exogenous: Constant, Linear Trend
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=6)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.780726	0.0336
Test critical values: 1% level	-4.339330	
5% level	-3.587527	
10% level	-3.229230	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Null Hypothesis: RNOXGRE has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=6)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.820189	0.0004
Test critical values: 1% level	-4.374307	
5% level	-3.603202	
10% level	-3.238054	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

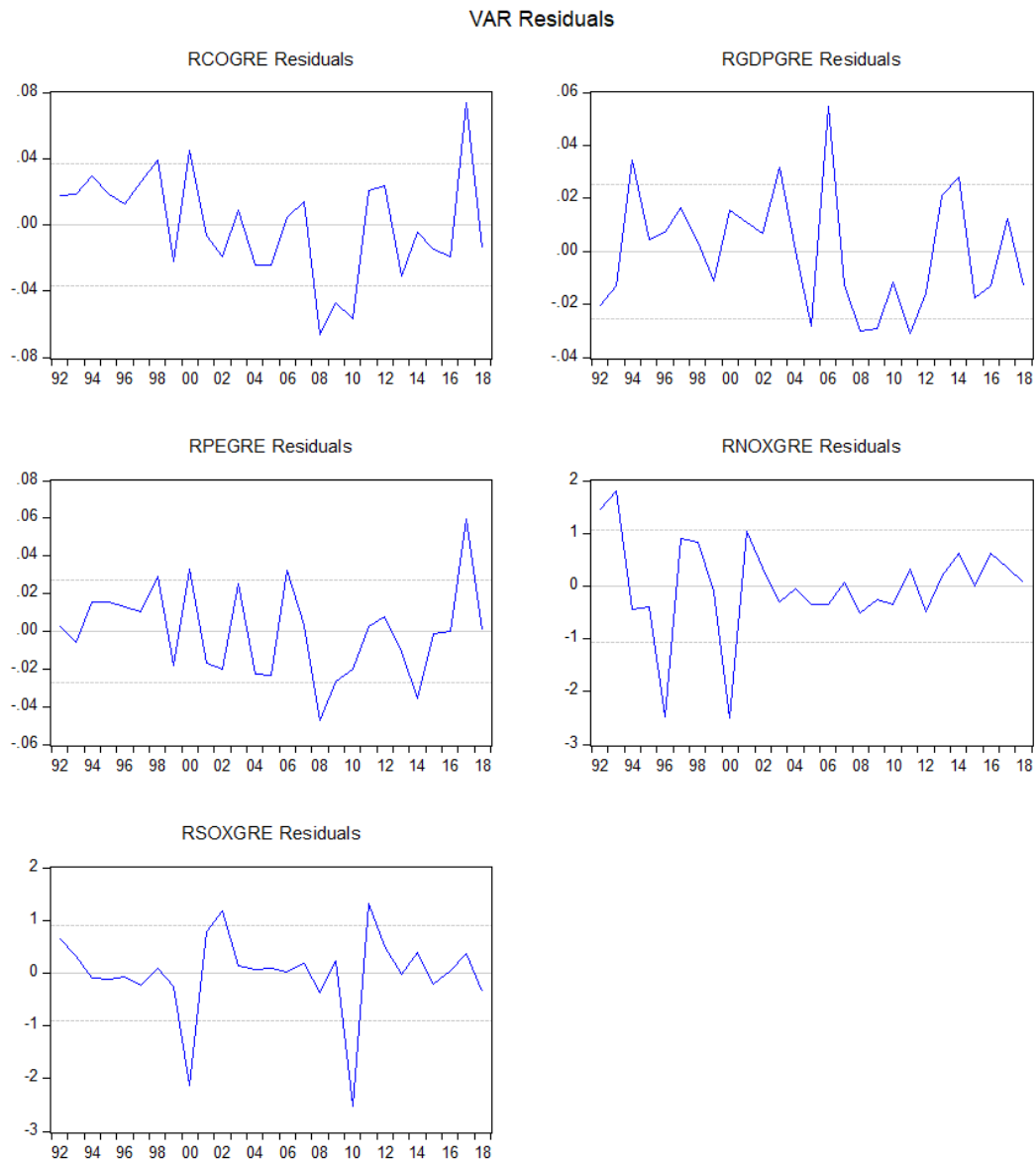
Null Hypothesis: RSOXGRE has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=6)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-8.351922	0.0000
Test critical values: 1% level	-4.339330	
5% level	-3.587527	
10% level	-3.229230	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Παράρτημα 3

Αφού τρέξουμε το υπόδειγμά μας VAR(1), μπορούμε να απεικονίσουμε διαγραμματικά και τις αποδόσεις που συμπεριλαμβάνονται σε αυτό.



Διάγραμμα 3 Διαγραμματική απεικόνιση αποδόσεων μεταβλητών στο υπόδειγμα VAR

Βιβλιογραφία

- Akaike, H. (1973), "Information theory and an extension of the maximum likelihood principle", in Petrov, B. N.; Csáki, F. (eds.), *2nd International Symposium on Information Theory, Tsahkadsor, Armenia, USSR, September 2-8, 1971*.
- A. Ullah ; D. Khan (2020), "Testing environmental Kuznets curve hypothesis in the presence of green revolution: a cointegration analysis for Pakistan".
- Dickey, D. A.; Fuller, W. A. (1979). "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root". *Journal of the American Statistical Association*. 74 (366): 427–431.
- Erasmia Kotroni; Dimitra Kaika and Efthimios Zervas, (2020), *Environmental Kuznets Curve in Greece in the period 1960-2014*, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10, (4), 364-370
- Ertugrul, Hasan Murat and Çetin, Murat and Şeker, Fahri and Dogan, Eyüp (2015): *The impact of trade openness on global carbon dioxide emissions: Evidence from the top ten emitters among developing countries*. Published in: *Ecological Indicators* , Vol. 67, (25 April 2016): pp. 543-555.
- For multivariate tests for autocorrelation in the VAR models, see Hatemi-J, A. (2004). "Multivariate tests for autocorrelation in the stable and unstable VAR models". *Economic Modelling*. 21 (4): 661–683
- "GDP (Official Exchange Rate)" (PDF). World Bank. Retrieved 24 August 2015.
- Granger, C.W.J.; Newbold, P. (1978). "Spurious regressions in Econometrics". *Journal of Econometrics*. 2 (2): 111–120.
- Granger, C. W. J. (1969). "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods". *Econometrica*. 37 (3): 424–438.
- Granger, C.W.J. (1980). "Testing for causality: A personal viewpoint". *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2: 329–352.
- Grossman, Gene M. ; Krueger, Alan B. (1991). "Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement". Working paper No.3914.
- Istihak Rayhan ; K, Akter ; M. Islam ; M. Hossain (2018). 'Impact of Urbanization and Energy Consumption on CO2 Emissions in Bangladesh: An ARDL Bounds Test Approach. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 9(6):838-843
- Jarque, Carlos M.; Bera, Anil K. (1980). "Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals". *Economics Letters*. 6 (3): 255–259.
- Johansen, Søren (1991). "Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models". *Econometrica*. 59 (6): 1551–1580.
- J. H. Lee (2015) "CO₂ Emissions, Energy Consumption and GDP: Evidence from Iraq".
- Kuznets, Simon. 1955. *Economic Growth and Income Inequality*. *American Economic Review* 45 (March): 1–28.
- Liakou, Anthoula, Eirini. (2013). "Μια εμπειρική διερεύνηση της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets: study case Ελλάδα, Ισπανία, Γαλλία, Ιταλία". Master Thesis.

- Mehdi Ben Jebli & Montassar Kahia, (2020). "The interdependence between CO2 emissions, economic growth, renewable and non-renewable energies, and service development: evidence from 65 countries," *Climatic Change, Springer*, vol. 162(2), pages 193-212, September.
- Mohamed Abdouli and Sami Hammami, (2017). "Exploring Links between FDI Inflows, Energy Consumption, and Economic Growth: Further Evidence from MENA Countries," *Journal of Economic Development, Chung-Ang University, Department of Economics*, vol. 42(1), pages 95-117, March.
- Nemat Shafik and Sushenjit Bandyopadhyay, (1992), *Economic growth and environmental quality: time series and cross-country evidence*, No 904, Policy Research Working Paper Series, The World Bank
- Ozturk, Ilhan & Acaravci, Ali, 2010. "CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, vol. 14(9), pages 3220-3225, December.
- Riyaz Alam ; Masudul Hasan Adil (2019). "Validating the Environmental Kuznets Curve in India: Ardl Bounds Testing Framework", *OPEC Energy Review*, Vol. 43, Issue 3 p. 277-300
- S. Koc ; Gokay Canberk Bulus (2020), "Testing validity of the EKC hypothesis in South Korea: role of renewable energy and trade openness".
- Shahbaz, Muhammad and Sbia, Rashid and Hamdi, Helmi (2013): *The Environmental cost of Skiing in the Desert? Evidence from Cointegration with unknown Structural breaks in UAE*. MPRA Paper No. 48007, 2013.
- Usama Al-mulali and Ilhan Ozturk, (2016), *The investigation of environmental Kuznets curve hypothesis in the advanced economies: The role of energy prices*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, (C), 1622-1631