

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**  
Σχολή Χρηματοοικονομικής και Στατιστικής



**Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ**

**Διερεύνηση Προσδιοριστικών Παραγόντων**  
**για Πηγές Ενέργειας**

**Νικόλαος Η. Ροκάκης**

Διπλωματική Εργασία  
που υποβλήθηκε στο Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης του  
Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην Εφαρμοσμένη Στατιστική

**Πειραιάς,**  
**Οκτώβριος 2022**



Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΕΣ του τμήματος Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου Πειραιώς στην υπ' αριθμ. .... συνεδρίασή του σύμφωνα με τον Εσωτερικό Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Εφαρμοσμένη Στατιστική

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Καθηγητής Αγιακλόγλου Χρήστος (Επιβλέπων)
- Αναπληρωτής Καθηγητής Πολίτης Κωνσταντίνος
- Αναπληρωτής Καθηγητής Μπούτσικας Μιχαήλ

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.



**UNIVERSITY OF PIRAEUS**  
**School of Finance and Statistics**



**Department of Statistics and Insurance Science**

**Postgraduate Program in Applied Statistics**

**Empirical Investigation for Factors  
of Energy Sources**

**By**

**Rokakis I. Nikolaos**

MSc Dissertation  
submitted to the Department of Statistics and Insurance  
Science of the University of Piraeus in partial fulfilment of  
the requirements for the degree of Master of Science in  
Applied Statistics

**Piraeus,  
October 2022**



## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου, κο. Αγιακλόγλου Χρήστο, Καθηγητή του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πειραιώς, για την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας. Οι συμβουλές του αναφορικά με τη συγγραφή της εργασίας συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της διατριβής, αλλά παράλληλα και στη βελτίωση των γραπτών ικανοτήτων μου, οι οποίες σίγουρα θα εξακολουθούν να χρησιμεύουν σε βάθος χρόνου. Επιπλέον θα ήθελα να τον ευχαριστήσω, για την κατανόηση που έδειξε κατόπιν ενημέρωσής του, σχετικά με σημαντικά ζητήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της συγγραφής της συγκεκριμένης έρευνας.

Ακόμη, οφείλω να ευχαριστήσω τη μητέρα μου, Φούσια Αδαμαντίνη, που ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και η συμπαράστασή της ήταν ανεκτίμητη. Η υποστήριξή που δείξαμε ο ένας στον άλλον κατά τη διάρκεια των αντίστοιχων σπουδών μας ήταν πράγματι κάτι το μοναδικό. Τέλος, η εργασία αυτή αφιερώνεται στην αγαπημένη μου θεία, Φούσια Ειρήνη, η οποία δεν είναι πλέον ανάμεσά μας, για να γιορτάσει μαζί μας το κλείσιμο ενός σημαντικού για εμένα κύκλου.





## Περίληψη

Δεν θα ήταν εσφαλμένο το να πει κανείς, πως η ενέργεια αποτελεί θεμέλιο για την ομαλή λειτουργία της κοινωνίας στην παρούσα εποχή. Η επάρκεια των πόρων προς κατανάλωση είναι ένα θέμα τόσο σημαντικό, που η βελτίωση της αποτελεσματικότητας της χρήσης των υπαρχόντων πόρων τίθεται συνεχώς σαν κρίσιμο ζήτημα από διακρατικούς οργανισμούς και ενώσεις. Κατά συνέπεια, η κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση αυτών των πόρων και η εκτίμηση του βεληνεκούς της επίδρασης αυτής κρίνεται ιδιαίτερος σημαντική.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση των παραγόντων, οι οποίοι επηρεάζουν την κατανάλωση δύο ορυκτών καυσίμων: του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Χρησιμοποιούνται παραδοσιακές μέθοδοι εκτίμησης στατικών υποδειγμάτων Panel Data. Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν ως ερμηνευτικές μεταβλητές επιλέχθηκαν βάσει βιβλιογραφίας και οικονομικής θεωρίας. Αυτοί είναι το Πραγματικό Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν, η τιμή του κάθε πόρου, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και η μέση θερμοκρασία. Τα δεδομένα της μελέτης αφορούν 23 χώρες της ΕΕ, της ΕΖΕΣ και ΕΠΓ για την περίοδο 1992-2019.

Αρχικά παρουσιάζονται τα δεδομένα και περιγράφεται η διαδικασία εξαγωγής του σετ δεδομένων, καθώς και η διαμόρφωσή του. Εν συνεχεία γίνονται έλεγχοι εξάρτησης μεταξύ των μονάδων και μοναδιαίας ρίζας. Έπειτα πραγματοποιείται εκτίμηση υποδειγμάτων για την κατανάλωση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου με τους εκτιμητές σταθερών επιδράσεων και πρώτων διαφορών, με χρήση τυπικών σφαλμάτων Driscoll-Kraay, ενώ παρατίθενται επιπλέον αποτελέσματα διαγνωστικών ελέγχων. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως το εισόδημα επιδρά θετικά στην κατανάλωση και των δύο πόρων, αλλά αυτά έχουν κατανάλωση ανελαστική ως προς το εισόδημα. Η αύξηση της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές και της θερμοκρασίας επιδρούν αρνητικά στην κατανάλωση των πόρων. Η επίδραση της τιμής στην κατανάλωση πετρελαίου είναι πολύ μικρή και μη σημαντική σύμφωνα με έναν εκτιμητή. Για το φυσικό αέριο, η τιμή έχει, θετικό αντίκτυπο, πράγμα που οφείλεται στην κοινή πορεία των τιμών των πόρων.



## Abstract

It is no false statement that energy is the foundation for the smooth functioning of a modern era society. The adequacy of consumable energy resources is an issue of such importance that the improvement of the efficiency of use of the existing resources is constantly raised as a critical issue by international organizations and associations. Consequently, understanding the factors which influence the consumption of these resources and assessing the extent of their impact is deemed particularly important.

The purpose of this research is to investigate the factors that affect the consumption of two fossil fuels: oil and natural gas. Traditional methods of estimating static Panel Data models are used. The factors used as explanatory variables were selected based on literature and economic theory. These are the Real Gross Domestic Product, the corresponding price of each resource, the production of energy from renewables and the average temperature. The annual data used in this study concern 23 EU, EFTA and ENP countries for the time period 1992-2019.

First, the data are presented and the process of extracting the data set, as well as its configuration, are described. Subsequently, cross-sectional dependence and unit root tests are carried out. Models for oil and natural gas consumption are then estimated with the Fixed-effects and First-differences estimators, using Driscoll-Kraay standard errors, and diagnostic test results are additionally presented. The results show that income has a positive impact on the consumption of both resources, though demand is income-inelastic. An increase in production from renewable sources and the temperature have a negative effect on the consumption of said resources. The effect of price on oil consumption is very small and insignificant according to one estimator. As for natural gas, the price has a positive impact, which is attributed to the common course of both resource prices.



# Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων	xv
Κατάλογος Διαγραμμάτων	xvi
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ</b>	<b>1</b>
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Ενέργεια και Μορφές	2
1.3 Πηγές Ενέργειας	4
1.4 Πετρέλαιο	7
1.5 Φυσικό Αέριο	13
1.6 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	19
1.7 Ανακεφαλαίωση	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ</b>	<b>31</b>
2.1 Εισαγωγή	31
2.2 Αντικείμενο και Εργαλεία της Μακροοικονομικής	32
2.3 ΑΕΠ και Δείκτες Οικονομικής Μεγέθυνσης	35
2.4 Πληθωρισμός και Δείκτες Επιπέδου Τιμών	42
2.5 Οικονομική Ανάπτυξη, Ενέργεια και ο Ρόλος της Πράσινης Ενέργειας	51
2.6 Ανακεφαλαίωση	54
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ PANEL</b>	<b>57</b>
3.1 Εισαγωγή	57
3.2 Δεδομένα Panel	58
3.3 Αλληλεξάρτηση Οικονομικών Μονάδων	61
3.4 Στασιμότητα και Έλεγχοι Μοναδιαίας Ρίζας	61
3.5 Τεχνικές Εκτίμησης Πάνελ	83
3.6 Διαγνωστικοί Έλεγχοι και Ανθεκτικά Σφάλματα	98
3.7 Ανακεφαλαίωση	104
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ</b>	<b>107</b>
4.1 Εισαγωγή	107
4.2 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας	108
4.3 Πηγές, Χειρισμός και Παρουσίαση Δεδομένων	110
4.4 Συσχέτιση Οικονομικών Μονάδων και Έλεγχοι Στασιμότητας	116
4.5 Υποδείγματα, Εκτιμήσεις και Διαγνωστικοί Έλεγχοι	126

4.6 Συμπεράσματα	139
4.7 Ανακεφαλαίωση	140
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>143</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Παράδειγμα Δεδομένων Panel.....	59
Πίνακας 4.1: Συμβολισμός Μεταβλητών .....	111
Πίνακας 4.2: Στοιχεία Περιγραφικής Στατιστικής.....	112
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα Ελέγχων Cross-Sectional Dependence .....	117
Πίνακας 4.4: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για κατανάλωση πετρελαίου .....	118
Πίνακας 4.5: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για κατανάλωση φυσικού αερίου .....	119
Πίνακας 4.6: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για πραγματικό ΑΕΠ .....	120
Πίνακας 4.7: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για τιμή πετρελαίου Brent ..	121
Πίνακας 4.8: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για τιμή φυσικού αερίου.....	122
Πίνακας 4.9: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.....	123
Πίνακας 4.10: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για μέση θερμοκρασία.....	124
Πίνακας 4.11: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Τύπου Fisher).....	124
Πίνακας 4.12: Αποτελέσματα ελέγχου Cross-Sectional IPS.....	125
Πίνακας 4.13 : Αποτελέσματα εκτίμησης υποδείγματος κατανάλωσης πετρελαίου με Fixed Effects.....	128
Πίνακας 4.14: Αποτελέσματα διαγνωστικών ελέγχων για την εκτίμηση υποδείγματος κατανάλωσης πετρελαίου με Fixed Effects.....	129
Πίνακας 4.15: Αποτελέσματα εκτίμησης υποδείγματος κατανάλωσης πετρελαίου με πρώτες διαφορές .....	131
Πίνακας 4.16: Διαγνωστικοί έλεγχοι υποδείγματος πρώτων διαφορών για την κατανάλωση πετρελαίου .....	132
Πίνακας 4.17: Αποτελέσματα εκτίμησης υποδείγματος κατανάλωσης φυσικού αερίου με Fixed Effects.....	134
Πίνακας 4.18: Αποτελέσματα διαγνωστικών ελέγχων εκτίμησης υποδείγματος κατανάλωσης φυσικού αερίου με Fixed Effects .....	135
Πίνακας 4.19: Αποτελέσματα εκτίμησης υποδείγματος κατανάλωσης φυσικού αερίου με πρώτες διαφορές.....	136
Πίνακας 4.20: Αποτελέσματα διαγνωστικών ελέγχων για εκτίμηση υποδείγματος κατανάλωσης φυσικού αερίου με πρώτες διαφορές.....	137

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1: Παγκόσμια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή.....	5
Διάγραμμα 1.2: Σημεία αναφοράς τιμής πετρελαίου.....	9
Διάγραμμα 1.3: Παγκόσμια τελική κατανάλωση πετρελαίου ανά κλάδο.....	11
Διάγραμμα 1.4: Αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου – 10 πρώτες χώρες.....	12
Διάγραμμα 1.5: Παγκόσμια τελική κατανάλωση φυσικού αερίου ανά κλάδο.....	17
Διάγραμμα 1.6: Αποδεδειγμένα αποθέματα φυσικού αερίου - 10 πρώτες χώρες.....	18
Διάγραμμα 1.7: Παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρισμού ανά ανανεώσιμη πηγή (GWh).....	25
Διάγραμμα 1.8: Παγκόσμια παραγωγή θερμότητας ανά ανανεώσιμη πηγή (TJ).....	25
Διάγραμμα 2.1: Ονομαστικό και Πραγματικό ΑΕΠ (Ελλάδα).....	38
Διάγραμμα 2.2: Πραγματικό ΑΕΠ και Ρυθμός Μεγέθυνσης (Ελλάδα).....	40
Διάγραμμα 2.3: Μεταβολή Ποσότητας Χρήματος και Πληθωρισμός.....	44
Διάγραμμα 2.4: Σύγκριση Δείκτη Τιμών Καταναλωτή και Αποπληθωριστή ΑΕΠ.....	48
Διάγραμμα 2.5: Σύγκριση Δείκτη Τιμών Καταναλωτή και PCE Price Index.....	51
Διάγραμμα 3.1: Τυχαίος Περίπατος και Στάσιμη Διαδικασία.....	67
Διάγραμμα 3.2: Τυχαίος Περίπατος με Εκτροπή και Στάσιμη Σειρά γύρω από Τάση.....	70
Διάγραμμα 3.3: Κορρελόγραμμα για Ελληνικό Πραγματικό ΑΕΠ.....	73
Διάγραμμα 4.1: Απεικόνιση δεδομένων κατανάλωσης πετρελαίου.....	113
Διάγραμμα 4.2: Απεικόνιση δεδομένων κατανάλωσης φυσικού αερίου.....	113
Διάγραμμα 4.3: Απεικόνιση δεδομένων για πραγματικό ΑΕΠ.....	114
Διάγραμμα 4.4: Απεικόνιση τιμής πετρελαίου Brent.....	114
Διάγραμμα 4.5: Απεικόνιση τιμής ευρωπαϊκού φυσικού αερίου.....	115
Διάγραμμα 4.6: Απεικόνιση δεδομένων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.....	115
Διάγραμμα 4.7: Απεικόνιση μέσης θερμοκρασίας.....	116
Διάγραμμα 4.8: Σφάλματα Fixed Effects για κατανάλωση πετρελαίου και εκτιμώμενες τιμές.....	130
Διάγραμμα 4.9: Σφάλματα υποδείγματος πρώτων διαφορών για κατανάλωση πετρελαίου και εκτιμώμενες τιμές.....	133
Διάγραμμα 4.10: Σφάλματα υποδείγματος Fixed Effects για κατανάλωση φυσικού αερίου και εκτιμώμενες τιμές.....	136
Διάγραμμα 4.11: Σφάλματα υποδείγματος πρώτων διαφορών για κατανάλωση φυσικού αερίου και εκτιμώμενες τιμές.....	138







# Κεφάλαιο 1

## Ενέργεια και Πηγές

### 1.1 Εισαγωγή

Αν και η λέξη «ενέργεια» εμφανίζεται για πρώτη φορά σε συγγράμματα του Αριστοτέλη χρονολογημένα τον 4<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ, είναι γενικά αποδεκτό ότι μέχρι και δύο αιώνες πριν, κανείς δεν γνώριζε την έννοιά της. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει πως δεν γίνονταν αισθητές οι εκδηλώσεις της. Από πολύ πριν αρχίσει να χρησιμοποιείται εκτεταμένα ο συγκεκριμένος όρος, ο ήλιος ακτινοβολούσε ποσότητες φωτός και θέρμαινε τη γη, δίνοντας τη δυνατότητα ανάπτυξης ζωντανών οργανισμών. Οι άνθρωποι άναβαν φωτιές για να ζεσταίνουν τις φυλές και τις οικογένειές τους και άλογα έσερναν αλέτρια για αγροτικές εργασίες. Κανείς πλέον δεν αμφισβητεί ότι η ίδια η ζωή είναι μια διαρκής διαδικασία μετατροπών ενέργειας (University of Leipzig; Rogner & Popescu, 2000).

Τα επιτεύγματα του ανθρώπινου πολιτισμού οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση διαφόρων μορφών ενέργειας από μέρους του, αξιοποιώντας την ευφυΐα του, για τη διεύρυνση των δυνατοτήτων του. Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί την ενέργεια εδώ και χιλιετίες. Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα όμως, η εκμετάλλευση της πετρελαιοπηγής του Springletop, μαζί με άλλα παρεμφερή συμβάντα, σήμανε την έναρξη μιας νέας εποχής και μαζί της, μιας άνευ προηγουμένου έκρηξης στην παραγωγή πλούτου. Άμεσο αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων είναι ο μέσος Αμερικανός ή Ευρωπαίος να ζει κάτω από καλύτερες συνθήκες από ότι ο πλουσιότερος άρχοντας παλαιότερων εποχών. Η συνεχής παροχή ενέργειας με μικρό κόστος συγκριτικά με την πρακτική αξία της, συμβάλει στη μείωση της φτώχειας και τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης παγκοσμίως. Αντιστοίχως, μέσω της οικονομικής ανάπτυξης, παρέχεται η δυνατότητα αντιμετώπισης διαφόρων προκλήσεων, όπως αυτές σχετικές με το περιβάλλον (Rogner & Popescu, 2000; Hall & Klitgaard, 2012).

Παρά το πολυάριθμα οφέλη της εκμετάλλευσης ενέργειας, δεν θα πρέπει να υποτιμάται το ρίσκο που ενέχει η μετατροπή της. Σε κάθε διαδικασία μετατροπής, υπάρχει κάποιο σημείο, στο οποίο παράγονται ανεπιθύμητα υποπροϊόντα και πραγματοποιούνται εκπομπές, το λιγότερο με τη μορφή θερμότητας, επιδρώντας αρνητικά στο περιβάλλον. Εκτός αυτού, τα αποθέματα πολλών πόρων με το σημερινό ρυθμό κατανάλωσής τους, απειλούνται με πλήρη ανάλωση στο κοντινό μέλλον. Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς αυτούς, φαίνεται πως η χρήση της ενέργειας θα πρέπει να γίνεται δίνοντας έμφαση σε δύο σημεία. Πρώτον, την κάλυψη βασικών αναγκών του ανθρώπου και την επίτευξη οικονομικής ανάπτυξης. Εξίσου σημαντικό σημείο όμως, είναι η χρήση της για το σκοπό αυτόν να γίνεται, χωρίς να διακινδυνεύεται η ποιότητα ζωής, τόσο στο σήμερα, όσο και στο αύριο (Rogner & Popescu, 2000).

Το κεφάλαιο αυτό έχει σκοπό την αναφορά βασικών εννοιών σχετικών με την ενέργεια την ανάλυση των πηγών που αποτελούν αντικείμενο της συγκεκριμένης έρευνας και της σημασίας τους για την κοινωνία και οικονομία. Ειδικότερα, στις επόμενες ενότητες δίνεται αρχικά μια σύντομη επεξήγηση εννοιών για την καλύτερη κατανόηση της ενέργειας και των μορφών της. Αμέσως μετά, πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή στην ιστορία της χρήσης των διαφόρων πηγών από τον άνθρωπο και δίνονται περεταίρω σημαντικές έννοιες, αναφορικά με κατηγοριοποίηση των πηγών και των αποθεμάτων τους. Εν συνεχεία εξηγούνται η προέλευση, η ανάκτηση, η επεξεργασία και μεταφορά του πετρελαίου, φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών, ενώ αναλύονται και οι τρόποι τιμολόγησης και οι διάφορες χρήσεις τους.

## 1.2 Ενέργεια και Μορφές

Η ενέργεια ορίζεται ως η ικανότητα παραγωγής έργου, έννοια που συστήθηκε στο πεδίο της φυσικής επιστήμης το 1800 μ.Χ. από τον Thomas Young. Η κίνηση, η θερμότητα, η ακτινοβολία, ο μαγνητισμός, οι χημικές ενώσεις, ο ηλεκτρισμός, ακόμα και οι δυνάμεις που συγκρατούν το άτομο, δύναται να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή έργου και άρα αποτελούν μορφές ενέργειας. Είναι εφικτή η μετατροπή καθεμίας από αυτές τις μορφές σε άλλες και σε αυτή την περίπτωση, η αρχική μορφή από την οποία μετατρέπεται ονομάζεται «πηγή ενέργειας». Μάλιστα, για να χρησιμοποιηθούν οι περισσότερες από τις πηγές, πρέπει να τιθασευτούν πρώτα από τον άνθρωπο, ή με άλλα λόγια, να πραγματοποιηθεί μετατροπή τους σε κάποια χρήσιμη μορφή (University of Leipzig; Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993).

Οι μετατροπές ανάμεσα σε μορφές ενέργειας διέπονται από δύο νόμους. Σύμφωνα με το νόμο της διατήρησης της ενέργειας, το ποσό ενέργειας που υπάρχει στο σύστημα πριν τη μετατροπή είναι ίσο με το ποσό μετά τη μετατροπή. Για παράδειγμα, δεδομένος όγκος νερού θα παράγει την ίδια ποσότητα ηλεκτρισμού σε ηλεκτροκινητήρα, με τους λοιπούς παράγοντες αμετάβλητους. Στην πράξη, το ποσό δεν είναι ακριβώς ίδιο, διότι ένα ποσό μετατρέπεται σε θερμότητα. Το ποσό στο σύστημα όμως θα είναι το ίδιο. Κατά συνέπεια, η ενέργεια δεν δύναται να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί, παρά μόνο να μετατραπεί από τη μία μορφή σε άλλη. Ο δεύτερος νόμος είναι αυτός της εντροπίας, σύμφωνα με τον οποίο, το ποσό «ωφέλιμης» ενέργειας - δηλαδή το διαθέσιμο για την παραγωγή ωφέλιμου έργου - είναι μικρότερο από την ανταλλαγή θερμότητας σε ένα σύστημα (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993).

Οι μορφές ενέργειας χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: Κινητική και δυναμική ενέργεια. Η πρώτη αναφέρεται στην ενέργεια που έχει ένα σώμα εν κινήσει, ενώ η τελευταία σε ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε ένα σώμα λόγω της θέσης ή της κατάστασής του. Στην κατηγορία της κινητικής ενέργειας ανήκουν οι εξής μορφές (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993; US Energy Information Administration (EIA), 2020):

- **Ενέργεια Ακτινοβολίας:** Είναι ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που ταξιδεύει σε εγκάρσια κύματα. Περιλαμβάνει το ορατό φως, τις ακτίνες Χ και Γάμμα, καθώς και τα ραδιοκύματα Η ακτινοβολία του ηλίου δηλαδή, απαραίτητη για τη ζωή στη γη, εμπίπτει σε αυτήν την κατηγορία.
- **Θερμική Ενέργεια (ή Θερμότητα):** Προέρχεται από την ακανόνιστη κίνηση των ατόμων και των μορίων σε κάποια ουσία. Σε συνθήκες υψηλότερης θερμοκρασίας, αυτή η κίνηση είναι ταχύτερη. Επειδή τα μόρια είναι πολύ μικρά σε μέγεθος, η κίνηση αυτή εντοπίζεται συμπτωματικά μέσω των αποτελεσμάτων της.
- **Ηλεκτρισμός:** Παράγεται από την κίνηση ηλεκτρονίων εντός κάποιου σώματος που επιτρέπει την κίνησή τους. Αυτού του τύπου η ενέργεια χρησιμοποιείται από αναρίθμητες συσκευές. Τα σωματίδια αυτά δημιουργούν πάντοτε ηλεκτρικό πεδίο και όταν κινούνται παράγουν μαγνητικό πεδίο. Τα μαγνητικά πεδία ασκούν επίσης δύναμη σε όμοια πεδία, αλλά και σε αρνητικά φορτισμένα κινούμενα. Άρα, μπορούν και αυτά να παράξουν έργο. Ένα ενδιαφέρον και πολύπλοκο φαινόμενο στη φύση είναι η εναλλάξ δημιουργία μαγνητικών πεδίων από ηλεκτρικά και το αντίστροφο.
- **Ήχος:** Είναι μορφή ενέργειας που παράγεται όταν κάποια δύναμη προκαλεί δόνηση σε κάποιο υλικό. Η δόνηση μεταδίδεται στον αέρα ή σε κάποιο μέσο ως κύμα. Γενικά η ενέργεια στον ήχο είναι λιγότερη από ότι σε άλλες μορφές.

Αντιστοίχως, η κατηγορία της δυναμικής ενέργειας περιέχει τις παρακάτω:

- **Χημική Ενέργεια:** Αποθηκεύεται στους δεσμούς ατόμων και μορίων. Παραδείγματα αποτελούν η βιομάζα και τα ορυκτά καύσιμα. Μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια με την καύση του ξύλου στο τζάκι ή της βενζίνης στον κινητήρα.
- **Πυρηνική:** Ενώ η χημική ενέργεια περιορίζεται τους δεσμούς μεταξύ των ατόμων, η πυρηνική υπάρχει στη δομή του ίδιου του ατόμου. Ο πυρήνας του ατόμου αποτελείται από νετρόνια και πρωτόνια. Τα πρώτα δεν έχουν φορτίο, ενώ τα δεύτερα είναι θετικά φορτισμένα και άρα τα πρωτόνια έχουν την τάση να απωθούνται μεταξύ τους. Έτσι, για να μην διασπαστούν, απαιτείται σημαντικό ποσό ενέργειας. Όταν λοιπόν οι πυρήνες διασπώνται ή συνδυάζονται, το ποσό που απελευθερώνεται είναι πολύ μεγάλο.
- **Βαρυτική:** Ονομάζεται έτσι η ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα αντικείμενο λόγω της βαρύτητας, ανάλογα τη μάζα του και το ύψος που αυτό βρίσκεται. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος του αντικείμενου και το ύψος στο οποίο βρίσκεται, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε αυτό. Μετατρέπεται σε κινητική με την πτώση.
- **Ελαστική:** Είναι η ενέργεια αποθηκευμένη σε ένα τεντωμένο ή συμπιεσμένο στερεό αντικείμενο. Παραδείγμα αποτελούν τα συμπιεσμένα ελατήρια.

Η **μηχανική ενέργεια** αναφέρεται στο άθροισμα της κινητικής και δυναμικής ενέργειας σε ένα σύστημα. Είναι δηλαδή, η ενέργεια που υπάρχει σε ένα σύστημα εξαιτίας της κίνησής του ή της θέσης του. Σαν παράδειγμα, ας υποθεθεί ένα βλήμα κανονιού, που βάλλεται κατακόρυφα. Η άνοδός του μικραίνει προοδευτικά, έως ότου παύεται κάθε κίνηση. Για την ανύψωση του αντικειμένου έχει παραχθεί έργο ενάντια στη βαρύτητα και έτσι έχει ένα ορισμένο ποσό ενέργειας λόγω της θέσης του (δυναμική). Η ενέργεια αυτή μετατρέπεται ξανά σε κινητική με την πτώση του βλήματος (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993).

Ακριβώς επειδή η ενέργεια εμφανίζεται με τόσες διαφορετικές μορφές, υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέτρησής της. Η μονάδα μέτρησης της ενέργειας σύμφωνα με το σύστημα SI, είναι ίδια με αυτή του έργου (αφού η ενέργεια ορίζεται μέσω του έργου), δηλαδή το Joule (J). Με την ίδια μονάδα μετράται και η ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμότητα μετράται σε θερμίδες (cal), δηλαδή το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να ανέβει η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού από τους 14.5° στους 15.5° C (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993). Το ίδιο ισχύει και για τη χημική ενέργεια, αφού η τελευταία εκδηλώνει την παρουσία της ως θερμότητα. Μία σημαντική μονάδα μέτρησης, είναι το ισοδύναμο τόνου πετρελαίου (toe), που ορίζεται ως το ποσό ενέργειας που απελευθερώνεται με την καύση ενός τόνου αργού πετρελαίου ( $\approx 42 \text{ GJ}$ ) (EIA, 2021). Όλες αυτές οι μονάδες μετρούν διάφορες μορφές του ίδιου πράγματος και άρα καθεμία μπορεί να μετατραπεί στην άλλη (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993).

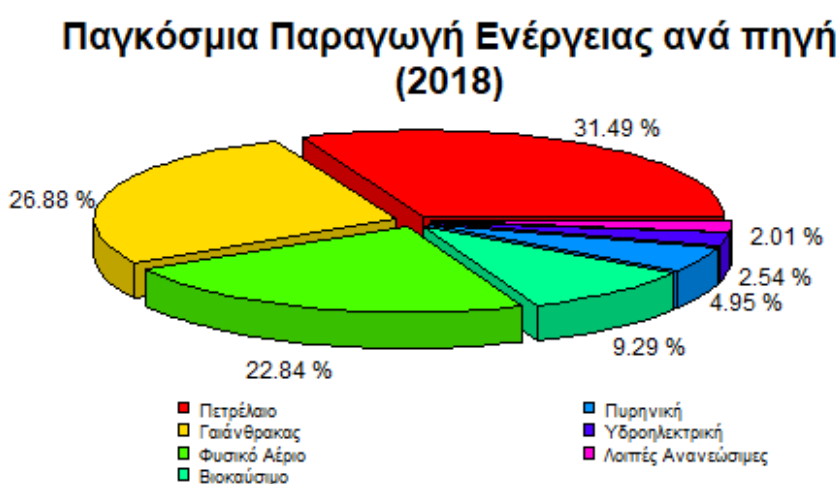
### 1.3 Πηγές Ενέργειας

Για πολλούς αιώνες, ο άνθρωπος βασίστηκε στο ίδιο του το σώμα για την παραγωγή έργου. Με την ανθρώπινη εργασία χτίστηκαν ολόκληροι πολιτισμοί και μεγάλα έργα, ενώ η μυϊκή δύναμη των κατοικίδιων ζώων συμπλήρωνε αυτή του ανθρώπου για την επιτέλεση γεωργικών εργασιών, για κυνήγι, μεταποίηση και μετακινήσεις. Μέχρι την αυγή της βιομηχανικής εποχής και της παραγωγής ηλεκτρισμού τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, χρησιμοποιούνταν ευρέως ο άνεμος και το νερό, καθώς και καύσιμα όπως το ξύλο, το ξυλοκάρβουνο και ο γαιάνθρακας, ακόμη σαν συμπλήρωμα της μυϊκής δύναμης. Η γέννηση όμως της βιομηχανικής κοινωνίας, σήμανε την ανάγκη για στροφή προς διαφορετικές πηγές ενέργειας. Τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, ο γαιάνθρακας αναδείχτηκε σε πρωταρχικό καύσιμο, θέση που πήρε τον επόμενο αιώνα και κατέχει έως σήμερα το πετρέλαιο, κυρίως λόγω των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Έγινε επιπλέον εφικτή η εκμετάλλευση της ενέργειας εντός του ατόμου, μέσω του ουρανίου και του θορίου, ενώ τις τελευταίες δεκαετίες ερευνάται η αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών όπως ο άνεμος, ο ήλιος και η ορμή του νερού (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993).

Οι πηγές ενέργειας χωρίζονται σε δύο ευρείες κατηγορίες: μη ανανεώσιμες και ανανεώσιμες. Οι πρώτες αποκαλούνται μη ανανεώσιμες, διότι τα αποθέματά τους

περιορίζονται στις ποσότητες που ανακτώνται από τη γη και δεν αναπληρώνονται με ρυθμό το ίδιο υψηλό με την κατανάλωσή τους. Περιλαμβάνουν ορυκτά καύσιμα μαζί με ορυκτά και μεταλλεύματα όπως το ουράνιο. Τα ορυκτά καύσιμα (αλλιώς καύσιμα από απολιθώματα) είναι παράγωγα από υπολείμματα φυτών και ζώων, που έχουν ταφεί βαθιά στη γη και βρέθηκαν εκτεθειμένα σε σημαντική πίεση και θερμοκρασία. Απαρτίζονται από το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και τον γαιάνθρακα. Εντός αυτών, βρίσκονται σημαντικά ποσά ενέργειας σε λανθάνουσα μορφή. Το ουράνιο είναι ραδιενεργό μεταλλικό στοιχείο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας σε πυρηνικούς αντιδραστήρες. Αντίθετα, ανανεώσιμες αποκαλούνται οι πηγές που αναπληρώνονται με φυσικό τρόπο, όπως είναι το φως του ηλίου, η ένταση του ανέμου και η βιομάζα. (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993; EIA, 2021).

Στο Διάγραμμα 1.1 απεικονίζεται το παραγόμενο ποσοστό ενέργειας ανά πηγή παγκοσμίως, για το έτος 2018, βάσει στοιχείων που παρέχονται από την International Energy Agency (εφεξής IEA). Μέσα από αυτό διαφαίνεται ότι ακόμη και σήμερα, τα ορυκτά καύσιμα παρέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας παγκοσμίως, αφού το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο γαιάνθρακας είναι υπεύθυνα για πάνω από το 81% της παγκόσμιας παραγωγής του έτους 2018 αθροιστικά. Η συνεισφορά των διαφόρων ανανεώσιμων πηγών ανέρχεται σε ποσοστό 13.84% αυτής.



**Διάγραμμα 1.1: Παγκόσμια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή**

Όμοια με λίστες και πίνακες για ήδη ζώων και φυτών προς εξαφάνιση, θα μπορούσε κάποιος να συντάξει πίνακα με τις απειλούμενες προς εξάντληση πηγές ενέργειας. Θα περιλάμβανε καύσιμα από απολιθώματα, που παρέχουν το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής της απαραίτητης ενέργειας στις βιομηχανοποιημένες χώρες. Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, με την τάση της κατανάλωσής τους, θα έχουν εξαντληθεί εντός του 21ου αιώνα. Αν και η πυρηνική και υδροηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούν ήδη εξελιγμένη τεχνολογία, αναμένεται ότι λοιπές πηγές, κυρίως ανανεώσιμες, θα καλύπτουν ολοένα και μεγαλύτερο μέρος των αναγκών του

πληθυσμού (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993). Η πολιτική μεγάλων χωρών, οργανισμών και ενώσεων τα τελευταία χρόνια, δείχνουν πως δίνεται όλο και μεγαλύτερη έμφαση για την γρηγορότερη κάλυψη αναγκών από ανανεώσιμη ενέργεια και η μετάβαση σε αυτή, επηρεάζει με τη σειρά της τη γεωπολιτική σκηνή. Φυσικά, μια τόσο σημαντική μετάβαση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με τρόπο κοινωνικά αποδεκτό (Global Commission on the Geopolitics of Energy Transformation, 2019).

Τα περιορισμένα αποθέματα, δεν είναι ο μοναδικός λόγος για τη μείωση της χρήσης κάποιων πηγών. Ο γαιάνθρακας και οι πηγές πυρηνικής ενέργειας είναι δύο ξεχωριστές περιπτώσεις, αφού οι αιτίες περιορισμού της χρήσης τους διαφέρουν. Τα αποθέματα γαιάνθρακα είναι αρκετά για να διαρκέσουν για πάνω από τρεις αιώνες. Όμως, η καύση του προκαλεί με σημαντική διαφορά τη μεγαλύτερη εκπομπή ρύπων εκ των ορυκτών καυσίμων και επιπλέον, δεν είναι πια φθηνότερος από το φυσικό αέριο και τις ανανεώσιμες (Rowlatt, 2019). Οι μεγαλύτεροι παραγωγοί γαιάνθρακα στην Αμερική, Peabody Energy και Arch Resources μειώνουν σημαντικά την παραγωγή τους, λόγω της μείωσης λειτουργίας και του κλεισίματος εργοστασίων, ενώ οι G7 σε συνέδριο αποφάσισαν την παύση της υποστήριξης της παραγωγής του πόρου, με σκοπό τη σταδιακή κατάργησή του (Harway, 2021). Η χρήση της πυρηνικής ενέργειας δεν γίνεται εκτεταμένα, διότι από αυτή προκύπτουν ραδιενεργά υποπροϊόντα, τα οποία είναι βλαβερά προς το περιβάλλον αλλά και τον άνθρωπο άμεσα για χιλιάδες χρόνια (EIA, 2020). Στον συγκεκριμένο κλάδο μελετάται σαν εναλλακτικό πυρηνικό καύσιμο το θόριο, ένα ελαφρώς ραδιενεργό μεταλλικό στοιχείο, που γίνεται διασπασίμο με την απορρόφηση νετρονίων, αλλά τα αποθέματά του εκτιμώνται ότι είναι μικρότερα από του ουρανίου. Εντός της δεύτερης δεκαετίας του 21ου αιώνα, αρκετές χώρες ανακοίνωσαν προτάσεις σχετικά με τη χρήση του θορίου (Fairclough & Tusildas, 2019).

Για την καλύτερη κατανόηση της εκτίμησης των αποθεμάτων των πόρων, θα πρέπει κανείς να είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται βασικές έννοιες για τα αποθέματα αυτά. Με τον όρο «αποδεδειγμένα αποθέματα», εννοείται η ποσότητα αερίου, η οποία σύμφωνα με αναλύσεις γεωλογικών και μηχανολογικών δεδομένων, είναι ανακτήσιμη στις παρούσες οικονομικές και λειτουργικές συνθήκες (Society of Petroleum Engineers, 1997). Από τον ορισμό αυτό, προκύπτει ότι η μεταβολή των παραγόντων που αναφέρθηκαν δύναται να οδηγήσει σε μεταβολή των αποδεδειγμένων αποθεμάτων. Στον κλάδο του πετρελαίου, τα αποδεδειγμένα αποθέματα αναφέρονται και ως «P1». Η πιθανότητα ανάκτησής τους, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 90%. Αντίστοιχα, στην κατηγορία των «πιθανών» κοιτασμάτων, κατατάσσονται εκείνα με πιθανότητα από 50% έως 90% και στα «δυνατά» αποθέματα, εκείνα με πιθανότητα κάτω από 50%. Το σύνολο των αποθεμάτων των δύο τελευταίων κατηγοριών, απαρτίζουν τα «μη αποδεδειγμένα» ή «μη πιστοποιημένα» αποθέματα (BP, 2021).



Στις ανεπτυγμένες κοινωνίες του σήμερα καταναλώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τέσσερεις κλάδοι τελικής χρήσης, στους οποίους η ενέργεια αποκτάται ή παράγεται για κατανάλωση και όχι για μεταπώληση. Αυτοί είναι ο οικιακός, ο εμπορικός, ο βιομηχανικός και ο κλάδος των μεταφορών. Οι συγκεκριμένοι τομείς καταναλώνουν σε μεγαλύτερο βαθμό πρωτογενή ενέργεια, ενώ επίσης αποκτούν και το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρισμού που παράγεται στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (EIA, 2021).

Στις τρεις επόμενες ενότητες αναλύονται εκτενέστερα οι πηγές, τις οποίες πραγματεύεται η παρούσα έρευνα, συγκεκριμένα του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και των διαφόρων ανανεώσιμων πηγών. Αναφέρονται η προέλευση, η διαδικασία αξιοποίησης, οι κλάδοι κατανάλωσής τους και ο γενικότερος ρόλος τους στην οικονομία. Ακόμη, γίνεται λόγος για τα υπολειπόμενα αποθέματά τους, την επίδραση που έχουν στο περιβάλλον και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι αντίστοιχοι κλάδοι της παραγωγής τους.

#### **1.4 Πετρέλαιο**

Είναι γεγονός πως η πραγματική προέλευση του πετρελαίου αποτελεί αντικείμενο διχασμού για την επιστημονική κοινότητα. Από την πληθώρα διαφορετικών θεωριών αναφορικά με τη δημιουργία του όμως, υπάρχουν δύο που, αν και διαμετρικά αντίθετες, έχουν τη μεγαλύτερη δημοτικότητα. Σύμφωνα με την πρώτη και επικρατούσα, πρόκειται για μείγμα υδρογονανθράκων που προέρχονται από νεκρά ζώα και φυτά, τα οποία έζησαν εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια πριν σε θαλάσσιο περιβάλλον. Τα υπολείμματά τους καλύφθηκαν από στρώσεις ιζημάτων και έπειτα από αιώνες αποσύνθεσης σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, οι χημικές τους ενώσεις διασπάστηκαν και εν τέλει σχημάτισαν αυτό που είναι σήμερα γνωστό ως πετρέλαιο. Για τον λόγο αυτό, κατατάσσεται στα ορυκτά καύσιμα (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993; Turgeon & Morse, 2018).

Αφ' ετέρου, μια δεύτερη θεωρία υποστηρίζει πως οι υδρογονάνθρακες προέρχονται από ανόργανες πηγές (θεωρία αβιογένεσης) και σχηματίζονται στα έγκατα της γης. Αυτή η θεωρία αναπτύχθηκε στο δεύτερο μισό του 20ου αιώνα από τον Σοβιετικό επιστήμονα N. Kudryavtsev, αλλά λόγω της λιγοστής επαφής της Σοβιετικής Ένωσης με τον υπόλοιπο κόσμο και της γλώσσας γραφής (αυστηρά ρωσική), η συγκεκριμένη θεωρία δεν είχε μεγάλη απήχηση αρχικά. Στις μέρες μας όμως, υπάρχουν αρκετοί υποστηρικτές της θεωρίας (Glasby, 2006).

Το αργό πετρέλαιο μαζί βρίσκεται μαζί με άλλους υδρογονάνθρακες και φυσικό αέριο σε υπόγεια κοιτάσματα κάτω από την επιφάνεια της γης ή στο βυθό, όπου βρίσκονταν βυθοί θαλασσών, σε πετρώδη κενά εντός ιζηματογενών πετρωμάτων. Η κίνηση του πετρελαίου και του αερίου εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους στην εκάστοτε περιοχή. Το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο οδηγούνται στα κενά αυτά υπό μεγάλη πίεση. Αυτό που τα

σταματάει είναι το ότι επικαλύπτονται από μη πορώδη πετρώματα, όπως είναι ο αργιλικός σχιστόλιθος. Το γεωλογικό περιβάλλον που επιτρέπει τη συγκέντρωση οικονομικά σημαντικών ποσοτήτων πετρελαίου και αερίου, ονομάζεται «παγίδα πετρελαίου». Τα ορυκτά αυτά μπορεί να παγιδευτούν σε ανοδική καμπή του εδάφους (αντίκλινο) ή ρήγμα, που επανατοποθετεί διαπερατό βράχο απέναντι σε αδιαπέραστο, αλλά και από ασυνέχειες στα είδη πετρωμάτων (στρωματογραφικές παγίδες). Σε λιγότερο συχνές περιπτώσεις, το πετρέλαιο φθάνει μέσω πορώδους εδάφους έως την επιφάνεια (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993; Turgeon & Morse, 2018).

Επιστήμονες και μηχανικοί διεξάγουν έρευνες για τον εντοπισμό γεωλογικών δομών με τα παραπάνω χαρακτηριστικά (ιζηματογενείς λεκάνες), χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της σεισμικής αντανάκλασης. Το αργό πετρέλαιο λαμβάνεται μέσω πετρελαιοπηγών (Turgeon & Morse, 2018). Οι πιέσεις που εκδηλώνονται υπογείως είναι συχνά αρκετές για να το ωθήσουν προς μία αποθηκευτική δεξαμενή. Το ίδιο ισχύει και για το φυσικό αέριο. Αν η πίεση είναι χαμηλή, το αργό πετρέλαιο συνήθως δύναται να αντληθεί (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993).

Κοιτάσματα πετρελαίου στη στεριά, ανακτώνται με χρήση γεωτρύπανου, ενώ δυσκολότερα υπεράκτια κοιτάσματα αντλούνται από πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου. Στις πλατφόρμες χρησιμοποιούνται όμοιες τεχνικές, αλλά οι ίδιες αποτελούν πελώριες κατασκευές για να προστατεύσουν τη διαδικασία απέναντι στα κύματα και άρα το κόστος είναι πολύ μεγαλύτερο. Αυτά τα μεγάλα κτίσματα αποτελούν ταυτοχρόνως και οικοσυστήματα για θαλάσσιους οργανισμούς (Turgeon & Morse, 2018)

Έπειτα από την ανάκτησή του, το πετρέλαιο είναι νοθευμένο με άλλα υλικά και άρα χρήζει εκτεταμένου εξευγενισμού σε διυλιστήρια, τα οποία βρίσκονται συχνά κοντά στις πηγές, όχι όμως και πάντοτε. Το αργό πετρέλαιο διυλίζεται πρώτα σε πύργους κλασματικής απόσταξης. Αυτοί περιέχουν δίσκους σε κλειστό χώρο, τοποθετημένους τον ένα πάνω στον άλλο. Το αργό πετρέλαιο τοποθετείται σε χαμηλούς δίσκους και εκτίθεται σε υψηλή θερμοκρασία. Η θερμοκρασία σε υψηλότερους δίσκους είναι προοδευτικά χαμηλότερη. Οι ατμοί ανεβαίνουν και τα υγρά συμπυκνώνονται για να τους γεμίσουν. Ξεκινώντας από υψηλότερους δίσκους, τα υγρά αποσύρονται κατά σειρά σε ξεχωριστούς αγωγούς: αέρια, βενζίνη, κηροζίνη, ελαφρύ αέριο, ορυκτέλαιο, βαρύ αέριο ορυκτέλαιο, λιπαντικά και ιζήματα. Τα βαρύτερα ορυκτέλαια δύναται να πυρολυθούν ξανά. Τα προκύπτοντα προϊόντα μεταφέρονται μέσω αγωγών, φορτηγών ή πλοίων για άμεση κατανάλωση ή για περαιτέρω επεξεργασία (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993).

Η κατηγοριοποίηση του πετρελαίου γίνεται βάσει τριών κριτηρίων: την τοποθεσία της γεώτρησης, την περιεκτικότητά του σε θείο ( $S_{16}$ ) και τη βαρύτητα API (μέτρο πυκνότητας). Πετρέλαιο με περιεκτικότητα σε θείο άνω του 0.5% αποκαλείται «πικρό», ενώ σε αντίθετη

περίπτωση «γλυκό». Το θείο θεωρείται ακαθαρσία στο πετρέλαιο. Διαβρώνει το μέταλλο κατά τη διαδικασία του εξευγενισμού και ρυπαίνει την ατμόσφαιρα. Έτσι, το πιο «γλυκό» πετρέλαιο, θεωρείται και υψηλότερης ποιότητας. Βάσει βαρύτητας API (API gravity), το πετρέλαιο διακρίνεται σε ελαφρύτερο εάν το μέτρο αυτό είναι μικρότερο από 10, ή σε βαρύτερο σε αντίθετη περίπτωση. Το ελαφρύτερο είναι προτιμότερο, διότι απαιτεί λιγότερη επεξεργασία. Η βαρύτητα API είναι ένα από τα πολλά μέτρα του Αμερικανικού Ινστιτούτου Πετρελαίου (API), μιας εμπορικής ένωσης βιομηχανιών πετρελαίου και φυσικού αερίου, η οποία έχει θέσει διάφορα μέτρα για τον προσδιορισμό της ποιότητας προϊόντων τους, αλλά και προϊόντων σχετικών με αυτά (Turgeon & Morse, 2018).

Με βάση τη γεωγραφία, τρεις είναι και οι κύριες πηγές πετρελαίου, οι οποίες θέτουν τα σημεία αναφοράς για κατάταξη αλλά και για τιμολόγηση προϊόντων πετρελαίου σε ευρύτερες περιοχές. Αυτές είναι το Brent, το West Texas Intermediate (WTI) και το Dubai. Το Brent είναι μείγμα, που προέρχεται από 15 διαφορετικές πετρελαιοπηγές στη Βόρεια Θάλασσα και τροφοδοτεί το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης. Το WTI είναι ελαφρύτερο, γλυκό πετρέλαιο, που παράγεται κυρίως στο Τέξας και τροφοδοτεί το μεγαλύτερο μέρος της Βόρειας Αμερικής. Το Dubai (αλλιώς Fateh ή Dubai & Oman) είναι ελαφρύ, «πικρό» πετρέλαιο, το οποίο αποτελεί σημείο αναφοράς για τιμές στον Περσικό κόλπο και εξάγεται κατά κύριο λόγο στην Ασία. Ακόμη ένα στοιχείο που αξίζει αναφοράς, είναι το Καλάθι Αναφοράς OPEC, δηλαδή τον μέσο όρο των τιμών των χωρών του Οργανισμού Εξαγωγών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών (Turgeon & Morse, 2018).



Πηγή: Kurt, 2020

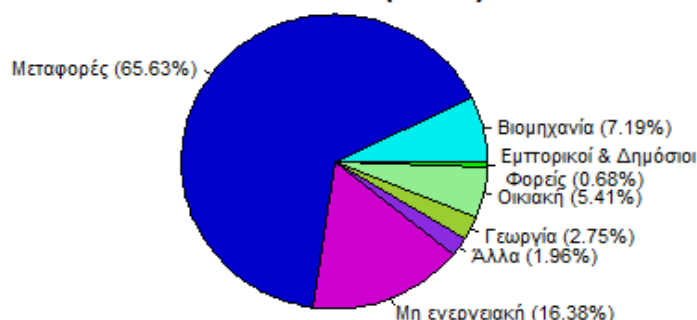
Διάγραμμα 1.2: Σημεία αναφοράς τιμής πετρελαίου

Στο Διάγραμμα 1.2, το οποίο παρέχεται σε άρθρο του Daniel Kurt (2020), απεικονίζεται χάρτης με τα σημεία αναφοράς και τις γεωγραφικές περιοχές που αυτά καλύπτουν, με έμφαση στα τρία βασικότερα σημεία που προαναφέρθηκαν (WTI, Brent & Dubai). Με χρυσό χρώμα φαίνεται η έκταση στην οποία κυριαρχεί κάθε ένα από αυτά. Το WTI, όπως ειπώθηκε πιο πάνω, είναι το σημείο αναφοράς που χρησιμοποιείται στην Αμερική, ενώ το Dubai καλύπτει την Ασιατική αγορά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το Brent, καθώς δείχνει να αποτελεί σημείο αναφοράς για συναλλαγές πετρελαίου για τα δύο τρίτα περίπου του κόσμου. Είναι το σημείο αναφοράς για τις Ευρωπαϊκές χώρες, αλλά φαίνεται να χρησιμοποιείται επιπλέον σε περιοχές πιο Ανατολικά και ακόμη και στην Αμερική.

Ο όρος «τιμή του πετρελαίου» γενικά αναφέρεται στην τιμή άμεσης παράδοσής (spot price) ενός βαρελιού πετρελαίου αναφοράς. Λόγω της πληθώρας διαφορετικών κατηγοριών πετρελαίου, η χρήση τιμών αναφοράς διευκολύνει σημαντικά τις αγοραπωλησίες. Φυσικά, υπάρχει διαφορά στην τιμή αναλόγως την κατηγορία. Ποσότητες πετρελαίου ανταλλάσσονται στο χρηματιστήριο, αλλά δεν αφορούν μόνο το παρόν. Ιδιαίτερης προσοχής χρήζει η αγοραπωλησία συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης (futures contract). Τέτοια συμβόλαια αναφέρονται σε ποσότητες για μελλοντική πώληση ή αγορά, σε συγκεκριμένη τιμή και ημερομηνία και είναι συχνή η χρήση τους ως μέθοδοι αντιστάθμισης κινδύνου απέναντι σε πιθανές μελλοντικές αυξήσεις της τιμής αλλά και κερδοσκοπίας. Τα συμβόλαια που αφορούν WTI πετρέλαιο ανταλλάσσονται στο New York Mercantile Exchange (NYMEX), ενώ αυτά που αφορούν Brent, στο Intercontinental Exchange (ICE) (Intercontinental Exchange, 2020; Kurt, 2020).

Το πετρέλαιο αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή ενέργειας για τον πολιτισμό του 21ου αιώνα, καθώς έχει πληθώρα χρήσεων, διευκολύνει τη ζωή των ανθρώπων σχεδόν σε όλους τους τομείς και η πετρέλαιο βιομηχανία παρέχει εκατομμύρια θέσεις εργασίας. Όμως, το αργό πετρέλαιο απαιτεί επεξεργασία για την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων του. Η βενζίνη αποτελεί το σημαντικότερο καύσιμο και κινεί τρένα, φορτηγά και επιβατικά αυτοκίνητα. Από ένα βαρέλι παράγονται περίπου 72 λίτρα βενζίνης. Η κηροζίνη και τα πιο εξευγενισμένα καύσιμα αεριοπροωθούμενων (Jet-A, Jet-A1) χρησιμοποιούνται ευρέως για καύση σε αεροπλάνα (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993; EIA, 2021). Το Διάγραμμα 1.3 απεικονίζει το ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης του πετρελαίου σε κάθε κλάδο, σύμφωνα με δεδομένα που προέρχονται από την IEA. Γίνεται αντιληπτό μέσα από το διάγραμμα, πως ο κλάδος των μεταφορών είναι υπεύθυνος για το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης πετρελαίου, κάτι που γίνεται εύκολα εμφανές στο Διάγραμμα, αφού ο συγκεκριμένος κλάδος είναι υπεύθυνος για το 65.63% της συνολικής κατανάλωσης.

### Τελική Κατανάλωση Πετρελαίου ανά κλάδο (2018)



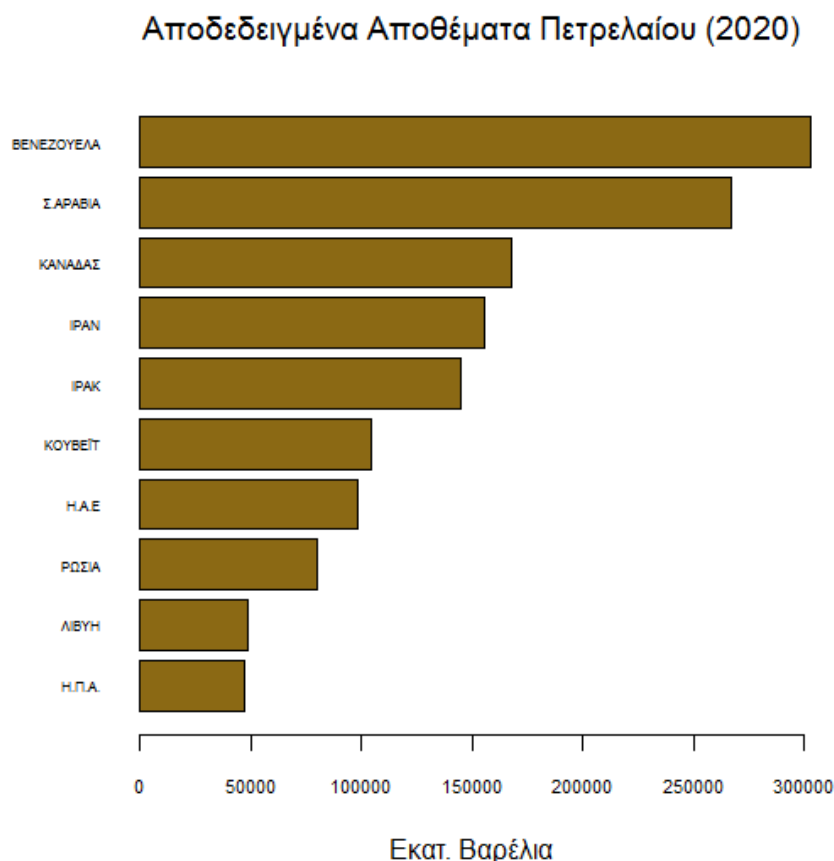
**Διάγραμμα 1.3: Παγκόσμια τελική κατανάλωση πετρελαίου ανά κλάδο**

Ένα προϊόν πετρελαίου που χρησιμοποιείται ευρέως είναι το απόσταγμα πετρελαίου εξωτερικής καύσης. Αυτό περιλαμβάνει το ντίζελ και το πετρέλαιο θέρμανσης. Το ντίζελ χρησιμοποιείται σε διάφορα οχήματα όπως φορτηγά, βάρκες, κάποια αυτοκίνητα, αλλά και σε γεννήτριες ηλεκτρισμού. Χρήση του πετρελαίου θέρμανσης γίνεται σε καυστήρες και μπόιλερ για θέρμανση είτε οικιακή είτε εμπορικών κτιρίων και επιπλέον για καύση σε εργοστάσια ή για παραγωγή ηλεκτρισμού σε σταθμούς παραγωγής (EIA, 2021).

Στον βιομηχανικό τομέα χρησιμοποιούνται πετροχημικά για την κατασκευή διαφόρων υλικών όπως πλαστικά, συνθετικό καουτσούκ, διάφορα υγρά όπως μπογιές και λιπαντικά, ακόμη και φάρμακα. Στον κλάδο της γεωργίας, γίνεται επίσης εντατική χρήση αμμωνίας και παρασιτοκτόνων, στην παραγωγή των οποίων συμμετέχει το πετρέλαιο. Οι τομείς της βιομηχανίας και της γεωργίας, το έτος 2018, οφείλονταν συνδυαστικά για το 9.94% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Η εξάρτηση της σημερινής κοινωνίας από το πετρέλαιο σημαίνει πως όταν η τιμή του ανεβαίνει, το οικονομικό αντίκτυπο γίνεται αισθητό σε ολόκληρο τον κόσμο (Petroleum.co.uk; Turgeon & Morse, 2018).

Πετρέλαιο υπάρχει σε όλες τις ηπείρους, αλλά σε κάποια μέρη υπάρχει σε αφθονία, ενώ αλλού, σε μικρότερες ποσότητες. Είναι φυσικό λοιπόν, κράτη που έχουν στην κατοχή τους τα μεγαλύτερα αποθέματα, να αποτελούν ισχυρές οικονομίες σε παγκόσμιο επίπεδο, αφού κατέχουν σε αφθονία έναν από τους σημαντικότερους πόρους. Είναι ευρέως γνωστό ότι τεράστιες ποσότητες υπάρχουν στη Μέση Ανατολή, που αποτελεί και το κέντρο της προσφοράς (Turgeon & Morse, 2018). Μάλιστα, εκτιμάται πως υπάρχει ποσότητα που αντιστοιχεί σε παραπάνω από 1.2 τρισεκατομμύρια βαρέλια αθροιστικά (μαζί με αποθέματα), ή με άλλα λόγια περίπου το 50% της προσφοράς στον πλανήτη. Η Σαουδική Αραβία βρίσκεται στη δεύτερη θέση σε παγκόσμια αποθέματα και σύμφωνα με δεδομένα από την EIA (2020), κατείχε 267 δισεκατομμύρια βαρέλια στις αρχές του 2020. Η Βενεζουέλα είναι πρώτη στην κατάταξη, έχοντας στην κατοχή της περίπου 303 δισεκατομμύρια βαρέλια το ίδιο έτος, ενώ ο

Καναδάς κατέχει τρίτη θέση με 168.896 δισεκατομμύρια βαρέλια. Βάσει αυτών των δεδομένων, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 1.4 οι δέκα χώρες με τα μεγαλύτερα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου στον κόσμο. Σε αυτό, γίνεται εμφανής η υπεροχή των περιοχών της Μέσης Ανατολής σε αποθέματα του συγκεκριμένου πόρου.



**Διάγραμμα 1.4: Αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου – 10 πρώτες χώρες**

Παρά το εντυπωσιακό εύρος χρήσεων των προϊόντων του, η καύση του πετρελαίου, αλλά και ο εντοπισμός, η παραγωγή, η μεταφορά του, επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Καταρχάς, η καύση του πετρελαίου απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), ένα αέριο του θερμοκηπίου, στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, συχνό φαινόμενο αποτελούν οι κηλίδες που προκαλούνται κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του πετρελαίου με καθένα από τα προαναφερθέντα μέσα, είτε στην ξηρά είτε (συχνότερα) σε θάλασσα. Οι πετρελαιοκηλίδες προκαλούν μόλυνση του νερού και του εδάφους, ενώ γίνονται συχνά και αιτίες εκρήξεων. Η γεώτρηση και η εγκατάσταση αγωγών, απαιτούν την εκκαθάριση της περιοχής. Οι εργασίες στην περιοχή αναστατώνουν την χλωρίδα και την πανίδα στις εκτάσεις όπου διεξάγονται, ενώ συχνά οδηγούν διάβρωση του εδάφους και μόλυνση του νερού (EIA, 2020).

Η βελτίωση της τεχνολογίας στον κλάδο, έχει επιφέρει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στις εργασίες αυτές και ταυτοχρόνως μείωση των συνεπειών προς το περιβάλλον. Οι

δορυφόροι, τα συστήματα GPS και τα σεισμικά συστήματα 3D και 4D καθιστούν την εύρεση κοιτασμάτων συντομότερη και λιγότερο επίπονη, ενώ μικρότερες κινητές εξέδρες γεώτρησης συρρικνώνουν την επηρεαζόμενη από τη γεώτρηση περιοχή. Επίσης, η χρήση των τεχνικών οριζόντιας και κατευθυνόμενης γεώτρησης επιτρέπει την πρόσβαση λιγότερων πηγών σε περισσότερα αποθέματα (EIA, 2020).

## 1.5 Φυσικό Αέριο

Όμοια με το πετρέλαιο (σύμφωνα με την επικρατέστερη θεωρία), το φυσικό αέριο είναι προϊόν διασπασμένης οργανικής ύλης, παλαιών, συνήθως θαλάσσιων μικροοργανισμών, συγκεντρωμένης και συμπιεσμένης κάτω από την επιφάνεια της γης για πολλά εκατομμύρια χρόνια. Έτσι, εντάσσεται και αυτό, στα ορυκτά καύσιμα. Όσο η οργανική ύλη διεισδύει βαθύτερα στον φλοιό της γης, εκτίθεται σε όλο και υψηλότερες θερμοκρασίες. Αυτή η θερμοκρασία, σε συνδυασμό με την συμπίεση, διασπά την ύλη σε μοριακό επίπεδο, δημιουργώντας υδρογονάνθρακες, οι ελαφρύτεροι των οποίων βρίσκονται σε κατάσταση αερίου και αποτελούν αυτό που ονομάζεται φυσικό αέριο. Ο ελαφρύτερος αυτών και κυριότερο συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο (Turgeon & Morse, 2012).

Έπειτα από τον σχηματισμό του, η κίνηση του αερίου εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους στην κάθε περιοχή και συγκεκριμένα από την διαπερατότητα και την πορότητα του βράχου στον οποίο βρίσκεται το κοιτάσμα. Η (συντριπτικά) μεγαλύτερη ποσότητα φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται, βρίσκεται σε έδαφος, πορώδες και διαπερατό, αλλά ταυτόχρονα και κάτω από λεπτότερη, μη διαπερατή στρώση πετρώματος. Φυσικό αέριο που βρίσκεται σε τοποθεσίες με αυτά τα χαρακτηριστικά, ονομάζεται «συμβατικό» και η εξόρυξή του είναι ευκολότερη και άρα πιο οικονομική. Είναι εύκολο να καταλάβει κανείς, γιατί κοιτάσματα συμβατικού αερίου βρίσκονται συχνά κοντά σε κοιτάσματα πετρελαίου. Κοιτάσματα κοντά στην επιφάνεια είναι πολύ μικρότερα από αντίστοιχα πετρελαίου, προχωρώντας όμως σε μεγαλύτερο βάθος, η αναλογία αυτή αλλάζει, μέχρι που στα μεγαλύτερα βάθη, τα κοιτάσματα δύναται να αποτελούνται καθαρά από φυσικό αέριο (Turgeon & Morse, 2012).

Φυσικό αέριο που εντοπίζεται σε έδαφος με διαφορετική γεωλογική μορφολογία, αποκαλείται «μη συμβατικό» και η εξόρυξή του είναι λιγότερο πρακτική και οικονομική. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα εξής:

- **Βαθύ Φυσικό Αέριο (Deep Natural Gas):** Θεωρείται κοιτάσμα που βρίσκεται στα 4.500 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης ή βαθύτερα. Για αυτόν τον λόγο, δεν είναι οικονομική η παραγωγή του αλλά η βελτίωση των τεχνικών εξόρυξης την κάνει ολοένα και πιο εφικτή (Turgeon & Morse, 2012).

- **Σχιστολιθικό Αέριο (Shale Gas):** Πρόκειται για λεπτόκοκκο ιζηματογενή λίθο, ο οποίος δεν αποσυντίθεται στο νερό. Σχηματισμοί σχιστόλιθου, δύναται να εγκλωβίσουν πετρέλαιο και αέριο ανάμεσά τους. Επειδή όμως το πέτρωμα αυτό δεν είναι εύκολα διαπερατό, η παραδοσιακή μέθοδος κάθετης γεώτρησης κρίνεται επίπονη και μη οικονομική. Για πρόσβαση σε τέτοια κοιτάσματα, χρησιμοποιείται η μέθοδος της υδραυλικής διάρρηξης (fracking). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, μέσω γεώτρησης, διοχετεύεται μεγάλη ποσότητα νερού, άμμου και διαφόρων χημικών μέσα στο πέτρωμα, έως ότου αυτό διαρραγεί, απελευθερώνοντας έτσι το αέριο που περιέχεται σε αυτό. Σημαντική και επίσης συχνά χρησιμοποιούμενη παραλλαγή της μεθόδου είναι η οριζόντια γεώτρηση. Με αυτή τη μέθοδο, γίνεται κάθετη γεώτρηση προς το έδαφος και εν συνεχεία παράλληλα με την επιφάνεια. Με τις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις, δύναται μία και μόνο γεώτρηση να διέρχεται από μεγάλα αποθέματα αερίου. Οι δύο αυτές παραπάνω μέθοδοι έχουν βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, σε σημείο που το φυσικό αέριο από σχιστόλιθο αποτελεί έναν από τους γρηγορότερα αναπτυσσόμενους κλάδους στην παραγωγή ενέργειας (Παπαβασιλείου, 2014).
- **Στεγανοποιημένο Αέριο (Tight Gas):** Αποκαλείται αέριο παγιδευμένο σε μη διαπερατά πετρώματα, σε μεγάλο βάθος. Η εξαγωγή αερίου από αυτά, απαιτεί τη χρήση ακριβών και δύσκολων μεθόδων όπως η υδραυλική διάρρηξη που προαναφέρθηκε και η οξύνιση (acidizing). Η τελευταία διαφέρει με την υδραυλική διάρρηξη, στο ότι εμβάλλεται κάποιο οξύ (συνήθως υδροχλωρικό) στο πέτρωμα (Turgeon & Morse, 2012).
- **Ανθρακογενές Μεθάνιο (Coalbed Methane):** Όπως δηλώνει και η ονομασία, το ανθρακογενές μεθάνιο βρίσκεται κάτω από υπόγεια στρώματα άνθρακα. Ενώ παλαιότερα, το εύφλεκτο και επικίνδυνο για τους ανθρακωρύχους αέριο διέφευγε στην ατμόσφαιρα σαν αποτέλεσμα εξορύξεων άνθρακα, πλέον υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης για χρήση και αποτελεί. Για την εξόρυξή του χρησιμοποιούνται όμοιες τεχνικές με αυτές που εφαρμόζονται για το σχιστολιθικό αέριο. Μεγάλα αποθέματα του συγκεκριμένου πόρου υπάρχουν στον Καναδά (Παπαβασιλείου, 2014).
- **Βιογενές Αέριο (Biogenic Gas ή απλούστερα Biogas):** Πρόκειται για αέριο που παράγεται με τη διαδικασία της αναερόβιας αποσύνθεσης, δηλαδή με την αποσύνθεση οργανικής ύλης, με απουσία οξυγόνου. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει τόπο σε χωματερές, και γενικότερα σε μέρη όπου αποσυντίθεται οργανική ύλη όπως κοπριά, και βιομηχανικά απόβλητα. Αν και ο όρος «βιογενές» ξεχωρίζει αυτού του είδους το αέριο από το εκείνο που παράγεται υπογείως κάτω από πετρώματα, εντούτοις οι ιδιότητές τους είναι παρόμοιες. Το βιογενές περιέχει λιγότερο μεθάνιο από ότι το φυσικό αέριο, αλλά με κατάλληλη επεξεργασία, μπορεί να αναφλεχθεί και να αποτελέσει έτσι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (Turgeon & Morse, 2012). Σε μελέτη των A.Cuellar και



E.Webber (2008), είχε εκτιμηθεί πως από κοπριά ζώων και μόνο, θα μπορούσε να καλυφθεί μέχρι και 1% των ενεργειακών αναγκών των Η.Π.Α.

- **Ένυδρο Μεθάνιο/Μεθανυδρίτες (Methane Hydrates):** Είναι είδος ένωσης στην οποία ποσότητα μεθανίου βρίσκεται παγιδευμένη μέσα σε κρυσταλλωμένο νερό, σχηματίζοντας έτσι ένα εύφλεκτο στερεό παρόμοιο με πάγο. Αποκαλείται για αυτό το λόγο και «εύφλεκτος πάγος». Ο σχηματισμός του απαιτεί χαμηλές θερμοκρασίες και μεγάλη πίεση. Επομένως, μεγάλα αποθέματα βρίσκονται στον πυθμένα του Ωκεανού και σε περιοχές με αρκτικό κλίμα. Σε περίπτωση μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών, το αέριο απελευθερώνεται και για αυτό η άνοδος της θερμοκρασίας στις μέρες μας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι αιτία απελευθέρωσης ένυδρου μεθανίου, επιδεινώνοντας το πρόβλημα. Επειδή πρόκειται για τόσο εύθραυστο γεωλογικό σχηματισμό, δίνεται μεγάλη σημασία στην ανάπτυξη των τεχνικών εξαγωγής του. Η αμερικανική υπηρεσία United States Geological Survey (USGS) εκτιμά πως κοιτάσματα μεθανυδρίτη είναι δυνατό να περιέχουν διπλάσια ποσότητα άνθρακα από όλη την ποσότητα γαιάνθρακα, πετρελαίου και συμβατικού φυσικού αερίου αθροιστικά (Lawrence Livermore National Laboratory, 1999). Η Ιαπωνία, το Μάιο του 2013, ανακοίνωσε πως έγινε η πρώτη χώρα που πετυχαίνει συνεχή παραγωγή μεθανυδρίτη, εκμεταλλευόμενη κοιτάσματα σε μικρή απόσταση από τις ακτές της (BBC, 2013).

Η συνήθης μέθοδος εξαγωγής φυσικού αερίου είναι με γεώτρηση, ενώ όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, χρησιμοποιούνται πιο σύνθετες τεχνικές για ορισμένους τύπους μη συμβατικού αερίου. Όταν πλέον επιτευχθεί πρόσβαση στο αέριο, μεταφέρεται μέσω αγωγών (Turgeon & Morse, 2012). Ο αγωγός Δύσης-Ανατολής εκτείνεται σε απόσταση 8707 χιλιομέτρων και αποτελεί τον μακρύτερο αγωγό παγκοσμίως (Mentor IMC Group, 2019).

Εναλλακτική μέθοδος μεταφοράς φυσικού αερίου, είναι η μετατροπή του σε υγρή μορφή μέσω συμπίεσης και ψύξης. Το σημείο τήξης του φυσικού αερίου είναι στους  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  και το υγρό που προκύπτει αποκαλείται «Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο» ή απλούστερα LNG. Σε αυτή τη μορφή, καταλαμβάνεται το 1/600 του όγκου συγκριτικά με την αντίστοιχη αέρια μορφή. Έτσι, καθίσταται εφικτή η μεταφορά του με διαφορετικά μέσα και άρα προς τοποθεσίες όπου δεν διατίθενται αγωγοί. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται ειδικά κατασκευασμένα τάνκερ (LNG Carriers) για θαλάσσιες μεταφορές, ενώ γίνεται χρήση και φορτηγών για κοντινότερες αποστάσεις στη στεριά. Φυσικά, για την διατήρηση του υγροποιημένου αερίου σε αυτήν την κατάσταση, απαιτείται κατάλληλος εξοπλισμός, ο οποίος μαζί με την ενέργεια για την λειτουργία του συνεπάγεται πρόσθετο κόστος. Έπειτα από την άφιξη στον προορισμό του, το LNG επαναφέρεται ξανά στην αέρια κατάστασή του, για παροχή στους καταναλωτές μέσω αγωγών (EIA, 2020).

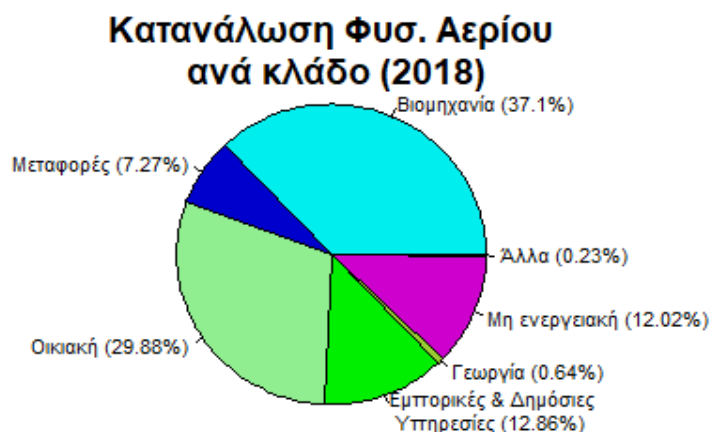
Επιπροσθέτως, μεγάλη ποσότητα αερίου αποθηκεύεται για περιόδους που η ζήτηση κορυφώνεται, έτσι ώστε να εξασφαλίζονται τα αποθέματα για την κάλυψή της. Σύμφωνα με ανάλυση της ΕΙΑ, η κατανάλωση - και άρα η ζήτηση - απογειώνεται καλοκαίρι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τον χειμώνα για λοιπές χρήσεις. Σαν υπόγειοι χώροι αποθήκευσης χρησιμοποιούνται κυρίως εξαντλημένες πηγές αερίου ή πετρελαίου κοντά στην περιοχή όπου παρέχονται, ενώ επιπλέον χρησιμοποιούνται υδροφορείς και σε μεγάλο βαθμό, σπήλαια άλατος. Σε μικρότερες ποσότητες, φυσικό αέριο αποθηκεύεται και σε δεξαμενές πάνω ή και κάτω από την επιφάνεια. Επειδή υπάρχει κίνδυνος για εκρήξεις από πιθανές διαρροές, προστίθεται σε αυτό έντονη μια οσμή για ευκολότερη ανίχνευσή τους, ενώ ακολουθούνται αυστηροί κανονισμοί τόσο για τη φύλαξη όσο και για τη μεταφορά του (ΕΙΑ, 2021).

Για την καλύτερη κατανόηση της τιμολόγησης του φυσικού αερίου, κρίνεται απαραίτητη η κατανόηση της έννοιας του κόμβου φυσικού αερίου (hub). Κόμβος ονομάζεται το σημείο στο οποίο συναντώνται τουλάχιστο δύο αγωγοί. Ο σημαντικότερος κόμβος στην Αμερική είναι ο Henry Hub, στον Κόλπο των ΗΠΑ. Εκεί προσδιορίζεται η τιμή του φυσικού αερίου και επιπλέον, από το 1989, ο κόμβος αυτός λειτουργεί και σαν σημείο παράδοσης των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης (futures) φυσικού αερίου που ανταλλάσσονται στο NYMEX. Η διαφορά της τιμής του φυσικού αερίου μιας περιοχής από την τιμή του Henry Hub ονομάζεται διαφορά βάσης. Αυτή αντικατοπτρίζει τα συσχετιζόμενα με τη μεταφορά έξοδα και τις γενικότερες συνθήκες της περιφερειακής αγοράς (Davoust, 2008; ΕΙΑ, 2020).

Αντίστοιχα στην Ευρώπη, οι βασικότερες τιμές αναφοράς τίθενται από τους δύο μεγαλύτερους σε ρευστότητα κόμβους, Title Transfer Facility (TTF) στην Ολλανδία και National Balance Point (NBP) στο Ηνωμένο Βασίλειο. Βασική διαφορά τους με τον Henry Hub αποτελεί το γεγονός ότι τα συγκεκριμένα είναι εικονικά σημεία διαπραγμάτευσης και επομένως δεν αντιστοιχούν σε υλική τοποθεσία. Το TTF επιτρέπει το εμπόριο αερίου μέσω του Ολλανδικού δικτύου, ενώ το NBP αποτελεί σημείο παράδοσης αλλά και τιμολόγησης για τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης Futures Europe της ICE. Ακόμα, ο κόμβος Zeebrugge στο Βέλγιο είναι πραγματικό σημείο διαπραγμάτευσης φυσικού αερίου και συνδέεται με τον NBP μέσω του αγωγού Interconnector. Ενώ στην Ευρώπη και την Αμερική το αέριο αγοράζεται μέσω αγωγών, στη Βορειοανατολική Ασία όπου υπάρχει συγκριτική έλλειψη τέτοιων υποδομών, γίνεται εισαγωγή του αερίου κυρίως σε μορφή LNG. Ως αποτέλεσμα, η σημαντικότερη τιμή αναφοράς της περιοχής JKM LNG, αφορά υγροποιημένο αέριο (Davoust, 2008; Heather, 2020).

Το φυσικό αέριο έχει μεγάλο εύρος χρήσεων. Μία από τις κυριότερες χρήσεις του, είναι στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συχνά σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές. Ο ηλεκτρισμός που παράγεται, πωλείται και τελικά καταναλώνεται στους λοιπούς τομείς, οπότε συμπεριλαμβάνεται στη συνολική κατανάλωσή τους. Ο τομέας της βιομηχανίας χρησιμοποιεί

εντατικά το φυσικό αέριο, είτε ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χημικών, λιπάσματος και υδρογόνου, είτε ως καύσιμο για παραγωγή θερμότητας, σε εργοστάσια που συνδυάζουν θερμότητα και ενέργεια για τον σκοπό αυτό (CHP Plant). Επίσης, σημαντικός είναι ο ρόλος του αερίου και στις οικίες, αφού χρησιμοποιείται για μαγείρεμα, για στέγνωμα ρούχων, καθώς και για θέρμανση του χώρου και του νερού (EIA, 2021).



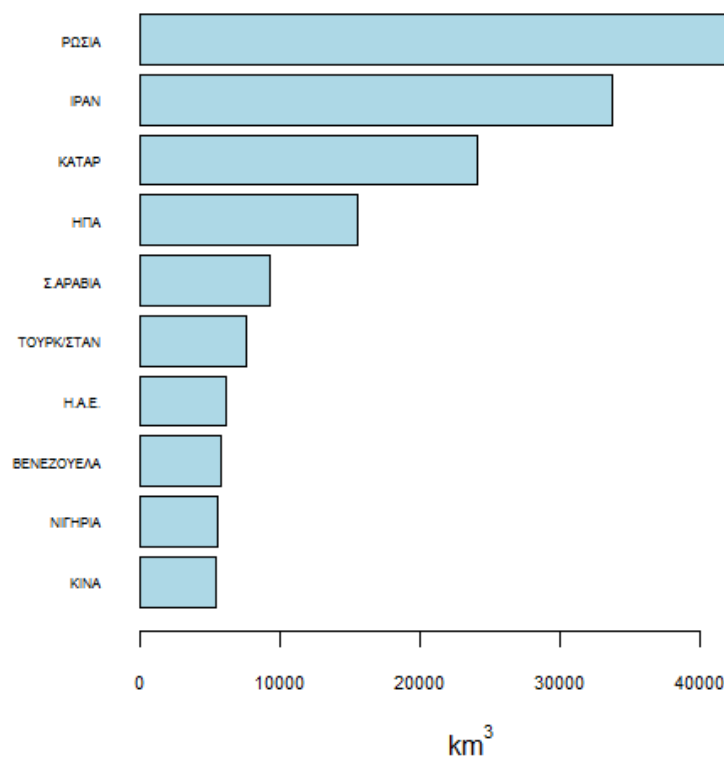
**Διάγραμμα 1.5: Παγκόσμια τελική κατανάλωση φυσικού αερίου ανά κλάδο**

Ακόμη ένας τομέας στον οποίο παίζει καθοριστικό ρόλο το φυσικό αέριο, είναι αυτός των μεταφορών. Χρησιμοποιείται σαν καύσιμο σε εύρος οχημάτων, είτε συμπιεσμένο είτε σε υγρή κατάσταση, αλλά και για τη λειτουργία συμπιεστών που μεταφέρουν το αέριο μέσα από αγωγούς. Το 2018, η κατανάλωση αερίου στον μεταφορικό τομέα αντιπροσώπευε πάνω από το 7% της συνολικής. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται σαν καύσιμο και στον εμπορικό τομέα, κυρίως για τη θέρμανση των χώρων, για φωτισμό, για λειτουργία του ψυκτικού εξοπλισμού και μαγειρική, αφού πρόκειται συχνά για φθηνότερη εναλλακτική λύση από το πετρέλαιο (Turgeon & Morse, 2012). Το Διάγραμμα 1.5 παρουσιάζει τις συχνότερες χρήσεις του φυσικού αερίου παγκοσμίως, με βάση δεδομένα της IEA. Μέσα από αυτό διαπιστώνεται η ευελιξία στη χρήση του, καθώς είναι αρκετοί οι τομείς που έχουν σημαντικά ποσοστά κατανάλωσης, σε αντίθεση με το πετρέλαιο, του οποίου η χρήση είναι εντατικότερη στον τομέα μεταφορών. Οι τομείς με τα μεγαλύτερα ποσοστά κατανάλωσης αερίου είναι αυτοί της Βιομηχανίας και των νοικοκυριών με 37.1% και 29.88% αντιστοίχως.

Τα μεγαλύτερα αποθέματα φυσικού αερίου βρίσκονται σε περιοχές της Μέσης Ανατολής. Ωστόσο, η χώρα με τα μεγαλύτερα (και μάλιστα με σημαντική διαφορά) αποδεδειγμένα αποθέματα του συγκεκριμένου ορυκτού καυσίμου είναι η Ρωσία, που σύμφωνα με αναφορά της EIA το 2018, έχει περίπου τρεις φορές μεγαλύτερα αποθέματα από αυτά των Ηνωμένων Πολιτειών. Στο Διάγραμμα 1.6 φαίνονται οι δέκα χώρες με τα μεγαλύτερα αποδεδειγμένα αποθέματα παγκοσμίως το 2018, σύμφωνα με τη συγκεκριμένη έκθεση της EIA (International

Energy Statistics). Με μια ματιά στα ονόματα των χωρών στον κάθετο άξονα, γίνεται σαφής η δυνατότητα της Μέσης Ανατολής για παραγωγή μεγάλης ποσότητας φυσικού αερίου.

### Αποδεδειγμένα Αποθέματα Φυσ. Αερίου (2018)



**Διάγραμμα 1.6: Αποδεδειγμένα αποθέματα φυσικού αερίου - 10 πρώτες χώρες**

Το φυσικό αέριο θεωρείται αρκετά καθαρή και αποτελεσματική πηγή ενέργειας όσον αφορά την καύση της. Αυτό βέβαια, δεν σημαίνει ότι η χρήση του δεν ενέχει και κάποιο ρίσκο. Η καύση του αερίου προκαλεί την απελευθέρωση σχεδόν όλων των ρύπων σε μικρότερη ποσότητα συγκριτικά με το πετρέλαιο και τον γαιάνθρακα, για την παραγωγή ίσης ενέργειας. Μάλιστα, η καύση φυσικού αερίου εκλύει λιγότερο 30% διοξείδιο του άνθρακα από ότι η αντίστοιχη του πετρελαίου και 45% από εκείνη του γαιάνθρακα, για αυτό και έχει αυξηθεί η χρήση του στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ως καύσιμο για μεταφορές. Κύριο πρόβλημα αποτελεί και η έκλυση μεθανίου, σημαντικότερου συστατικού του φυσικού αερίου και αέριο θερμοκηπίου. Διαρροή μεθανίου συμβαίνει σε πηγές αερίου και πετρελαίου, δεξαμενές αποθήκευσης, σε αγωγούς κατά τη μεταφορά ή ακόμα και από τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας (Turgeon & Morse, 2012; EIA, 2020).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκμετάλλευσης του φυσικού αερίου, δεν περιορίζονται μόνο στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι γεωτρήσεις και η εγκατάσταση αγωγών έχουν τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η εκμετάλλευση υποβρυχίων πηγών μη

συμβατικού αερίου είναι επίσης επικίνδυνη. Τα χημικά που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της υδραυλικής διάσπασης είναι δυνατό να προκαλέσουν κηλίδες στη θάλασσα, να διαταράξουν υδρόβια οικοσυστήματα ή ακόμα και να δηλητηριάσουν πηγές νερού για πόση και γεωργική χρήση με ραδιενεργές ουσίες (EIA, 2020).

## **1.6 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**

Σε προηγούμενη ενότητα έγινε λόγος για τα αποθέματα των πηγών ενέργειας. Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα παγκοσμίως στον τομέα της ενέργειας, είναι η βιωσιμότητα των πηγών, καθώς είναι σημαντικό και να καλύπτονται ανάγκες και επιπλέον να λαμβάνεται υπόψη, το πώς αυτές δύναται να αξιοποιηθούν σε μακροχρόνιο ορίζοντα.. Όπως έχει ήδη τονιστεί, οι ανανεώσιμες πηγές είναι πρακτικά ανεξάντλητες, ενώ η ενέργεια που παράγεται από αυτές ανά μονάδα χρόνου είναι περιορισμένη. Εξαιρετικά σημαντικό πλεονέκτημα των ανανεώσιμων πηγών, είναι η παροχή καθαρής ενέργειας. Δηλαδή, κατά τη χρήση τους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου είναι ελάχιστες (EIA, 2021).

Οι διαφορετικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναλύονται εκτενώς παρακάτω:

### ***Υδροηλεκτρική Ενέργεια***

Πρόκειται για ηλεκτρική (κυρίως) ενέργεια, η οποία παράγεται ως αποτέλεσμα της εκμετάλλευσης μηχανικής ενέργειας προκαλούμενης από την ορμή του νερού. Σύμφωνα με την IEA, έως και το 2018, ήταν η ανανεώσιμη πηγή με τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Φυσικά η εκμετάλλευση του νερού για παραγωγή ενέργειας δεν είναι πρόσφατη ιδέα. Χιλιάδες χρόνια πριν την ανακάλυψη της ατμομηχανής, οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν την κινητική ενέργεια παραγόμενη από την κίνηση του νερού μέσω του νερόμυλου, με σκοπό τη διεκπεραίωση εργασιών όπως το πριόνισμα και το άλεσμα (Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», 1993).

Ακριβώς επειδή η πηγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι το νερό, οι αντίστοιχοι σταθμοί παραγωγής βρίσκονται κοντά ή πάνω σε πηγές νερού. Η παραγωγή καθορίζεται από την ποσότητα του κινούμενου νερού και τη διαφορά στη στάθμη από το ένα σημείο στο άλλο. Γενικότερα, όσο μεγαλύτερη η ροή του νερού και η διαφορά στη στάθμη, τόσο μεγαλύτερη ηλεκτρική ενέργεια δύναται να παραχθεί από τον σταθμό. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και ο υετός, οπότε υπάρχει διαφορά στην παραγωγή τόσο ανάμεσα σε εποχές του έτους, όσο και ανάμεσα στα ίδια τα έτη (EIA, 2021).

Οι πιο συνηθισμένες εγκαταστάσεις για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι τα Συστήματα Φυσικής Ροής και τα Συστήματα Αποθήκευσης. Στα πρώτα, η ορμή του ρεύματος ασκεί πίεση σε στρόβιλο, ενώ στα Συστήματα Αποθήκευσης, το νερό παρέχεται στους στρόβιλους από ταμιευτήρες, δημιουργημένους από φράγματα. Ένας πιο ιδιαίτερος τύπος εγκατάστασης είναι οι εγκαταστάσεις Αντλησιοταμίευσης (Pump-Storage). Σε αυτές, αντλείται νερό από πηγή σε ταμιευτήρα, που βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος και έπειτα το νερό παρέχεται σε τουρμπίνες σε χαμηλότερο πάλι ύψος. Η απαραίτητη ενέργεια για τη διαδικασία της άντλησης παρέχεται από άλλου είδους πηγές, όπως ορυκτά καύσιμα ή πυρηνική ενέργεια. Συνήθως, αυτή η μέθοδος ξοδεύει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια για τη διαδικασία, από ό,τι παράγει με το νερό, άρα οι εγκαταστάσεις έχουν αρνητική καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα ισοζύγια. Οι εγκαταστάσεις Αντλησιοταμίευσης της Terna Energy στην Αμφιλοχία εντάχθηκαν στα Έργα Κοινού Ενδιαφέροντος από την Ευρωπαϊκή Ένωση το 2013, διότι θεωρείται έργο υψίστης σημασίας.

Εκτός από ποτάμια και ρέματα, έχει αναπτυχθεί κατάλληλη τεχνολογία για εκμετάλλευση της θάλασσας στην παραγωγή ενέργειας. Οι άνθρωποι στην Ευρώπη χρησιμοποίησαν την παλίρροια πάνω από μία χιλιετία νωρίτερα, για την περιστροφή μύλων. Πλέον κατασκευάζονται κατάλληλα φράγματα, σε ορισμένες περιοχές, δίπλα σε λιμνοθάλασσες και κόλπους, σχηματίζοντας παλιρροιακές λεκάνες. Εντός αυτών, υδατοφράκτες ελέγχουν τη στάθμη και τη ροή του νερού, ώστε να γεμίζει η λεκάνη με την πλημμυρίδα και να αδειάζει με την αμπώτη, παράγοντας ηλεκτρισμό μέσω συστήματος στρόβιλων. Συστήματα Παλιρροιακής ενέργειας διπλής κατεύθυνσης, δύναται να παράγουν ηλεκτρισμό και στις δύο φάσεις της παλίρροιας. Οι τουρμπίνες (ή στρόβιλοι) παλίρροιας είναι ένα διαφορετικό κατασκευάσμα για τον ίδιο σκοπό. Αυτές εγκαθίστανται στον πυθμένα της θάλασσας όπου υπάρχει ισχυρή παλιρροιακή ροή, η οποία χρησιμοποιείται για την περιστροφή πτερυγίων που με τροφοδοτούν κάποιο κινητήρα (EIA, 2020).

Πρόσθετα, υπάρχει δυνατότητα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση των κυμάτων. Κύματα σχηματίζονται στην επιφάνεια της θάλασσας και στις λίμνες με το φύσημα του αέρα. Περιέχουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας και χάρη σε αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, όπως συσκευές για τοποθέτηση στον βυθό ή κοντά στην επιφάνεια, ενώ άλλες τεχνολογίες στον τομέα βρίσκονται επίσης υπό ανάπτυξη. Άλλοι τρόποι για την αξιοποίηση των κυμάτων, είναι η συγκέντρωσή τους σε στενότερη δίοδο για την αύξηση του μεγέθους και της δύναμής τους να περιστρέψουν στρόβιλους, καθώς και η διοχέτευσή τους σε λεκάνη ή ταμιευτήρα, όπου το νερό ρέει σε στρόβιλο τοποθετημένο χαμηλότερα. Η τελευταία χρήση είναι παραπλήσια με αυτή του φράγματος. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί και η Μετατροπή Ωκεάνιας θερμικής Ενέργειας (OTEC). Πρόκειται για μέθοδο παραγωγής ενέργειας με αξιοποίηση της θερμοκρασιακής διαφοράς του βαθύτερου ψυχρού νερού του ωκεανού με την

αντίστοιχη των θερμότερων νερών στην επιφάνεια. Αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά – τουλάχιστον 77° Fahrenheit (25° Κελσίου) - χρησιμοποιείται για αφαλάτωση και για την παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω τροφοδότησης τουρμπίνας. Το θερμότερο επιφανειακό νερό αντλείται μέσα από εξατμιστή που περιέχει ειδικό υγρό. Το εξατμισμένο πλέον υγρό τροφοδοτεί την τουρπίνα-γεννήτρια και εν συνεχεία υγροποιείται ξανά μέσα από συμπυκνωτή, ψυχόμενο με νερό από μεγαλύτερο βάθος (EIA, 2020).

### ***Αιολική Ενέργεια***

Άνεμος προκαλείται από την άνιση θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο. Κατά τη διάρκεια της μέρας, ο αέρας πάνω από το έδαφος θερμαίνεται ταχύτερα από τον αέρα που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Για αυτό, ο θερμότερος αέρας πάνω από την στεριά διαστέλλεται και ανυψώνεται και ο πιο βαρύς, ψυχρός αέρας παίρνει τη θέση του, προκαλώντας άνεμο. Η εκμετάλλευση του ανέμου για παραγωγή έργου δεν είναι κάτι το πρωτόγνωρο για τον άνθρωπο. Ακόμα και επτά χιλιετίες πριν, ο αέρας κινούσε βάρκες στους ποταμούς και τις θάλασσες, ενώ από το 200 π.Χ. περίπου, ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνται για εργασίες όπως το άλεσμα σιτηρών και την άντληση νερού, μετατρέποντας την αιολική ενέργεια σε μηχανική (EIA, 2020).

Στη σύγχρονη εποχή, ο άνεμος αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της ανεμογεννήτριας. Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν πτερύγια για τη μετατροπή του ανέμου από κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Οι λεπίδες βρίσκονται πάνω σε στήλη κάθετη στο έδαφος και είναι συνδεδεμένες στον κινητήριο άξονα, που περιστρέφει γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η ενέργεια αυτή, είναι εφικτό να μένει και στο δίκτυο. Οι τύποι ανεμογεννήτριας είναι δύο: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και κάθετου άξονα. Εκείνες που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία είναι παραπλήσιες με τους έλικες αεροπλάνων και κατά κανόνα έχουν τρία πτερύγια. Αντί για πτερύγια, οι κάθετου άξονα έχουν δύο κάθετες λεπίδες συνδεδεμένες στην κορυφή και στο κάτω μέρος κάθετου στροφείου (EIA, 2020).

Ο τομέας της αιολικής ενέργειας έχει αναπτυχθεί σημαντικά την τελευταία τριακονταετία. Σύμφωνα με την EIA, το 1990, 16 χώρες παρήγαγαν 3.6 εκατομμύρια kWh, ενώ το 2019, 127 χώρες παρήγαγαν 1419 kWh (EIA, 2020).

### ***Ηλιακή Ενέργεια***

Ο Ήλιος αποτελεί την απόλυτη πηγή για όλες τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται. Με την πάροδο του χρόνου και την παράλληλη εξέλιξη της τεχνολογίας στον

τομέα της ενέργειας, αναπτύχθηκαν τρόποι συλλογής της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση και τη μετατροπή της σε ηλεκτρική. Υπάρχει πληθώρα συσκευών για συλλογή της ηλιακής ενέργειας και χρήση της για θέρμανση χώρων ή για την αύξηση της θερμοκρασίας υγρών σε σταθμούς παραγωγής ηλιακής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή, επιτυγχάνεται μέσω φωτοβολταϊκών (PV) (ή αλλιώς ηλιακών κυττάρων). Αυτά κάνουν την μετατροπή φωτός σε ηλεκτρισμό απευθείας. Μικροί ηλιακοί συλλέκτες μπορούν αν λειτουργήσουν μικρές και απλές συσκευές όπως υπολογιστές τσέπης. Διατάξεις από πάνελ δύναται να παράξουν ενέργεια για ολόκληρα σπίτια, ενώ μεγαλύτερα συγκροτήματα παράγουν αρκετό ηλεκτρισμό για πόλεις (EIA, 2021).

Αν και η χρήση της ηλιακής ενέργειας δεν επιφέρει ιδιαίτερες αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον, εντούτοις έχει κάποιους περιορισμούς. Πιο συγκεκριμένα, το φως του ήλιου που καταφτάνει σε μια περιοχή δεν είναι σταθερό, καθώς εξαρτάται από παράγοντες όπως είναι η ώρα της ημέρας, η εποχή και οι καιρικές συνθήκες. Εκτός αυτού, απαιτείται μεγάλη έκταση από πάνελ για την απορρόφηση μιας χρήσιμης ποσότητας ενέργειας (EIA, 2021).

### ***Γεωθερμική Ενέργεια***

Αποκαλείται επίσης γεωθερμία και είναι η φυσική θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνειά της. Θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας διότι παράγεται συνεχώς εντός της γης. Επιστήμονες έχουν ανακαλύψει πως η θερμοκρασία του πυρήνα της γης είναι περίπου 10800° F (περίπου 5982.222° C). Η θερμοκρασία στον μανδύα κυμαίνεται από περίπου 7,230° F (3999° C) κοντύτερα στον πυρήνα, έως 392° F (200° C) στο όριο με τον φλοιό (EIA, 2020).

Στα άκρα των τεκτονικών πλακών, που αποτελούν τον φλοιό της γης, αναδύεται μάγμα, σε περιοχές όπου πολύ συχνά δημιουργούνται ηφαίστεια. Σε αυτά τα μέρη βρίσκονται οι περισσότερες πηγές γεωθερμικής ενέργειας. Νερό και βράχος κάτω από την επιφάνεια απορροφούν θερμότητα από το μάγμα. Όπως είναι φυσικό, το νερό και ο βράχος που βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος, έχουν και μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Η γεωθερμική ενέργεια λοιπόν, φθάνει στην επιφάνεια μέσω ηφαιστείων, αναθυμιάσεων, θερμοπηγών και θερμών πιδάκων (EIA, 2020).

Τα είδη συστημάτων εκμετάλλευσης αυτού του είδους ενέργειας είναι τρία: Συστήματα άμεσης χρήσης, σταθμοί παραγωγής και αντλίες θερμότητας. Υπάρχει δυνατότητα άμεσης εκμετάλλευσης πηγών που βρίσκονται στην επιφάνεια για θέρμανση ή ακόμα και σε διαδικασίες παραγωγής (ξήρανση τροφίμων, παστερίωση γάλακτος κ.α.). Ένα γνωστό παράδειγμα άμεσης είναι οι ιαματικές πηγές. Οι σταθμοί παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας συνήθως κατασκευάζονται στις περιοχές όπου βρίσκονται οι πηγές. Η παραγωγή ηλεκτρισμού



απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες νερού ή ατμού, που θα προέρχεται από βαθιές γεωτρήσεις και μεταφέρεται στην επιφάνεια μέσω αντλίας. Στη συνέχεια, το νερό ή ο ατμός τροφοδοτούν τουρμπίνα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν έναν από τις πιο φθηνές, καθαρές και αποτελεσματικές μεθόδους θέρμανσης και ψύξης. Σε αντίθεση με τη θερμοκρασία του αέρα πάνω από το έδαφος, η θερμοκρασία του κάτω από αυτό, είναι σταθερά ανάμεσα στους 10 και 15.5° C. Σε περιόδους παγωνιάς, μεταφέρεται μέσω αντλίας θερμότητα από το έδαφος (ή από το νερό) στο κτήριο, ενώ τους θερινούς μήνες, η διαδικασία αντιστρέφεται (EIA, 2021).

### **Βιομάζα**

Ο όρος αναφέρεται σε οργανικά υλικά φυσικής προέλευσης. Εκτός λοιπόν από φυτά και δένδρα, ως βιομάζα θεωρείται το ξύλο και τα παραπροϊόντα από επεξεργασία του, γεωργικές καλλιέργειες, απόβλητα σφαγείων, βιογενή υλικά σε αστικά απόβλητα, ζωική κοπριά και λύματα. Τα υλικά αυτά έχουν απορροφήσει ενέργεια από τον ήλιο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, να καούν για θερμότητα ή να μετατραπούν σε υγρά και αέρια καύσιμα κίνησης. Συχνά, οι όροι «βιομάζα» και «βιοκαύσιμα» χρησιμοποιούνται ως εναλλάξιμοι, αλλά με τη λέξη «βιομάζα» εννοείται το υλικό από το οποίο συντίθεται το καύσιμο, ενώ ο τελευταίος όρος αναφέρεται στα αντίστοιχα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για μεταφορές (Biomass Energy, 2012; EIA, 2021).

Η εκμετάλλευση της βιομάζας για παραγωγή χρήσιμης ενέργειας πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η άμεση καύση. Όλα τα ήδη βιομάζας δύναται να καούν άμεσα για λόγους θέρμανσης, βιομηχανικών διεργασιών και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Γίνεται χρήση, επιπλέον, διαφόρων εργασιών χημικής μετατροπής της βιομάζας σε καύσιμα ή σε υλικά για την αξιοποίηση των ίδιων των διεργασιών. Με τη μέθοδο της μετεστεροποίησης, φυτικά έλαια, ζωικό λίπος και γράσα μετατρέπονται σε μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων, που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή βιοντίζελ. Επίσης, παράγονται υγρά και αέρια καύσιμα μέσω βιολογικής μετατροπής. Σε αυτή συμπεριλαμβάνονται η ζύμωση για μετατροπή βιομάζας σε αιθανόλη (χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε οχήματα), καθώς και η αναερόβια πέψη για την παραγωγή βιομεθανίου (EIA, 2021).

Εξαιρετικά χρήσιμες είναι και οι διαδικασίες θερμοχημικής μετατροπής. Σε αυτή τη διαδικασία, η βιομάζα μετατρέπεται σε άλλες χημικές μορφές, με κυρίαρχο μηχανισμό την θερμότητα. Ο διαχωρισμός γίνεται κατά κύριο λόγο βάσει της θερμοκρασίας και της ποσότητας του οξυγόνου που παρευρίσκεται κατά τη διάρκεια της μετατροπής. Κατά τη διαδικασία της πυρόλυσης, η θερμοκρασία βρίσκεται ανάμεσα τους 400 με 500° C, υπό συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Από αυτή τη διαδικασία παράγονται καύσιμα όπως το κάρβουνο, ανανεώσιμο

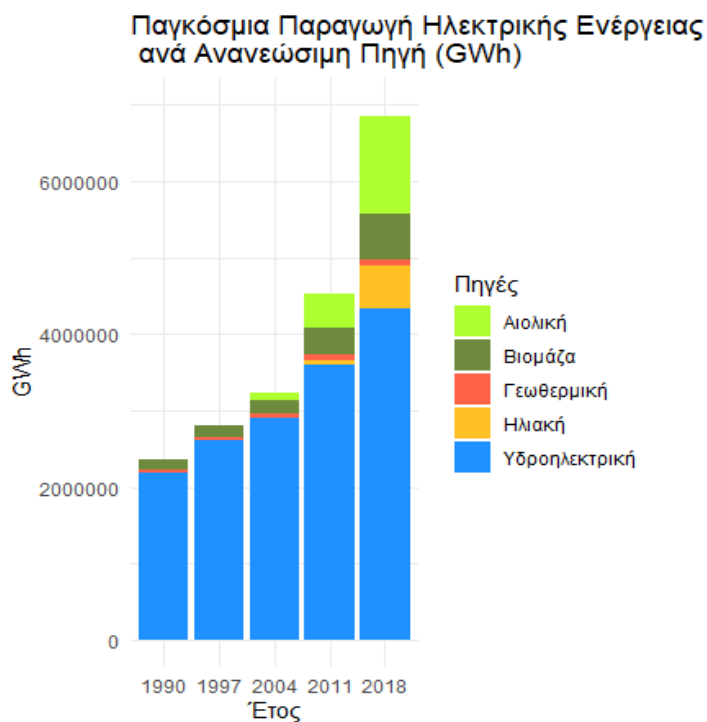
ντίζελ, μεθάνιο, υδρογόνο και βιο-λάδι. Η υδροκατεργασία (αλλιώς υδροπυρόλυση) χρησιμοποιείται για την επεξεργασία βιο-λαδιού με υδρογόνο υπό συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, παρουσία καταλύτη, με σκοπό την παραγωγή ανανεώσιμων καυσίμων. Επιπρόσθετα, σημαντική διαδικασία είναι αυτή της εξαερίωσης, κατά την οποία, οργανικά υλικά θερμαίνονται στους 800-900°C με προσθήκη οξυγόνου ή και ατμού, με στόχο τη διάσπασή τους σε μονοξειδίο του άνθρακα και αέριο σύνθεσης. Το αέριο σύνθεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση, για παραγωγή ηλεκτρισμού και ως καύσιμο για κινητήρες (EIA, 2021).

Αξίζει να αναφερθεί πως το ξύλο είναι η γνωστότερη και παλαιότερη υποκατηγορία βιομάζας που χρησιμοποιείται σαν καύσιμο, καθώς η καύση του είναι άμεση, δηλαδή δεν απαιτείται επεξεργασία για τη χρήση του. Μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα, ήταν η κυριότερη πηγή ενέργειας. Σήμερα όμως, αποτελεί ακόμη σημαντικό καύσιμο. Στον τομέα της βιομηχανίας, εταιρίες παρασκευής χαρτιού και προϊόντων ξύλου λειτουργούν μηχανήματα για παραγωγή ατμού και ηλεκτρισμού, μειώνοντας έτσι τα έξοδά τους. Στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ορισμένοι σταθμοί καίνε κυρίως ξύλα, ενώ σταθμοί γαιάνθρακα καίνε ταυτοχρόνως και ξύλο για μείωση ρίπων. Σημειώνεται πως και τη σήμερον ημέρα, το ξύλο έχει χρήση στο μαγείρεμα και στη θέρμανση, ιδιαίτερα σε αναπτυσσόμενες χώρες (EIA, 2021).

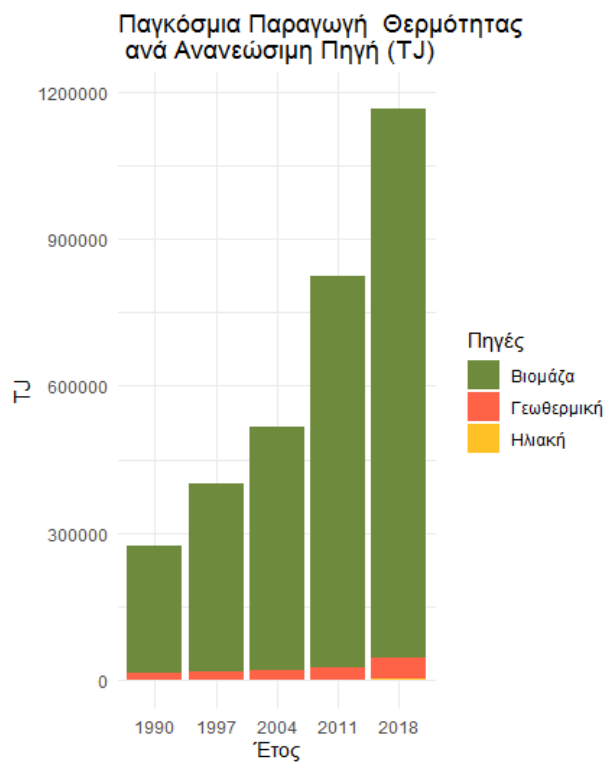
Την τελευταία τριακονταετία, έχει σημειωθεί εθελική αύξηση των ανανεώσιμων πηγών που συζητήθηκαν πιο πάνω. Αυτό γίνεται εύκολα κατανοητό μέσα από τα Διαγράμματα 1.7 και 1.8, όπου παρουσιάζονται τα ποσά ηλεκτρισμού και θερμότητας, που παρήχθησαν διαχρονικά από τις διαφορετικές ανανεώσιμες πηγές, σύμφωνα με δεδομένα παρεχόμενα από την IEA. Ειδικότερα στο Διάγραμμα 1.7, η υδροηλεκτρική ενέργεια (μπλε χρώμα) δείχνει πως είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη εδώ και δεκαετίες, για αυτό και παράγει το μεγαλύτερο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κλάδοι της αιολικής, της ηλιακής ενέργειας αλλά και της βιομάζας έχουν σημειώσει εξαιρετικά μεγάλη αύξηση στο παραγόμενο από αυτές ποσό ενέργειας εντός της δεύτερης δεκαετίας του 21ου αιώνα.

Μέσω του Διαγράμματος 1.8 γίνεται φανερό πως το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσό θερμότητας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, προέρχεται από την εκμετάλλευση βιομάζας, καθιστώντας τη έτσι την κυριότερη από τις ανανεώσιμες πηγές, για μια τόσο σημαντική λειτουργία. Παράλληλα, αρκετά TerraJoule (TJ) παράγονται και από τα έγκατα της γης με χρήση των μεθόδων, που αναφέρονται παραπάνω στο κεφάλαιο. Αντίθετα, από το φως του ηλίου δεν φαίνεται να παράγονται μεγάλα ποσά, ακόμα και τις τελευταίες δεκαετίες, στις οποίες γίνεται πολύς λόγος για την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας και τον ρόλο που αυτή δύναται να παίξει. Η παραγωγή θερμικής ενέργειας δείχνει να έχει αυξηθεί δραματικά εντός

του τελευταίου αιώνα και όπως φαίνεται στο γράφημα, αυτό οφείλεται στην πρόοδο που έχει σημειωθεί στην εκμετάλλευση της βιομάζας σαν πηγή για παραγωγή θερμότητας.



**Διάγραμμα 1.7: Παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρισμού ανά ανανεώσιμη πηγή (GWh)**



**Διάγραμμα 1.8: Παγκόσμια παραγωγή θερμότητας ανά ανανεώσιμη πηγή (TJ)**

Ιδανικά, επειδή υπάρχει ανάγκη αντικατάστασης των μη ανανεώσιμων πηγών και μείωσης των ρύπων, θα έπρεπε οι ανανεώσιμες πηγές να αντικαταστήσουν τα ορυκτά το αμεσότερο δυνατόν. Υπάρχουν, όμως, περιορισμοί όσον αφορά τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών και την ικανότητά τους να κυριαρχίσουν άμεσα στον τομέα. Αρχικά, οι ανανεώσιμες πηγές δεν είναι συνεπείς ως προς τον ρυθμό μετατροπής τους σε χρήσιμες μορφές ενέργειας για τον άνθρωπο, αφού η διαθεσιμότητά τους δεν είναι σταθερή στο χρόνο. Ορισμένες πηγές δεν είναι καν διαθέσιμες σε πολλά μέρη, ενώ επιπλέον για τις περισσότερες πηγές, απαιτούνται μεγάλες εγκαταστάσεις ή και εκτάσεις για παραγωγή χρήσιμης ποσότητας ενέργειας. Μία ιδιαίτερα μεγάλη πρόκληση είναι αυτή που παρουσιάζει το κόστος των εγκαταστάσεων. Οι εγκαταστάσεις για την εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε αυτές, απαιτούν μεγάλο κεφάλαιο. Λαμβάνοντας υπ' όψην τις εγκαταστάσεις και τα έξοδα που αυτές συνεπάγονται, είναι εμφανές ότι η πλήρης αντικατάσταση των διαδεδομένων πηγών με ανανεώσιμες δεν είναι κάτι άμεσα εφικτό (Kochtcheeva, 2016).

Οι επιστήμονες του κλάδου ερευνούν για λύσεις στα παραπάνω προβλήματα. Πρέπει σημειωθεί πως σύμφωνα με την ΙΕΑ, τα κόστη για αιολική και ηλιακή ενέργεια έχουν μειωθεί σημαντικά την τελευταία δεκαετία, τάση που προβλέπεται να συνεχιστεί. Με την βελτίωση της τεχνολογίας, η «πράσινη» ενέργεια αναμένεται να είναι σε θέση να καλύπτει όλο και περισσότερες ανάγκες.

## 1.7 Ανακεφαλαίωση

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιήθηκε μια εισαγωγή στην ενέργεια και τις πηγές της. Αφού δόθηκε ο ορισμός της ενέργειας και κάποιες βασικές έννοιες σχετικές με αυτή, έγινε μία σύντομη ιστορική αναδρομή στη χρήση των πηγών ενέργειας από τον άνθρωπο και εν συνεχεία ορίστηκαν τα είδη των πηγών ενέργειας. Αναλύθηκαν επιπλέον, η προέλευση, ο τρόπος που αποκτώνται και χρησιμοποιούνται οι πηγές που εξετάζονται στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας, δηλαδή το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και οι διαφορετικές ανανεώσιμες πηγές.

Η ενέργεια, έννοια η οποία φαίνεται να χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον Αριστοτέλη, πάνω από δύο χιλιετίες πριν, είναι η ικανότητα παραγωγής έργου. Οι δύο βασικότερες μορφές της είναι η κινητική και η δυναμική ενέργεια και οι υπόλοιπες βασικές μορφές ορίζονται βάσει αυτών. Είναι εφικτή και φυσιολογική η δυνατότητα μετατροπής από τη μία μορφή ενέργειας σε άλλη και οι μονάδες μέτρησης των μορφών, όπως είναι φυσικό, μοιράζονται αυτή την ιδιότητα. Οι τέσσερις κλάδοι τελικής κατανάλωσης της ενέργειας, που καταναλώνουν κυρίως πρωτογενή ενέργεια είναι ο οικιακός, ο εμπορικός, ο βιομηχανικός και ο κλάδος των μεταφορών.

Ο άνθρωπος για πολλούς αιώνες χρησιμοποιούσε κυρίως το ίδιο του το σώμα για την επιτέλεση διαφόρων εργασιών για την επιβίωσή του, όπως το χτίσιμο κτιρίων και κατασκευών, τη γεωργία και το κυνήγι, με την υποστήριξη κατοικιδίων ζώων. Με τη βιομηχανική επανάσταση, αυτό άλλαξε και πραγματοποιήθηκε στροφή προς χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας, αρχικά προς τον άνθρακα και τον προηγούμενο αιώνα στο πετρέλαιο, ενώ τις τελευταίες δεκαετίες αξιοποιούνται προοδευτικά περισσότερο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές είναι αυτές που αναπληρώνονται συνεχώς με φυσικό τρόπο, σε αντίθεση με τις μη ανανεώσιμες, των οποίων η αναπλήρωση γίνεται πιο αργά από την κατανάλωσή τους. Οι τελευταίες, αν και παρέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας στον βιομηχανοποιημένο κόσμο, εντούτοις οδεύουν προς εξάντληση των αποθεμάτων τους, κάτι που κρίνει πιο αναγκαία τη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές. Τα αποθέματα των μη ανανεώσιμων πόρων χαρακτηρίζονται ως αποδεδειγμένα, πιθανά ή δυνατά, αναλόγως τη δυνατότητα ανάκτησής τους, δεδομένων των τεχνολογικών, οικονομικών και λειτουργικών συνθηκών.

Υπάρχουν δύο θεωρίες για την προέλευση του πετρελαίου. Η διαφοροποίηση έγκειται στο εάν προέρχεται από οργανική ύλη ή όχι. Βρίσκεται σε υπόγεια κοιτάσματα σε ιζηματογενή πετρώματα, παγιδευμένο κάτω από μη διαπερατή στρώση πετρώματος είτε στην ξηρά είτε στη θάλασσα και ανακτάται συχνότερα με γεώτρηση. Επειδή το πετρέλαιο που αντλείται είναι νοθευμένο με άλλα υλικά, εξευγενίζεται στα διυλιστήρια όπου γίνεται ο διαχωρισμός διαφόρων προϊόντων και έπειτα μεταφέρεται μέσω αγωγών ή μεταφορικών μέσων για κατανάλωση ή επιπλέον επεξεργασία. Η κατηγοριοποίηση του πετρελαίου γίνεται βάσει τριών κριτηρίων: την περιεκτικότητα σε θείο, τη βαρύτητα API και τη γεωγραφική περιοχή. Με βάση την τελευταία, τίθενται και τα σημεία αναφοράς για την τιμολόγηση του πετρελαίου. Τα κυριότερα σημεία αναφοράς πετρελαίου είναι το Αμερικανικό West Texas Intermediate, το Ευρωπαϊκό Brent και το Dubai. Το πετρέλαιο έχει πληθώρα χρήσεων, όμως η σημαντικότερη είναι η κατανάλωσή του στον κλάδο των μεταφορών. Τα μεγαλύτερα αποθέματά του βρίσκονται στη Μέση Ανατολή, αλλά η Βενεζουέλα είναι η πρώτη χώρα σε αποδεδειγμένα αποθέματα.

Το φυσικό αέριο συνήθως συναντάται μαζί με το πετρέλαιο, σε παρόμοιους γεωλογικούς σχηματισμούς και κατατάσσεται επίσης στα ορυκτά καύσιμα. Φυσικό αέριο που βρίσκεται σε προσβάσιμους γεωλογικούς σχηματισμούς ονομάζεται συμβατικό, ενώ αντίθετα εμπίπτει σε κατηγορίες μη συμβατικού αερίου και είναι δυσκολότερη η ανάκτησή του. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, η ανάκτηση διαφόρων τέτοιων κατηγοριών γίνεται πιο εφικτή. Η μεταφορά του αερίου είναι ακριβότερη από του πετρελαίου εξαιτίας της φύσης του. Για αυτό, εκτός από τη μεταφορά με αγωγούς, εφαρμόζεται η υγροποίηση του σε LNG για μεταφορά με άλλα μέσα. Το φυσικό αέριο αποθηκεύεται για περιόδους κορύφωσης της ζήτησης, με προσθήκη οσμής και τήρηση αυστηρών κανόνων. Η τιμολόγησή του γίνεται με βάση κύριους κόμβους σε διάφορες περιοχές, κυριότερος των οποίων είναι Henry Hub στην Αμερική. Στους κόμβους

προσδιορίζονται οι τιμές αναφοράς και οι ίδιοι αποτελούν σημεία παροχής. Αν και έχει χρήση σε διάφορους τομείς, το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται εντατικότερα στη βιομηχανία και στα νοικοκυριά. Τα μεγαλύτερα αποθέματα βρίσκονται στη Μέση Ανατολή και η μεμονωμένη χώρα με τα περισσότερα αποθέματα είναι η Ρωσία. Επιπλέον, θεωρείται μια αρκετά καθαρή πηγή συγκριτικά με το πετρέλαιο, όμως, ρυπαίνει και αυτή με διάφορους τρόπους το περιβάλλον.

Οι ανανεώσιμες πηγές είναι απαραίτητες για το μέλλον, καθώς είναι ανεξάντλητες και παρέχουν καθαρή ενέργεια. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ο ηλεκτρισμός που παράγεται από εκμετάλλευση της ορμής του νερού και είναι αποτελεί έναν ήδη ανεπτυγμένο κλάδο. Ο κλάδος της αιολικής ενέργειας, δηλαδή της εκμετάλλευσης της έντασης του ανέμου για παραγωγή ηλεκτρισμού, επίσης σημειώνει σημαντική άνοδο την τελευταία τριακονταετία. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φως του ηλίου, εμπεριέχει περιορισμούς όσον αφορά τη μεταβλητότητα της παραγωγής και την απαιτούμενη έκταση. Θερμότητα από το κέντρο της γης χρησιμοποιείται απευθείας για θέρμανση και για διάφορες διαδικασίες παραγωγής. Η βιομάζα χρησιμοποιείται με ποικίλους τρόπους, όπως με άμεση καύση ή με μετατροπή της σε άλλες χημικές μορφές, για παραγωγή ηλεκτρισμού, για θέρμανση ή σαν καύσιμο. Παρά το γεγονός ότι η στροφή προς ανανεώσιμες πηγές κρίνεται αναγκαία, κάτι τέτοιο δεν είναι εύκολο, καθώς πρέπει να αντιμετωπιστούν διάφορες προκλήσεις, με κυριότερη αυτή του κόστους των εγκαταστάσεων.







## Κεφάλαιο 2

### Μακροοικονομικά Μεγέθη

#### 2.1 Εισαγωγή

Οι άνθρωποι ανέκαθεν κατέβαλαν μεγάλη προσπάθεια, για να κατανοήσουν τί συμβαίνει τριγύρω τους και για ποιόν λόγο. Η μελέτη της οικονομίας για την ερμηνεία των φαινομένων που παρατηρούνται μέσα σε αυτή, δεν θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση, αν και η οικονομική επιστήμη είναι μία από τα πιο πρόσφατα επιστημονικά πεδία. Ερωτήματα οικονομικής φύσεως απασχολούσαν τους στοχαστές από αρχαιοτάτων χρόνων. Αρχαίοι Έλληνες όπως ο Αριστοτέλης είχαν τίξει ζητήματα, που σήμερα θα θεωρούνταν οικονομικά. Δεν αποτελούσαν όμως κομμάτι κάποιας γενικότερης οικονομικής θεωρίας. Η σύγχρονη οικονομική θεωρία άρχισε να αναπτύσσεται μετά τη Βιομηχανική Επανάσταση, καθώς οι μέχρι τότε κοινωνίες δεν ήταν κοινωνίες της αγοράς, παρά την ύπαρξη αγορών σε αυτές και τούτο διότι οι οικονομικές σχέσεις ήταν ενσωματωμένες σε κοινωνικές και πολιτικές σχέσεις.

Η Βιομηχανική Επανάσταση επέφερε τρομερές αλλαγές στην οικονομική (και όχι μόνο) διάρθρωση των χωρών. Οι παραγωγικοί συντελεστές, δηλαδή η Γη, η Εργασία και το Κεφάλαιο, έγιναν οι ίδιοι εμπορεύματα. Χωρίς αυτή τη μετάβαση, η σημερινή οικονομική θεώρηση δεν θα είχε λόγο ύπαρξης. Το κείμενο που θεωρείται από πολλούς ως η γένεση των οικονομικών σαν ξεχωριστή επιστήμη είναι «Ο Πλούτος των Εθνών» του Adam Smith (Blaug, 2021). Εν συνεχεία, διαφορετικά ζητήματα αποτέλεσαν έναυσμα για την ανάπτυξη διάφορων οικονομικών θεωριών και σχολών σκέψης. Ιδιαίτερα όμως τον τελευταίο αιώνα, οι διάφορες οικονομικές κρίσεις έδρασαν σαν κάλεσμα αφύπνισης για την ανάλυση του τρόπου λειτουργίας της οικονομίας συνολικά και της σύνδεσής της με τις χρηματοπιστωτικές αγορές (Mankiw & Ball, 2013).

Πολλά από τα οικονομικά και πολιτικά γεγονότα που έχουν χαραχτεί στη μνήμη των ανθρώπων, αφορούν οικονομικές και χρηματοπιστωτικές κρίσεις, όπως η Μεγάλη Χρηματοπιστωτική Κρίση του 2007 ή το Κραχ της Wall Street το 1929. Έχουν παρατηρηθεί όμως και οικονομικά «θαύματα», περίοδοι δηλαδή, στην ιστορία ορισμένων χωρών, κατά τις οποίες σημειώθηκε απότομη αύξηση του πλούτου τους και βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης. Είναι προφανές πως η πορεία της οικονομίας επηρεάζει τους πολίτες εντός της. Στελέχη επιχειρήσεων επιβλέπουν το επίπεδο των τιμών για να προσαρμοστούν στη ζήτηση των προϊόντων τους. Στο νέο πληθυσμό επικρατεί πάντοτε αγωνία για πιθανή ανάκαμψη της οικονομίας, ούτως ώστε να προσληφθούν και να αμείβονται περισσότερο. Ακριβώς αυτή η σπουδαιότητα είναι ο λόγος που σε τίτλους ειδήσεων και πρωτοσέλιδα εφημερίδων παρατηρούνται συνεχώς τίτλοι όπως «Μέτρα για την αντιμετώπιση του πληθωρισμού» ή

«Μεγάλοι φόβοι για ύφεση» (Mankiw & Ball, 2013). Η απάντηση ερωτημάτων όπως ο προσδιορισμός των αιτιών και του τρόπου διαχείρισης τέτοιων καταστάσεων είναι αρκετά σημαντική ώστε να αποτελεί αντικείμενο ξεχωριστού κλάδου της οικονομικής επιστήμης.

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται επιπλέον μια έκρηξη του ενδιαφέροντος της ακαδημαϊκής κοινότητας προς τη σχέση της οικονομικής δραστηριότητας με τη χρήση ενέργειας, τους πόρους που ξοδεύονται για τον σκοπό αυτόν, αλλά και για τα προβλήματα που διογκώνονται με την εντατική χρήση τους. Αυτό αποτελεί μία νέα πνοή για την οικονομική επιστήμη που, όπως παρατηρείται από τους Hall και Klitgaard (2012), τείνει περισσότερο προς τις κοινωνικές επιστήμες και συνήθως κατηγοριοποιείται στην ομάδα των «μαλακών» επιστημών, παρά την άμεση ανάγκη για επιπλέον γνώση πάνω σε πιο «χειροπιαστά» αντικείμενα που απασχολούν ιδιαίτερα τόσο τον κοινό πολίτη, όσο και αυτούς που λαμβάνουν αποφάσεις. Σύμφωνα με τους δύο συγγραφείς, στην επίλυση των προβλημάτων της μοντέρνας εποχής θα ήταν πιο χρήσιμη η συμβολή των «σκληρών» επιστημών και τα οικονομικά έχουν τη δυνατότητα, με τη χρήση αντίστοιχων μεθόδων να αποτελέσουν τέτοια επιστήμη και να δώσουν πολύτιμες πληροφορίες.

Οι επόμενες ενότητες του κεφαλαίου έχουν στόχο την επεξήγηση βασικών μακροοικονομικών εννοιών, με σκοπό την ευκολότερη κατανόηση των μεγεθών που συμπεριλαμβάνονται στην παρούσα έρευνα. Αρχικά γίνεται εισαγωγή στο αντικείμενο της μακροοικονομικής, τους στόχους και τα διαθέσιμα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την επίτευξή τους. Εν συνεχεία, αναλύονται τα μεγέθη με τα οποία μετρείται η οικονομική μεγέθυνση και έπειτα εξετάζεται ο πληθωρισμός, αναφέρονται σύντομα οι γνωστότερες θεωρίες περί αιτιών του, ενώ οι βασικότεροι δείκτες του επεξηγούνται και συγκρίνονται. Τέλος, γίνεται ανάλυση της σχέσης της ενέργειας με την οικονομική μεγέθυνση και των παραγόντων από τους οποίους επηρεάζεται.

## **2.2 Αντικείμενο και Εργαλεία της Μακροοικονομικής**

Η μακροοικονομική επιστήμη είναι ο κλάδος των οικονομικών επιστημών που μελετά την οικονομία σαν σύνολο. Αντικείμενο της λοιπόν, είναι η μελέτη της συμπεριφοράς και της διάρθρωσης των οικονομιών, αλλά και των πολιτικών που ασκούνται από τις κυβερνήσεις αυτών με σκοπό την αύξηση των επιδόσεων τους (Abel, Bernanke, & Croushore, 2010). Έτσι, στα θέματα που απασχολούν τους μακροοικονομολόγους συμπεριλαμβάνονται οι παράγοντες και οι συνθήκες προσδιορισμού της μακροχρόνιας οικονομικής μεγέθυνσης, τα αίτια των διακυμάνσεων της οικονομικής δραστηριότητας ενός κράτους και οι πολιτικές που δύναται να βελτιώσουν την παραγωγικότητα της δραστηριότητας αυτής. Επιπλέον, οι επιστήμονες του κλάδου πραγματεύονται τις δυνάμεις που επιφέρουν την αύξηση των τιμών και της ανεργίας,

καθώς και την επιρροή της παγκοσμιοποίησης στον τρόπο λειτουργίας των οικονομιών και τη διάχυση διαφόρων οικονομικών φαινομένων λόγω αυτής (Abel, Bernanke, & Croushore, 2010).

Είναι πάντοτε σημαντική η κατανόηση των δεσμών που υπάρχουν ανάμεσα στους φορείς οικονομικής δραστηριότητας. Η πορεία των χρηματοπιστωτικών αγορών κάθε οικονομίας είναι στενά συνδεδεμένη με μακροοικονομικά γεγονότα. Όταν η οικονομία βρίσκεται σε περίοδο οικονομικής άνθησης, οι επιχειρήσεις εμφανίζουν κέρδη, η αξία τους μεγαλώνει και αυτό αντικατοπτρίζεται στις υψηλότερες τιμές των μετοχών τους. Αντίστοιχα, η πτώση των τιμών των μετοχών αποτελεί προειδοποιητικό σημάδι ότι η οικονομία κατευθύνεται προς την ύφεση (Mankiw & Ball, 2013). Πρόσθετα, παράλληλα με το να καθρεπτίζουν την πορεία της οικονομίας, οι κινήσεις στις αγορές αυτές επηρεάζουν και οι ίδιες την οικονομία. Οι διακυμάνσεις των μετοχών επηρεάζουν άμεσα τον πλούτο των νοικοκυριών, που με τη σειρά του επηρεάζει τις δαπάνες, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν μεταβολές στην παραγωγή και την απασχόληση. Η λειτουργία των τραπεζών και λοιπών χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων συνδέεται επίσης από την πορεία της οικονομίας. Σε μία οικονομία που βρίσκεται σε ανοδική πορεία, είναι ευκολότερα εφικτή η εύρυθμη λειτουργία και η κερδοφορία των τραπεζικών ιδρυμάτων, ενώ η ύφεση καθιστά την εύρωστη λειτουργία τους δυσκολότερη (Mankiw & Ball, 2013).

Μια ιδιαίτερη σχέση, η οποία παρατηρείται με ευκολία από κάθε άτομο, είναι αυτή της μακροοικονομικής επιστήμης με την πολιτική. Επειδή τα ζητήματα που αποτελούν το αντικείμενο του κλάδου επηρεάζουν το σύνολο της κοινωνίας, είναι φυσιολογικό να έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο σε πολιτικές συζητήσεις. Η εικόνα που έχουν οι ψηφοφόροι για την εκάστοτε κυβέρνηση, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πορεία της οικονομίας, η οποία γίνεται αισθητή στους πολίτες. Άμεση συνέπεια είναι το γεγονός πως οι πολιτικοί αποτελούν τους ουσιαστικούς εκτελεστές των κινήσεων που αφορούν τη μακροοικονομική πολιτική της χώρας, ενώ ερμηνευτές αλλά και επινοητές των πολιτικών που κρίνονται ωφελιμότερες είναι οι οικονομολόγοι του κλάδου (Mankiw & Ball, 2013).

Κάτι που έχει αλλάξει σε σύγκριση με τα παλαιότερα χρόνια, είναι η διαθεσιμότητα των οικονομικών δεδομένων για μελέτη. Κάποτε, οι οικονομολόγοι είχαν στη διάθεσή τους μόνο την τυχαία παρατήρηση, που τους παρότρυνε προς περαιτέρω διερεύνηση. Εν αντιθέσει, σήμερα τα οικονομικά δεδομένα συλλέγονται συνεχώς, γίνονται διαθέσιμα εντός σύντομου χρονικού διαστήματος και αποτελούν έτσι συστηματική, αντικειμενική πηγή πληροφόρησης (Mankiw & Ball, 2013). Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται από διάφορους φορείς, πολλοί από τους οποίους είναι κρατικοί και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό δεικτών, που με τη σειρά τους παρέχουν εικόνα για χαρακτηριστικά της οικονομίας, ενημερώνοντας έτσι τα νοικοκυριά, τις επιχειρήσεις, τους πολιτικούς και τους ερευνητές. Για τους τελευταίους, αποτελούν βασικό

εργαλείο, αφού χρησιμοποιούνται σε έρευνες με αντικείμενο τις οικονομικές θεωρίες για τις σχέσεις μεταξύ των οικονομικών φαινομένων (Mankiw & Ball, 2013).

Το κυριότερο εργαλείο που έχουν στα χέρια τους οι οικονομολόγοι, πέραν φυσικά της διαθεσιμότητας των δεδομένων τη σήμερον εποχή, είναι τα υποδείγματα. Ο όρος αναφέρεται σε μαθηματικά μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ κάποιων μεταβλητών, αφήνοντας λοιπές μεταβλητές εκτός μοντέλου (Mankiw & Ball, 2013). Σημειώνεται, πως οι μεταβλητές των οποίων οι τιμές δίνονται εντός του μοντέλου αποκαλούνται ενδογενείς, ενώ αντίθετα οι μεταβλητές που οι τιμές τους δίνονται εκτός του μοντέλου πριν την εισαγωγή σε αυτό, ονομάζονται εξωγενείς. Η ύπαρξη διαφορετικών σχολών οικονομικής σκέψης έχει σαν αποτέλεσμα σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα υποδείγματα. Ένα παράδειγμα βασικού χαρακτηριστικού είναι η υπόθεση της ευκαμψίας ή ακαμψίας των τιμών στο μοντέλο. Τα υποδείγματα αποτελούν ουσιαστικά μια απλούστευση της πραγματικότητας, αφού υπό ρεαλιστικές συνθήκες, οι δυνάμεις που επηρεάζουν τα μεγέθη είναι πολυάριθμες, καθιστώντας την ερμηνεία πρακτικά αδύνατη.

Το αντικείμενο του κλάδου των μακροοικονομικών έρχεται σε αντίθεση με το αντικείμενο της μικροοικονομικής, η οποία μελετά τη συμπεριφορά των νοικοκυριών και των επιχειρήσεων. Βασική αρχή της μικροοικονομικής είναι η υπόθεση ότι τα νοικοκυριά και οι επιχειρήσεις πράττουν με στόχο τη μεγιστοποίηση της ωφέλειας (ή αλλιώς χρησιμότητας) και του κέρδους αντίστοιχα, οπότε η κατασκευή των υποδειγμάτων γίνεται αυτό το σκεπτικό. Φυσικά, δεδομένου του ότι η συνολική κατάσταση της οικονομίας προέρχεται από πολλές αλληλεπιδράσεις σε μικρότερη κλίμακα, που περιγράφονται από τα υποδείγματα της μικροοικονομικής, οι θεωρίες των δύο κλάδων πρέπει να συμβαδίζουν (Mankiw & Ball, 2013).

Η ιστορία της μακροοικονομικής επιστήμης είναι μεγάλη, αφού αναλόγως την περιοχή αλλά και την εποχή υπήρξαν διάφορες καταστάσεις που προβληματίσαν τους επιστήμονες, δίνοντας έτσι το έναυσμα για έρευνα και τη δημιουργία νέων θεωριών, που συχνά εμφανίζουν και κάποιες διαφορές μεταξύ τους. Παρά τις όποιες διαφορές στα ζητήματα αυτά και τις καταστάσεις στις οποίες διαμορφώθηκαν, οι βασικές αρχές του κλάδου δεν αλλάζουν σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ένας οικονομολόγος όμως, οφείλει να εφαρμόζει τις αρχές αυτές με ευελιξία και ευρηματικότητα, ούτως ώστε να προσαρμόζεται στην αλλαγή των συνθηκών (Mankiw & Ball, 2013). Όπως παρατηρείται από τους Mankiw και Ball (2013), μπορεί η μακροοικονομική να είναι μια νέα επιστήμη συγκριτικά με άλλες και να απέχει από το τέλειο, όμως οι ασκητές της γνωρίζουν αρκετά καλά τον τρόπο που λειτουργεί μια οικονομία. Συνεπώς, θα πρέπει να θεωρείται δεδομένη η συνέχεια της ανάπτυξης του κλάδου και η βελτίωση της ακρίβειας των μοντέλων, καθώς και η ιστορία δεν θα σταματήσει να παρέχει γεγονότα που θα χρήζουν ερμηνείας.

### **2.3 ΑΕΠ και Δείκτες Οικονομικής Μεγέθυνσης**

Η οικονομική μεγέθυνση, είναι ένα από τα σημαντικότερα φαινόμενα που μελετούν οι οικονομολόγοι. Συνεπώς, είναι φυσικό για τους οικονομολόγους να καθίσταται ζωτικής σημασίας η χρήση κάποιων δεικτών σαν σημεία αναφοράς για την απόδοση της οικονομίας. Σε αυτό το σημείο, είναι απαραίτητη η διευκρίνιση των εννοιών της οικονομικής μεγέθυνσης και της οικονομικής ανάπτυξης και η επισήμανση των διαφορών τους, καθώς οι δύο όροι χρησιμοποιούνται συχνά για να αναφερθούν στο ίδιο πράγμα, αναλόγως το αντικείμενο στο οποίο αναφέρεται ο συγγραφέας ή ομιλητής. Η ελεύθερη εναλλαγή μεταξύ των δύο όρων είναι σφάλμα, αφού παρά τα κοινά τους σημεία, αυτοί δεν είναι ταυτόσημοι. Η οικονομική μεγέθυνση (αγγλ. Economic Growth) αναφέρεται στον θετικό ρυθμό μεταβολής του πραγματικού προϊόντος, δηλαδή του επιπέδου του Ακαθάριστου Εγχωρίου Προϊόντος ή του εθνικού εισοδήματος μιας οικονομίας και άρα ουσιαστικά στη βελτίωση των επιδόσεων της (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005).

Ο όρος οικονομική ανάπτυξη (αγγλ. Economic Development) είναι πολύπλοκότερος, καθώς έχει να κάνει, πέραν της αξίας των αγαθών και υπηρεσιών που παράγει η οικονομία, με την πιο ευρεία βελτίωση της κοινωνικής ευημερίας μέσω της διεύρυνσης των παραγωγικών της δυνατοτήτων (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Η μέτρηση, στο σημείο που κάτι τέτοιο είναι εφικτό, γίνεται με την κατασκευή πιο σύνθετων δεικτών που αφορούν, εκτός από τους οικονομικούς δείκτες, την επέκταση των τεχνολογικών δυνατοτήτων και της γνωστικής δυναμικότητας μιας οικονομίας. Επιπρόσθετα, οι αναπτυξιακοί δείκτες συμπεριλαμβάνουν δείκτες σχετικούς με την κατανομή του εισοδήματος και με την ικανότητα κάλυψης βασικών αναγκών, δηλαδή αναγκών που οι ίδιοι οι καταναλωτές κρίνουν ως απαραίτητες (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Φαίνεται λοιπόν, ότι η οικονομική ανάπτυξη είναι μια έννοια πιο ευρεία από αυτή της μεγέθυνσης.

Τα μεγέθη, που χρησιμοποιούνται εκτεταμένα ως δείκτες μεγέθυνσης και ευημερίας, αναλύονται παρακάτω.

#### ***Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ)***

Το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (αγγλ. Gross Domestic Product, GDP ή ΑΕΠ) αποτελεί το συχνότερα αναφερόμενο μέτρο, για το πόσο καλά αποδίδει μια οικονομία. Υπολογίζεται από έναν μεγάλο αριθμό πρωτογενών δεδομένων και σκοπός του είναι να τα παρουσιάσει με ένα μόνο αριθμητικό στοιχείο που αντιπροσωπεύει την αξία της οικονομικής δραστηριότητας εντός της οικονομίας, σε δεδομένη χρονική περίοδο. Το ΑΕΠ λοιπόν, ορίζεται ως η αγοραία αξία όλων των τελικών αγαθών που παράγονται σε μία οικονομία στη χρονική αυτή περίοδο

(Mankiw & Ball, 2013). Συνεπώς, αν μία οικονομία παράγει δύο μόνο προϊόντα, ο υπολογισμός του ΑΕΠ της γίνεται ως εξής:

$$ΑΕΠ_t = Προϊόν_t^1 * Τιμή_t^1 + Προϊόν_t^2 * Τιμή_t^2$$

Το ΑΕΠ δύναται να υπολογιστεί μέσω τριών διαφορετικών προσεγγίσεων. Αυτές είναι οι προσεγγίσεις της συνολικής δαπάνης, του συνολικού εισοδήματος και του συνολικού προϊόντος. Οι οικονομολόγοι και διαμορφωτές της πολιτικής δεν ενδιαφέρονται αποκλειστικά και μόνο για τη συνολική παραγωγή, αλλά και για την κατανομή αυτής σε εναλλακτικές χρήσεις. Αν και οι τρεις αυτές μέθοδοι πρέπει εξ ορισμού να καταλήγουν (θεωρητικά τουλάχιστον) στο ίδιο συμπέρασμα, καθεμία παρέχει πιο αναλυτική εικόνα για διαφορετική πλευρά της οικονομίας (Abel, Bernanke, & Croushore, 2010). Στους λογαριασμούς εισοδήματος διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες **δαπάνης** και βάση τους σχηματίζεται η Ταυτότητα Λογαριασμών Εθνικού Εισοδήματος, από την οποία μπορεί να υπολογιστεί το ΑΕΠ της χώρας (με την προσέγγιση της δαπάνης) (Mankiw & Ball, 2013):

$$Y = C + I + G + (X - M) = C + I + G + NX, \text{ όπου}$$

- **Y το ΑΕΠ**
- **C η κατανάλωση:** Αντιπροσωπεύει την τελική αξία των αγαθών που αγοράζονται από τα νοικοκυριά, συμπεριλαμβανομένων και των εισαγόμενων (στην ίδια εξίσωση αφαιρούνται οι εισαγωγές και προστίθενται οι εξαγωγές). Περιλαμβάνει καταναλωτικά αγαθά, διαρκή και μη, καθώς και τις υπηρεσίες.
- **I το επίπεδο συνολικών επενδύσεων:** Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται τα έξοδα για κεφαλαιουχικά αγαθά (πάγια στοιχεία), όπως είναι οι εγκαταστάσεις και ο εξοπλισμός, αλλά και οι αυξήσεις (επενδύσεις) στα αποθέματά τους.
- **G οι δημόσιες δαπάνες:** Η συνιστώσα αυτή αποτελείται από όλα τα δημόσια έξοδα για νέα (τελικά) αγαθά και υπηρεσίες, εγχώρια ή μη. Σε αυτά περιλαμβάνονται έξοδα όπως οι στρατιωτικές δαπάνες ή οι αυτοκινητόδρομοι. Πρέπει να σημειωθεί πως μεταβιβαστικές πληρωμές, όπως οι συντάξεις, δεν ανήκουν σε αυτά, καθώς πρόκειται για ανακατανομή του εισοδήματος και άρα δεν έχουν σαν αντάλλαγμα κάποιο αγαθό ή υπηρεσία.
- **NX = X-M οι καθαρές εξαγωγές** (αγγλ. Net Exports). Ισούνται με τη διαφορά της αξίας των εισαγόμενων προϊόντων και υπηρεσιών (εισαγωγές, M), από την αντίστοιχη αξία των προϊόντων και υπηρεσιών που πωλούνται για κατανάλωση εξαγωγές (X). Οι εισαγωγές αφαιρούνται επειδή συνυπολογίζονται στα C, I και G. Όπως ορίζονται, οι καθαρές εξαγωγές αποτελούν δαπάνη ξένων χωρών προς την οικονομία. Είναι δηλαδή εισόδημα για τους εγχώριους παραγωγούς.

Με την προσέγγιση του **προϊόντος** (ή αλλιώς «παραγωγής»), το ΑΕΠ ορίζεται ως η αξία των τελικών αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται εντός της, στη ζητούμενη χρονική περίοδο. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι απλό για όλες της κατηγορίες αγαθών και υπηρεσιών. Υπάρχουν διάφορα αγαθά και υπηρεσίες τα οποία, ενώ παρέχουν σημαντικά οφέλη, δεν συμμετέχουν σε τυπικές αγοραπωλησίες και ως εκ τούτου δεν υπολογίζονται στο ΑΕΠ. Το καθαρό περιβάλλον και οι δραστηριότητες στα πλαίσια της οικογένειας αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα. Οικονομικές δραστηριότητες που περιλαμβάνονται στην παραοικονομία, είτε νόμιμα είτε παράνομα, μετρούνται μόνο μερικώς στο ΑΕΠ. Σημειώνεται πως σαν ένδειξη του μεγέθους της παραοικονομίας σε μια χώρα, χρησιμοποιείται το χρήμα σε κυκλοφορία. Τα παρεχόμενα από το κράτος αγαθά και υπηρεσίες αποτελούν σημαντικό μέρος της οικονομικής δραστηριότητας, αλλά δεν πωλούνται ανοιχτά στην αγορά. Σαν λύση, για τα τελευταία, χρησιμοποιείται το κόστος παραγωγής για αποτίμηση της αξίας τους (Abel, Bernanke, & Croushore, 2010). Για σαφέστερη κατανόηση, πρέπει να διευκρινιστεί ότι στον υπολογισμό του ΑΕΠ λαμβάνονται υπ' όψη μόνο αγαθά παραγμένα στην τρέχουσα περίοδο και μόνο τελικά αγαθά. Δεν υπολογίζονται αγαθά που συμβάλουν στην παραγωγή αυτών, δηλαδή τα ενδιάμεσα αγαθά, καθώς και αγαθά προηγούμενων περιόδων που πωλούνται την τρέχουσα (Abel, Bernanke, & Croushore, 2010).

Με την προσέγγιση του **εισοδήματος**, το ΑΕΠ υπολογίζεται ως το άθροισμα όλων των εσόδων που λαμβάνονται από τους παραγωγούς των αγαθών και υπηρεσιών, συμπεριλαμβάνοντας τα κέρδη και τους φόρους δημοσίου. Συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό αθροίζονται οι αμοιβές εξαρτημένης εργασίας (αποτελούμενες από τους ακαθάριστους μισθούς), με τους καθαρούς φόρους που συνδέονται με την παραγωγή και τις εισαγωγές και επιπλέον με το ακαθάριστο λειτουργικό πλεόνασμα. Το λειτουργικό πλεόνασμα αποτελείται αθροιστικά από το σύνολο των πλεονασμάτων ή ελλειμμάτων κάθε των ιδιοκτητών κάθε θεσμικής μονάδας. Είναι δηλαδή οι αμοιβές όλων των συντελεστών που συμβάλλουν στην παραγωγή, πλην της εξαρτημένης εργασίας. Για την περίπτωση των μη εταιρικών επιχειρήσεων που ανήκουν σε νοικοκυριά, ονομάζεται «μικτό», διότι περιέχει στοιχεία άμισθης εργασίας του ιδιοκτήτη (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005).

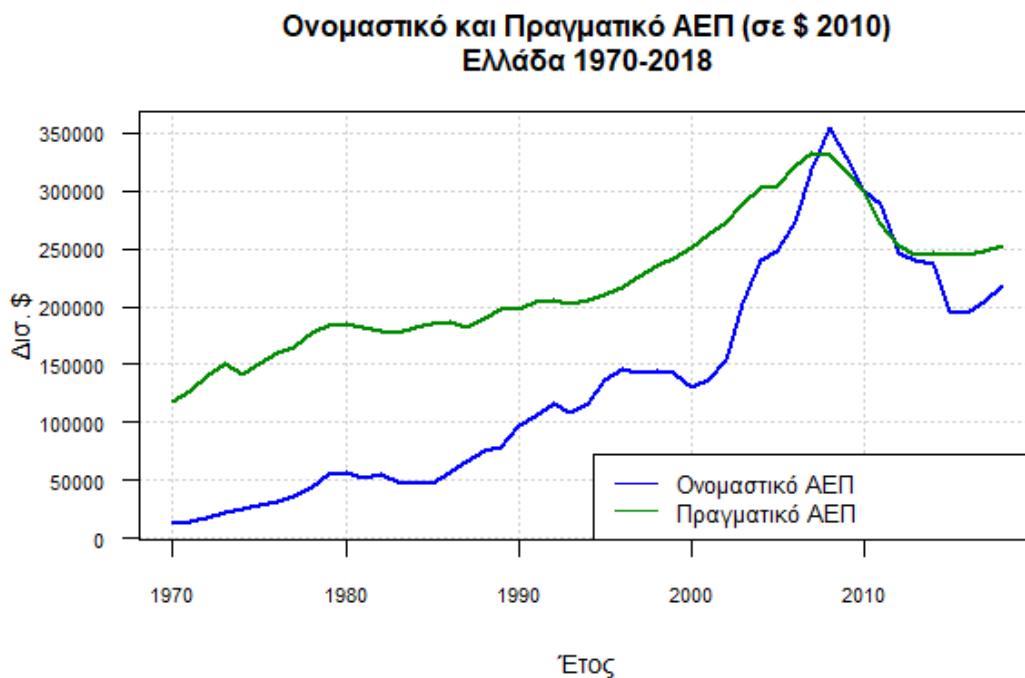
### ***Πραγματικό ΑΕΠ***

Αναφέρθηκε προηγουμένως πως το ΑΕΠ μετρά την τρέχουσα αξία της παραγωγής μιας οικονομίας. Από τον ορισμό του, δύναται να παρουσιάζει βελτίωση εξαιτίας της ανόδου του επιπέδου τιμών (πληθωρισμός), δίχως να υπάρχει απαραίτητα βελτίωση στις επιδόσεις (Mankiw & Ball, 2013). Ένας ικανοποιητικός δείκτης ευημερίας όμως, δεν πρέπει να επηρεάζεται από μεταβολές των τιμών, καθώς αυτό που ενδιαφέρει κυρίως, είναι η μεταβολή της φυσικής παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών, με τις τιμές να κρατούνται σταθερές, διότι

αυτό επιτρέπει την δικαιότερη σύγκριση ανάμεσα σε περιόδους. Το ΑΕΠ που υπολογίζεται με τις τιμές της τρέχουσας περιόδου, αποκαλείται «ονομαστικό» (αγγλ. Nominal GDP). Το «πραγματικό» ΑΕΠ (αγγλ. Real GDP) μετρά την παραγωγή που αποτιμάται σε σταθερές τιμές (Mankiw & Ball, 2013). Σημειώνεται πως ομοίως με το ονομαστικό του αντίστοιχο, το πραγματικό ΑΕΠ συνήθως συμβολίζεται με το γράμμα  $Y$  στη βιβλιογραφία, σε μοντέλα ερευνών και στην περιγραφή τους. Χρησιμοποιώντας το παράδειγμα που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως για τον ορισμό του ΑΕΠ, εάν  $t$  η περίοδος βάσης, για το πραγματικό ΑΕΠ για τις περιόδους  $t$  και  $t+1$  θα ισχύει:

$$ΑΕΠ_t = Προϊόν_t^1 * Τιμή_t^1 + Προϊόν_t^2 * Τιμή_t^2$$

$$ΑΕΠ_{t+1} = Προϊόν_{t+1}^1 * Τιμή_t^1 + Προϊόν_{t+1}^2 * Τιμή_t^2$$



**Διάγραμμα 2.1: Ονομαστικό και Πραγματικό ΑΕΠ (Ελλάδα)**

Στο Διάγραμμα 2.1 απεικονίζεται σε δολάρια το Ακαθάριστο Εγχώριο προϊόν για την Ελληνική οικονομία, ονομαστικό και σε σταθερές τιμές 2010, από το έτος 1970 έως και το 2018. Τα δεδομένα του γραφήματος ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων World Development Indicators (WDI) της World Bank. Η οικονομία βίωσε μεγέθυνση έως το 2007, δηλαδή το ξεκίνημα της παγκόσμιας χρηματοοικονομικής κρίσης. Για περίπου πέντε έτη υπήρξε πτώση του ΑΕΠ, έως ότου η χώρα φαίνεται να μπήκε σε πορεία ανάκαμψης. Παρατηρείται πως η καμπύλη του πραγματικού ΑΕΠ μοιάζει να είναι περισσότερο ομαλή. Ιδιαίτερα στην περίοδο 2001-2008, το ονομαστικό ΑΕΠ εμφανίζει έντονη ανοδική τάση. Η αύξηση αυτή όμως,



οφείλεται εν μέρει στην αύξηση των τιμών την ίδια περίοδο. Το πραγματικό ΑΕΠ, το οποίο όπως προαναφέρθηκε δεν επηρεάζεται από τις τιμές, δείχνει στην ίδια περίοδο ανοδική τάση, που έχει ξεκινήσει από παλαιότερες περιόδους. Η τάση αυτή δεν είναι τόσο μεγάλη όσο φαίνεται να είναι στο ονομαστικό αντίστοιχο.

Ένας βασικός ορισμός που εμφανίζεται στον κλάδο της μακροοικονομικής επιστήμης, είναι το λεγόμενο «παραγωγικό έλλειμμα» ή αλλιώς «παραγωγικό κενό». Για την κατανόησή του, είναι υποχρεωτική η διευκρίνιση του δυνητικού ΑΕΠ ή προϊόντος μιας οικονομίας. Αυτό ορίζεται ως το επίπεδο παραγωγής που θα ήταν εφικτό να επιτύχει η οικονομία, εάν όλοι της οι συντελεστές παραγωγής βρίσκονταν σε κατάσταση πλήρους απασχόλησης (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Η διαφορά του πραγματικού ΑΕΠ μιας οικονομίας από το δυνητικό της προϊόν, αποκαλείται παραγωγικό έλλειμμα και οι λόγοι της ύπαρξής του είναι η μειωμένη διαθεσιμότητα, απασχόληση και αποτελεσματικότητα των συντελεστών. Κυριότερο αίτιο της απόκλισης είναι ο μειωμένος βαθμός απασχόλησης της εργασίας (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005).

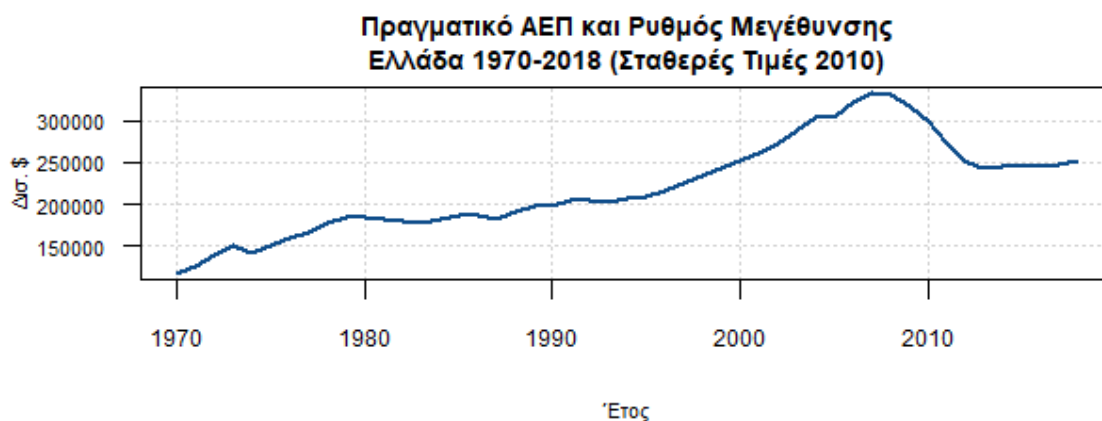
### ***Ακαθάριστο Εθνικό Εισόδημα***

Το εισόδημα που αντιστοιχεί στους πολίτες μιας χώρας, δεν περιορίζεται στο σύνολο της αξίας μόνο των εγχωρίως παραγόμενων προϊόντων και υπηρεσιών. Ένας ακόμη γνωστός τρόπος μέτρησης του εισοδήματος μιας οικονομίας είναι το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (αγγλ. Gross National Income, GNI ή ΑΕΕ). Αυτό αποτελεί το άθροισμα του ΑΕΠ μείον το εισόδημα πληρωτέο από μόνιμους κατοίκους σε μη μόνιμους, συν το εισερχόμενο εισόδημα από τον υπόλοιπο κόσμο. Δηλαδή, αποτελείται από το ΑΕΠ συν το καθαρό εισόδημα από εργασία ημεδαπών στο εξωτερικό, που εισρέουν με τη μορφή εμβάσματος, καθώς και τα καθαρά έσοδα από περιουσία και επιχειρηματική δραστηριότητα ημεδαπών στο εξωτερικό (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005; Eurostat). Φαίνεται λοιπόν, πως το ΑΕΕ είναι πιο ευρύς ορισμός από αυτόν του ΑΕΠ. Η σύγκρισή τους είναι ένας τρόπος να δειχθεί κατά πόσο το ΑΕΠ της χώρας αντικατοπτρίζει εγχώρια ή διεθνή δραστηριότητα.

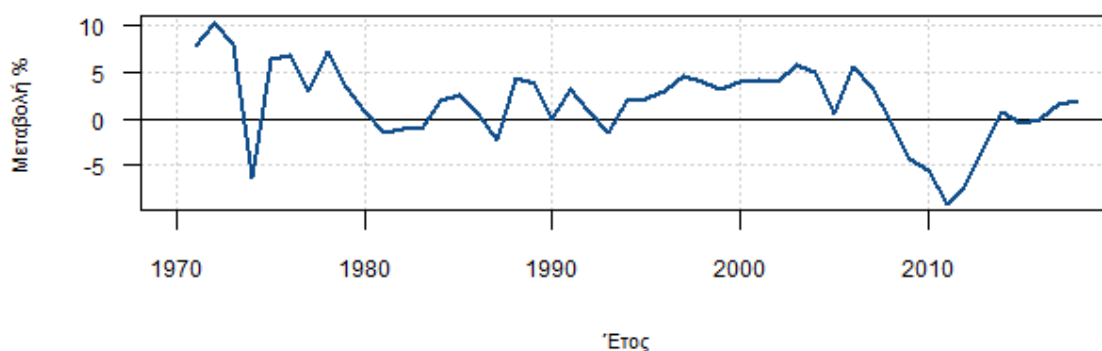
### ***Ρυθμός Μεγέθυνσης ΑΕΠ***

Ο ρυθμός μεγέθυνσης (αγγλ. Growth Rate) ορίζεται ως η ποσοστιαία μεταβολή του Πραγματικού ΑΕΠ. Ακριβώς επειδή πρόκειται για ποσοστιαία μεταβολή, είναι εφικτό να συγκριθεί με τον ρυθμό σε διαφορετικές περιόδους, αλλά και με τον αντίστοιχο διαφορετικών οικονομιών (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Ρυθμός Μεγέθυνσης} = \frac{\text{ΑΕΠ}_t - \text{ΑΕΠ}_{t-1}}{\text{ΑΕΠ}_{t-1}} = \frac{\text{ΑΕΠ}_t}{\text{ΑΕΠ}_{t-1}} - 1$$



2.2 (α) (Πραγματικό ΑΕΠ)



2.2 (β) (Ποσοστιαία Μεταβολή)

### Διάγραμμα 2.2: Πραγματικό ΑΕΠ και Ρυθμός Μεγέθυνσης (Ελλάδα)

Από το Διάγραμμα 2.2 απορρέει πως ο ρυθμός μεγέθυνσης της Ελληνικής οικονομίας, παρά την απότομη πτώση σε αρνητική τιμή τα μέσα της δεκαετίας του 1970, ήταν αρκετά υψηλός μέχρι τα τέλη της δεκαετίας αυτής. Ακολούθησε περίοδος χαμηλής αύξησης της παραγωγής με ρυθμό κοντά στο μηδέν. Οι Κατσέλη και Μαγουλά (2005) παρατηρούν πως οι ρυθμοί μεγέθυνσης των Ευρωπαϊκών χωρών γενικά ακολούθησαν παρόμοια τάση, δηλαδή μετριασμένο ρυθμό μεγέθυνσης έπειτα το 1979, κρατώντας ιδιαίτερα υψηλό ρυθμό έως τότε. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η χώρα πέρασε από μια μακρά περίοδο οικονομικής μεγέθυνσης, διατηρώντας θετικό ρυθμό. Ο ρυθμός μεγέθυνσης της Ελληνικής οικονομίας μειώθηκε απότομα, και μάλιστα έμεινε σε αρνητικές τιμές για κάποια χρόνια, μετά το ξέσπασμα της παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης του 2008 και της Ελληνικής κρίσης χρέους που ακολούθησε. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός πως οι τιμές δείχνουν επιβράδυνση και επιτάχυνση της παραγωγής κατά περιόδους.

Η παρατήρηση των διακυμάνσεων του ρυθμού μεγέθυνσης ωθεί τους επιστήμονες, να αναρωτηθούν σχετικά με τους παράγοντες, από τους οποίους επηρεάζεται. Κατά συνέπεια, το θέμα αυτό αποτελεί αντικείμενο εμπειρικής μελέτης και θεωρητικής αναζήτησης. Οι

παράγοντες που έχουν προταθεί, έχουν να κάνουν κυρίως με τη διάρθρωση της οικονομίας και συμπεριλαμβάνουν (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005):

- Μεταβολές της σύνθεσης και της αποδοτικότητας δυναμικού που ασκούν άμεση επιρροή στο επίπεδο της παραγωγικότητας της εργασίας.
- Τεχνολογικές και οργανωτικές εξελίξεις που αλλάζουν μεταλλάζουν σημαντικά την παραγωγική διαδικασία.
- Αλλαγές στις ρυθμίσεις και τους κανόνες (δηλαδή στο ρυθμιστικό πλαίσιο) που καθορίζουν την επιχειρηματική δραστηριότητα.
- Μεταβολή στο επίπεδο της «δυναμικής γνωστικότητας» της εκάστοτε κοινωνίας, ή με άλλα λόγια στην εκπαίδευση και τις δεξιότητες του ανθρώπινου δυναμικού της.

Όπως έχει ήδη επισημανθεί, ο ρυθμός μεγέθυνσης παρουσιάζει απότομες μεταβολές. Εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις κατά τις οποίες μια οικονομία μεταφέρεται συχνά και γοργά σε κατάσταση ύφεσης και από εκεί σε ανάκαμψη. Με τον όρο «ύφεση» εννοείται η περίοδος που εμφανίζεται επιβράδυνση του ρυθμού μεγέθυνσης, ενώ αντιθέτως ο όρος «ανάκαμψη» αναφέρεται σε περιόδους επιτάχυνσής του. Οι αλλαγές από ύφεση σε ανάκαμψη ονομάζονται «οικονομικός κύκλος» (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Οι οικονομολόγοι γενικά συμφωνούν πως οι κύκλοι αυτοί είναι συχνά αποτελέσματα μεταβολών στο εξωτερικό περιβάλλον της χώρας, ενώ αιτία δύναται να αποτελούν και άλλοι συγκυριακοί παράγοντες όπως είναι οι κλιματικές συνθήκες που επηρεάζουν άμεσα την παραγωγή. Είναι επίσης πιθανό να οφείλονται σε αλλαγές της οικονομικής συμπεριφοράς των θεσμικών μονάδων, ή σε γενικότερες αλλαγές στην οικονομική πολιτική της χώρας, όπως στη φορολογία τις δημόσιες επενδύσεις, ακόμα και στη συναλλαγματική ισοτιμία του νομίσματος (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005).

### ***Κατά Κεφαλήν ΑΕΠ***

Παρά τα όσα αναφέρονται παραπάνω, δεν είναι συνετό να θεωρεί κανείς πως υψηλά επίπεδα ΑΕΠ από μόνα τους ισοδυναμούν με αντίστοιχα επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης. Ένα μέγεθος που κρίνεται πιο κατάλληλο για τον σκοπό αυτό, είναι το κατά κεφαλήν ΑΕΠ (αγγλ. GDP per Capita). Αυτό υπολογίζεται διαιρώντας το πραγματικό ΑΕΠ με τον πληθυσμό της αντίστοιχης χώρας (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Δίνεται δηλαδή από τον τύπο:

$$ΑΕΠ_{κατά\ κεφαλήν} = \frac{Πραγματικό\ ΑΕΠ}{Πληθυσμός}$$

Τα στατιστικά δείχνουν πως οι πιο ανεπτυγμένες χώρες είναι πράγματι αυτές στις οποίες παρατηρούνται μεγαλύτερα επίπεδα κατά κεφαλήν ΑΕΠ. Ακριβώς επειδή κρίνεται σημαντικό το μέγεθος, το επίπεδό του δημοσιεύεται σε τετραμηνιαία βάση από τις αρμόδιες αρχές των περισσότερων χωρών. Όμως, ακόμη και αυτό το μέγεθος σε καμία περίπτωση δεν επαρκεί από

μόνο του, για να δοθεί ολοκληρωμένη εικόνα για άλλα χαρακτηριστικά της οικονομίας, όπως η ανισότητα, το επίπεδο της φτώχειας, αλλά και η γενικότερη κοινωνικοοικονομική βελτίωση της χώρας.

## 2.4 Πληθωρισμός και Δείκτες Επιπέδου Τιμών

Ο πληθωρισμός είναι ένα οικονομικό φαινόμενο που βρίσκεται μονίμως στο προσκήνιο, αφού επηρεάζει άμεσα την οικονομική συμπεριφορά των μελών κάθε οικονομίας. Πριν γίνει ανάλυση των συνεπειών και αποτελεσμάτων του, κρίνεται σκόπιμος ο ορισμός του φαινομένου αυτού. Γενικά, ο πληθωρισμός ορίζεται ως ο θετικός ποσοστιαίος ρυθμός μεταβολής του γενικού επιπέδου τιμών σε μία χρονική περίοδο (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Μαθηματικά και συνήθως συμβολίζοντας με το γράμμα P το επίπεδο τιμών, ο ορισμός του πληθωρισμού εκφράζεται σε μορφή εξίσωσης ως εξής:

$$\dot{P} = \frac{\Delta P}{P} = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_t}, \dot{P} > 0$$

Η αύξηση του επιπέδου τιμών συνεπάγεται μείωση του πραγματικού εισοδήματος. Αυτό σημαίνει πως ένα εισόδημα, δεδομένου ότι μένει σταθερό, είναι σε θέση να αγοράσει λιγότερα αγαθά και υπηρεσίες. Προκύπτει λοιπόν επαγωγικά, πως ως πληθωρισμός δύναται να οριστεί και η ποσοστιαία μείωση της αγοραστικής δύναμης του ονομαστικού εισοδήματος (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Η αύξηση των τιμών πλήττει περισσότερο τους δημοσίους υπαλλήλους, των οποίων οι συμβάσεις δεν αναπροσαρμόζονται συχνά και γενικότερα άτομα που το εισόδημά τους δεν κινείται μαζί με τις τιμές, όπως οι συνταξιούχοι (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Είναι προφανής ο λόγος που το συγκεκριμένο φαινόμενο κρίνεται υψίστης σημασίας τόσο για πολιτικούς, όσο και για οικονομολόγους. Έτσι, τα αίτια του φαινομένου έχουν αποτελέσει αντικείμενο συζήτησης και έρευνας για πολλά χρόνια.

Οι απόψεις δίστανται σχετικά με τα αίτια του πληθωρισμού. Οι Κατσέλη και Μαγουλά (2005), εξηγούν πως ο πληθωρισμός δύναται να προέρχεται από διαταραχές στη ζήτηση και την προσφορά. Στην πρώτη περίπτωση, την αύξηση των τιμών την προκαλεί η αυξημένη ζήτηση για αγαθά και υπηρεσίες, άρα η αύξηση της συνολικής δαπάνης, οπότε γίνεται λόγος για «πληθωρισμό ζήτησης». Αύξηση του επιπέδου τιμών μπορεί να προέλθει και από την προσφορά. Συγκεκριμένα, είναι πιθανό, κάποιιοι παράγοντες να επηρεάσουν το κόστος παραγωγής, μετατοπίζοντας έτσι την καμπύλη συνολικής προσφοράς. Παράγοντες που συντελούν στην αύξηση της τιμής μπορεί να είναι η απαίτηση μεγαλύτερων μισθών από μεριάς εργαζομένων, του περιθωρίου κέρδους από μεριάς εργοδοτών, ακόμα και από την αύξηση του κόστους λόγω ανόδου της τιμής των υλικών (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Πέραν αυτών των βασικών μορφών, ο πληθωρισμός είναι πιθανό να προκληθεί και λόγω των προσαρμοζόμενων

προσδοκιών για άνοδο των τιμών. Αυτό συμβαίνει εάν ο πληθυσμός προσπαθήσει να αντισταθμίσει την άνοδο του επιπέδου τιμών με άνοδο των μισθών, αυξάνοντας έτσι το κόστος παραγωγής, το οποίο τελικά επιβαρύνεται μέσω των αυξημένων τιμών (Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, 2021). Οι απόψεις αυτές είναι συμβατές με την Κεϋνσιανή σχολή σκέψης.

Μία διαφορετική άποψη προσφέρει η λεγόμενη «ποσοτική θεωρία», η οποία αντιμετωπίζει σαν κύρια αιτία του πληθωρισμού τη μεταβολή της ποσότητας του διαθέσιμου χρήματος  $M$ . Θα πρέπει σε αυτό το σημείο, να δοθεί επεξήγηση της έννοιας του χρήματος. Το χρήμα είναι το απόθεμα περιουσιακών στοιχείων, άρα η ποσότητα (άρα η προσφορά) χρήματος είναι η συνολική ποσότητα αυτών των στοιχείων (Mankiw & Ball, 2013). Υπάρχουν διαφορετικές μετρήσεις του χρήματος, ανάλογα τη ρευστότητα των στοιχείων που συμπεριλαμβάνονται σε αυτές. Το  $M1$  αναφέρεται στο νόμισμα, συν τις καταθέσεις όψεως, ταξιδιωτικές επιταγές και λοιπές καταθέσεις από τις οποίες δύναται να εκδοθούν επιταγές. Το  $M2$  περιλαμβάνει το  $M1$ , μαζί με υπόλοιπα αμοιβαίων κεφαλαίων χρηματαγοράς λιανικής, καταθέσεις ταμιευτηρίου και βραχυπρόθεσμες προθεσμιακές καταθέσεις. Το  $M3$  είναι ο ευρύτερος ορισμός και για αυτό αποκαλείται και «Broad Money» (Mankiw & Ball, 2013). Τονίζεται πως δύναται να υπάρχουν μικρές διαφορές στον ορισμό του  $M3$  ανάλογα την αρχή που εκδίδει το μέγεθος. Σύμφωνα με τον ορισμό του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD), σε αυτό περιλαμβάνεται το  $M2$  και επιπλέον προθεσμιακές καταθέσεις με ωρίμανση τουλάχιστον δύο έτη, συμφωνίες επαναγοράς, καταθέσεις υπό προειδοποίηση μέχρι τριών μηνών, χρεόγραφα έως δύο έτη και τίτλοι μεριδίων κεφαλαίων χρηματαγοράς.

Η θεωρία για την οποία γίνεται λόγος, είναι άμεση συνέπεια της ποσοτικής εξίσωσης. Εάν συμβολιστούν με  $M$  η προσφορά χρήματος,  $V$  η ταχύτητα κυκλοφορίας του,  $P$  το επίπεδο τιμών και  $T$  το πλήθος συναλλαγών εντός κάποιας περιόδου, τότε η εξίσωση έχει τη μορφή:

$$M \times V = P \times Y$$

Η κλασική υπόθεση που γίνεται για την απλούστευση του μοντέλου, είναι αυτή της σταθερής ταχύτητας κυκλοφορίας του χρήματος. Θεωρείται δηλαδή, πως  $V = \bar{V}$ . Με την αποδοχή της υπόθεσης, η εξίσωση παίρνει την εξής μορφή:

$$M \times \bar{V} = P \times Y$$

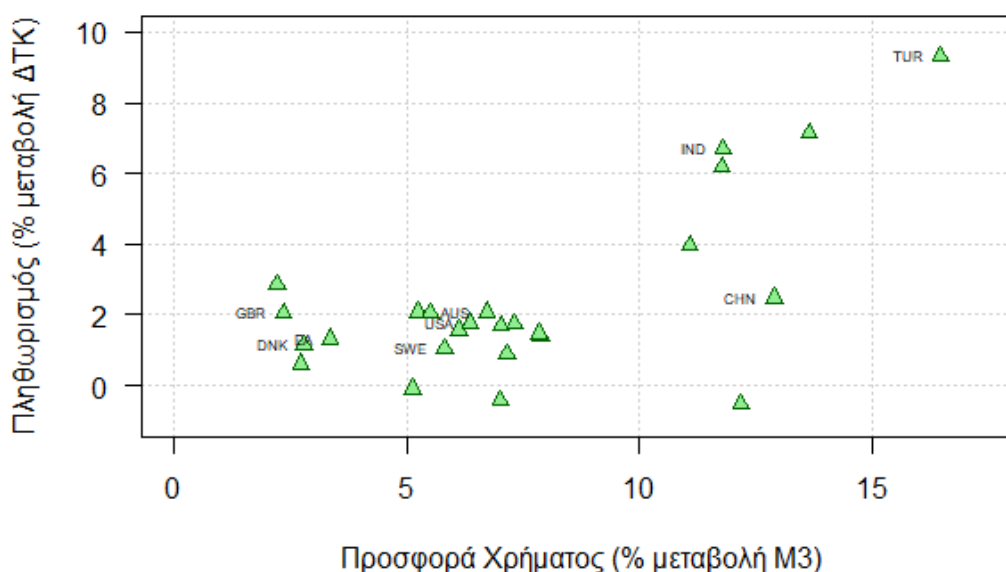
Από την τελευταία μορφή της εξίσωσης, προκύπτει μία θεωρία επεξήγησης του ονομαστικού Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος μιας χώρας ( $PY$ ). Οι συντελεστές παραγωγής καθορίζουν το ύψος της παραγωγής ( $Y$ ), ενώ η ποσότητα του χρήματος ( $M$ ) ορίζει την ονομαστική αξία της παραγωγής αυτής ( $PY$ ). Κατά συνέπεια, το επίπεδο τιμών  $P$  είναι ο λόγος της ονομαστικής αξίας προς το ύψος της παραγωγής ( $\frac{PY}{Y}$ ).

Η ίδια αυτή ταυτότητα ενδιαφέρει σε μορφή ποσοστιαίων μεταβολών, αφού ο πληθωρισμός είναι η ποσοστιαία μεταβολή του επιπέδου τιμών. Σε όρους ποσοστιαίων μεταβολών, η ποσοτική εξίσωση έχει τη μορφή:

$$\% \text{ Μεταβολή } M + \% \text{ Μεταβολή } V = \% \text{ Μεταβολή } P + \% \text{ Μεταβολή } Y$$

Όπως έχει ήδη επισημανθεί, η ταχύτητα κυκλοφορίας του χρήματος θεωρείται σταθερή, πράγμα που σημαίνει, πως, υπό την υπόθεση αυτή, η ποσοστιαία μεταβολή της είναι μηδενική. Άρα, μία ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας του χρήματος, η οποία ελέγχεται από την Κεντρική Τράπεζα, προκαλεί αντίστοιχη ποσοστιαία μεταβολή του επιπέδου του πραγματικού προϊόντος της οικονομίας (Mankiw & Ball, 2013). Από τις μεταβλητές που συγκροτούν το πραγματικό ΑΕΠ, το επίπεδο προϊόντος  $Y$ , καθορίζεται από τους συντελεστές παραγωγής και την τεχνολογική πρόοδο, ενώ η μεταβολή του επιπέδου τιμών  $P$  είναι ο πληθωρισμός. Η ποσοτική θεωρία του χρήματος ουσιαστικά δείχνει, πως η Κεντρική Τράπεζα της οικονομίας ή της ένωσης έχει τον έλεγχο επί του πληθωρισμού (Mankiw & Ball, 2013).

### Προσφορά Χρήματος και Πληθωρισμός



**Διάγραμμα 2.3: Μεταβολή Ποσότητας Χρήματος και Πληθωρισμός**

Στο Διάγραμμα 2.2 απεικονίζεται η μέση μεταβολή του χρήματος, όπως μετρείται στην ποσότητα M3, δηλαδή το πιο ευρύ μέτρο υπολογισμού του χρήματος, μαζί με τον μέσο πληθωρισμό, την οκταετία 2009-16, για 23 χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD) και την Ευρωζώνη. Τα δεδομένα για το M3 παρέχονται από στατιστικούς πίνακες του Διεθνούς Νομισματικού Ταμείου και του OECD, ενώ οι τιμές του ΔΤΚ από τη World Bank. Αριστερά από τα σημεία που αντιστοιχούν σε παρατηρήσεις, δίνονται επιπρόσθετα και οι κωδικοί ISO 3166-1 Alpha-3 κάποιων οικονομιών και της Ευρωζώνης.

Ειδικότερα, στο συγκεκριμένο γράφημα διασποράς φαίνεται να υπάρχει θετική γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στα δύο μεγέθη, γεγονός που το καθιστά σύμφωνο με τη θεωρία για τη σχέση μεταξύ των μεγεθών.

Ακόμη μία θεωρία που πραγματεύεται τον ρόλο των προσδοκιών στον πληθωρισμό, είναι η λεγόμενη θεωρία των «ορθολογικών προσδοκιών». Έχοντας σαν βάση τη μονεταριστική θεωρία, η συγκεκριμένη θεωρία αντιμετωπίζει τα άτομα σαν ορθολογικά όντα, που δρουν με στόχο τη μεγιστοποίηση της ωφέλειάς τους και που βασίζουν τις αποφάσεις τους σε υπάρχουσες πληροφορίες και την εμπειρία τους (Muth, 1961). Κάτι τέτοιο κάνει την άσκηση νομισματικής πολιτικής περιπλοκότερη. Εάν, λόγου χάρη, η Κεντρική Τράπεζα αποπειραθεί να ελέγξει τον πληθωρισμό με την άσκηση νομισματικής πολιτικής μέσω της μείωσης επιτοκίων, σε περίπτωση που οι οικονομικοί δρώντες αναμένουν πληθωριστικές τάσεις, ή ακόμη αν δεν έχουν εμπιστοσύνη στην κυβέρνηση να διατηρήσει τη στάση της, ο ίδιος ο πληθωρισμός δεν θα μειωθεί. Τούτο συμβαίνει διότι τα άτομα θα προβούν σε κινήσεις, για να διατηρήσουν την αγοραστική τους δύναμη (αύξηση μισθών), ενώ οι επιχειρήσεις θα χρεώνουν μεγαλύτερες τιμές για να εξασφαλίσουν εξίσου μεγάλο κέρδος. Όπως φαίνεται, ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η άποψη των ατόμων της οικονομίας περί της φερεγγυότητας του ιδρύματος, που χειρίζεται τη νομισματική πολιτική. Οι κινήσεις του ιδρύματος (της Κεντρικής Τράπεζας στο παράδειγμα) θα έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα, δηλαδή τη μείωση του πληθωρισμού, μόνο στην περίπτωση που τα άτομα της οικονομίας δείχνουν εμπιστοσύνη απέναντι σε αυτό (Labonte, 2011).

Παρά τις συνέπειες του πληθωρισμού που αναφέρθηκαν στη δεύτερη παράγραφο της ενότητας, ορισμένοι οικονομολόγοι υποστηρίζουν την άποψη ότι σε χαμηλές τιμές, ενδεχομένως να συντελεί στην επαναφορά της αγοράς εργασίας σε ισορροπία (Mankiw & Ball, 2013). Η πρόταση αυτή έχει να κάνει με το γεγονός πως οι επιχειρήσεις δεν περικόπτουν τα ονομαστικά ημερομίσθιά τους συχνά. Έτσι, εάν υπάρξει απόκλιση της αγοράς εργασίας από τη θέση ισορροπίας της, είτε λόγω αλλαγών στην προσφορά είτε ανάλογων στη ζήτηση, που επηρεάζουν τους μισθούς, η τιμή ισορροπίας των μισθών αλλάζει, αυξάνοντας έτσι την ανεργία στην οικονομία. Ο πληθωρισμός λοιπόν, μετριασμένος, μειώνει ελαφρώς το πραγματικό ημερομίσθιο, υποβοηθώντας την οικονομία να αποφύγει επιπλέον όξυνση του φαινομένου της ανεργίας (Mankiw & Ball, 2013).

Η σημασία του πληθωρισμού για την οικονομία είναι μεγάλη και άρα υπάρχει ανάγκη εκτίμησης του βεληνεκούς του. Πριν λοιπόν να βρίσκονται οι αρμόδιες αρχές σε θέση να υπολογίσουν τη μεταβολή του γενικού επιπέδου τιμών της οικονομίας, πρέπει να υπάρχουν μεγέθη που να αντικατοπτρίζουν το επίπεδο τιμών σε δεδομένη χρονική περίοδο. Για τον κρίσιμο αυτόν σκοπό χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι «τιμάριθμοι». Επιπλέον, λόγω της πληθώρας των διαφορετικών αγαθών και υπηρεσιών που ανταλλάσσονται, που δεν έχουν την

ίδια σχετική σπουδαιότητα, για την εκτίμηση του γενικού επιπέδου τιμών χρησιμοποιούνται σταθμισμένοι δείκτες (Ζαΐρης, 2010)

Οι σταθμισμένοι δείκτες έχουν τη μορφή  $P_{t0} = \sum_i w_i P_{t0}^i$ . Οι τέσσερις κυριότεροι τιμάρημοι που χρησιμοποιούνται είναι οι κατά Laspeyres, Paasche, Fischer και Martiall-Edgeworth. Εξετάζονται οι διαφορές των δεικτών παρακάτω:

- Σε έναν δείκτη κατά **Laspeyres**, τα βάρη υπολογίζονται βάσει του όγκου των προϊόντων κατά την περίοδο βάσης (Ζαΐρης, 2010). Δηλαδή οι σταθμίσεις είναι  $w = p_0 q_0$ , όπου  $p$  η τιμή και  $q$  η ποσότητα. Έτσι, για την περίοδο βάσης 0 και τρέχουσα περίοδο  $t$ , ο δείκτης Laspeyres θα είναι:

$$P_{t0} = \frac{\sum p_0 q_0 \cdot \frac{p_t}{p_0} \cdot 100}{\sum p_0 q_0} = \frac{\sum p_t q_0}{\sum p_0 q_0} \cdot 100$$

- Στον δείκτη τύπου **Paasche**, η στάθμιση γίνεται με βάση την ποσότητα της τρέχουσας περιόδου, αλλά και πάλι σε τιμές βάσης. Με άλλα λόγια, τα βάρη είναι του τύπου  $w_i = p_0 q_1$ . Οπότε ο αντίστοιχος τύπος υπολογισμού του δείκτη είναι:

$$P'_{t0} = \frac{\sum p_0 q_t \cdot \frac{p_t}{p_0} \cdot 100}{\sum p_0 q_t} = \frac{\sum p_t q_t}{\sum p_0 q_t} \cdot 100$$

Σημειώνεται πως για αγαθά για τα οποία ισχύει ο νόμος της ζήτησης, δηλαδή αυτά που ζητούμενη ποσότητά τους αυξάνεται όταν μειώνεται η τιμή, ισχύει σχεδόν πάντοτε  $P_{t0} > P'_{t0}$  (Ζαΐρης, 2010). Εάν όμως η μεταβολές των τιμών και των ποσοτήτων είναι ομόρροπες, τότε δύναται να ισχύει και η αντίθετη σχέση. Οι τιμές των δύο δεικτών είναι ίσες, μόνο σε περίπτωση που οι αντίστοιχες μεταβολές των τιμών και των ποσοτήτων στις δύο χρονικές περιόδους γίνουν με τους ίδιους ρυθμούς (Ζαΐρης, 2010).

- Ο δείκτης τύπου **Fischer**, γνωστός και ως «ιδανικός» δείκτης, αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων δεικτών, δεδομένου φυσικά ότι είναι εφικτός ο υπολογισμός τους (Ζαΐρης, 2010). Η λογική του είναι η εξής:

$$P_{t0}^{FI} = (P_{t0} \cdot P'_{t0})^{\frac{1}{2}}$$

- Τέλος, ο τιμάρημος κατά Martiall-Edgeworth χρησιμοποιεί ως βάρη τις μέσες ποσότητες των δύο περιόδων για κάθε αγαθό. Χρησιμοποιείται μόνο σε περίπτωση που οι ποσότητες  $q_0, q_1$  είναι γνωστές και υπάρχει μεταξύ τους σημαντική διαφορά (Ζαΐρης, 2010). Ο τύπος υπολογισμού του δείκτη αυτού είναι:

$$P_{t0}^M = \frac{\sum p_t (q_0 + q_t)}{\sum p_0 (q_0 + q_t)} \cdot 100 = \frac{\sum p_t \bar{q}}{\sum p_0 \bar{q}} \cdot 100$$



Για την εκτίμηση του πληθωρισμού, οι οικονομολόγοι χρησιμοποιούν κυρίως τους πρώτους δύο δείκτες, από τους οποίους προκύπτουν οι κυριότεροι δείκτες του επιπέδου τιμών μιας οικονομίας. Αναλύονται παρακάτω οι σημαντικότεροι δείκτες του επιπέδου τιμών που εμφανίζονται τακτικά στη βιβλιογραφία και στην καθημερινότητα.

### ***Δείκτης Τιμών Καταναλωτή (ΔΤΚ)***

Ο Δείκτης Τιμών Καταναλωτή (αγγλ. Consumer Price Index ή CPI, ΔΤΚ) αποτελεί το συχνότερα παρουσιαζόμενο μέτρο του επιπέδου τιμών μιας χώρας. Για τον υπολογισμό του, συλλέγονται σε πρώτη φάση τιμές χιλιάδων προϊόντων και υπηρεσιών, που καταναλώνονται από τα νοικοκυριά της οικονομίας. Αυτά όμως είναι πολυάριθμα και η ίση στάθμισή τους, όπως για παράδειγμα εάν χρησιμοποιούνταν ο μέσος όρος τους σαν δείκτης, θα αποτελούσε σφάλμα, αφού η ζήτησή τους δεν είναι ίδια. Η στατιστική υπηρεσία σταθμίζει τα διάφορα είδη, υπολογίζοντας έτσι ένα καλάθι αγορών, που αντιστοιχεί σε έναν αντιπροσωπευτικό καταναλωτή (Mankiw & Ball, 2013).

### ***Αποπληθωριστής ΑΕΠ***

Από το Ονομαστικό και το Πραγματικό ΑΕΠ, εξάγεται ένας ακόμη σημαντικός δείκτης του επιπέδου τιμών, ο Αποπληθωριστής του ΑΕΠ (αγγλ. GDP Deflator). Ισούται με το πηλίκο του Ονομαστικού με το Πραγματικό ΑΕΠ, ή αλλιώς (Mankiw & Ball, 2013):

$$\frac{\text{Ονομαστικό ΑΕΠ}}{\text{Πραγματικό ΑΕΠ}} = \text{Αποπληθωριστής ΑΕΠ}$$

Πρόκειται για έναν έμμεσο τρόπο υπολογισμού του επιπέδου τιμών και για αυτό, το μέγεθος είναι επίσης γνωστό ως Έμμεσος Αποπληθωριστής Τιμών (αγγλ. Implicit Price Deflator). Αφού το ονομαστικό ΑΕΠ μετρά την τρέχουσα αξία της παραγωγής και το πραγματικό την αξία σε σταθερές τιμές, ο Αποπληθωριστής μετρά τις τιμές των αγαθών και υπηρεσιών την τρέχουσα περίοδο σε σχέση με αυτές στο έτος βάσης (Κατσέλη & Μαγουλά, 2005). Από τον ορισμό του δείκτη, προκύπτει πως μέσω αυτού δίνεται η δυνατότητα διαχωρισμού του ονομαστικού ΑΕΠ σε δύο μέρη: ένα που μετρά την ποσότητα και ένα για τις τιμές (Mankiw & Ball, 2013). Αυτό φαίνεται από τον παραπάνω τύπο, από τον οποίο προκύπτει η σχέση:

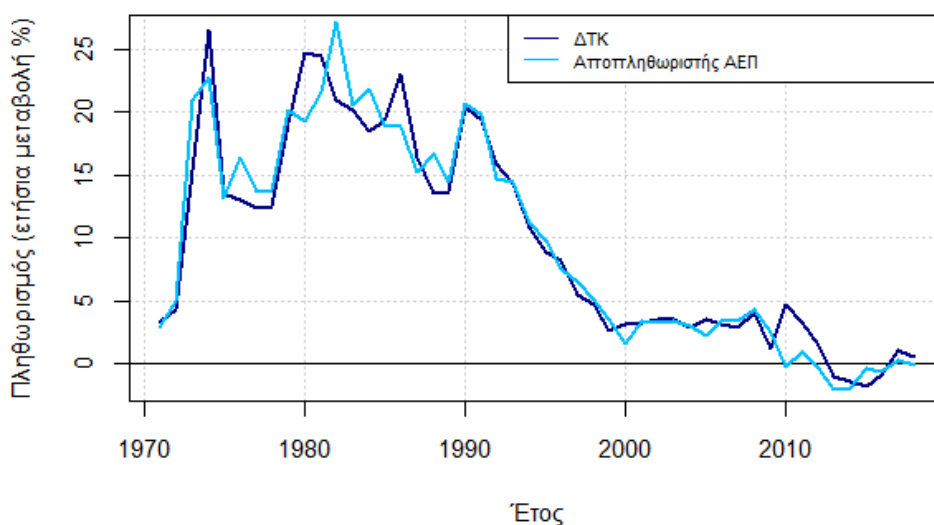
$$\text{Ονομαστικό ΑΕΠ} = \text{Πραγματικό ΑΕΠ} \times \text{Αποπληθωριστής ΑΕΠ}$$

Ο Δείκτης Τιμών Καταναλωτή και ο Αποπληθωριστής του ΑΕΠ είναι δύο μεγέθη που συναντώνται συχνά στη βιβλιογραφία, καθώς και σε διάφορα άρθρα και ειδήσεις. Κρίνεται λοιπόν σημαντική η επισήμανση των διαφορών τους. Η πρώτη διαφορά ανάμεσα στους δύο δείκτες έχει να κάνει με τα αγαθά και υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό τους.

Ο ΔΤΚ υπολογίζεται βάσει προϊόντων και υπηρεσιών που καταναλώνονται από νοικοκυριά. Σε αντίθεση, ο Αποπληθωριστής του ΑΕΠ περιλαμβάνει τις τιμές των αγαθών που παράγει η ίδια η οικονομία. Έτσι, αγαθά ο Αποπληθωριστής δεν αντικατοπτρίζει τις αλλαγές των τιμών των εισαγόμενων προϊόντων, εκ των οποίων αρκετά καταναλώνονται σε συχνή βάση. Η σημαντικότερη διαφορά όμως, έγκειται στον τρόπο με τη μέθοδο που οι δύο δείκτες αθροίζουν τα πολυάριθμα αγαθά και υπηρεσίες. Ο ΔΤΚ, σαν δείκτης κατά Laspeyres, χρησιμοποιεί σταθερά βάρη. Ο Αποπληθωριστής του ΑΕΠ, είναι δείκτης Paasche και άρα τα αγαθά που αποτελούν το καλάθι του μεταβάλλονται, καθώς αλλάζει η σύνθεση του ΑΕΠ της οικονομίας (Mankiw & Ball, 2013).

Το ερώτημα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ποιός δείκτης από τους δύο εκτιμά ικανοποιητικότερα τον πληθωρισμό σε μία οικονομία. Η απάντηση, όπως συμβαίνει συχνά σε τέτοιου τύπου ερωτήματα, είναι ότι κανείς από τους δείκτες δεν υπερέχει σαφώς έναντι του άλλου. Όταν μεταβάλλονται οι τιμές διαφόρων αγαθών και υπηρεσιών του σταθερού καλάθιού του ΔΤΚ κατά διαφορετικά ποσά, ο δείκτης έχει την τάση να υπερεκτιμά την αύξηση του κόστους ζωής (Mankiw & Ball, 2013). Ο λόγος για αυτό, είναι το γεγονός πως ακριβώς επειδή το καλάθι του δεν μεταβάλλεται, το μέγεθος δεν είναι σε θέση να λάβει υπ' όψη το ότι οι καταναλωτές υποκαθιστούν αγαθά. Από την άλλη μεριά, ο Αποπληθωριστής του ΑΕΠ, σαν δείκτης Paasche, αν και έχει ρυθμιζόμενο καλάθι που αναγνωρίζει τις υποκαταστάσεις των προϊόντων, τείνει να υποεκτιμά την αύξηση του κόστους ζωής, αφού δεν φανερώνει την μείωση της ευημερίας που συμβαίνει εξαιτίας τους. Παρά τις διαφορές τους, στην πραγματικότητα τα δύο μεγέθη δεν εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις (Mankiw & Ball, 2013).

**Πληθωρισμός κατά ΔΤΚ και Αποπληθωριστή ΑΕΠ  
(Ελλάδα 1971-2018)**



**Διάγραμμα 2.4: Σύγκριση Δείκτη Τιμών Καταναλωτή και Αποπληθωριστή ΑΕΠ**

Στο Διάγραμμα 2.4 απεικονίζεται ο πληθωρισμός, δηλαδή η ποσοστιαία μεταβολή των τιμών, για την περίοδο 1971-2018, βάσει ΔTK και Αποπληθωριστή ΑΕΠ, για την Ελλάδα. Τα δεδομένα για την κατασκευή του γραφήματος προέρχονται από τη βάση δεδομένων World Development Indicators (WDI) της World Bank. Γίνεται φανερό, πως ενώ οι δύο δείκτες δεν εκτιμούν τον πληθωρισμό πανομοιότυπα και δείχνουν κάποια απόκλιση κατά καιρούς, οι σειρές βρίσκονται πάντοτε αρκετά κοντά. Έτσι, οδηγούν πρακτικά στα ίδια συμπεράσματα όσον αφορά το ρυθμό αύξησης των τιμών σε μια οικονομία. Συγκεκριμένα για την Ελληνική οικονομία, φαίνεται πως οι τιμές αυξήθηκαν με γρήγορους ρυθμούς από τη δεκαετία του 1970 έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Ύστερα, οι ρυθμοί δείχνουν να μειώθηκαν απότομα, ενώ μετά το 2010, ο πληθωρισμός παρέμεινε κοντά στο μηδέν παίρνοντας ακόμη και αρνητικές τιμές (μείωση τιμών) για κάποια έτη.

### ***Δείκτης Τιμών Παραγωγού (ΔΤΠ)***

Ο Δείκτης Τιμών Παραγωγού (αγγλ. Producer's Price Index, PPI ή ΔΤΠ) μετρά διαχρονικά τη μέση μεταβολή των τιμών πώλησης, που εισπράττουν οι ημεδαποί παραγωγοί για τα προϊόντα και υπηρεσίες τους. Οι τιμές που περιλαμβάνονται στον δείκτη, προέρχονται από τις αρχικές συναλλαγές για αρκετά προϊόντα και ορισμένες υπηρεσίες (US Bureau of Labor Statistics). Όπως διαφαίνεται από τους τίτλους των δεικτών, ο Δείκτης Τιμών Καταναλωτή εξετάζει τις τιμές από τη μεριά του καταναλωτή, ενώ ο Δείκτης Τιμών Παραγωγού εκφράζει την οπτική γωνία των παραγωγών. Για την κάλυψη των σταδίων της παραγωγής Το Bureau of Labor Statistics χωρίζει τον δείκτη σε τρεις κατηγορίες: βιομηχανία, εμπορεύματα και ενδιάμεση και τελική ζήτηση βάσει εμπορευμάτων (FD-ID). Έτσι, ο ΔΤΠ κρίνεται σαν αντικειμενικό εργαλείο για την προσαρμογή τιμών σε μακροχρόνιες εμπορικές συμφωνίες (US Bureau of Labor Statistics, 2021). Γενικότερα, ο δείκτης ανακοινώνεται σε μηνιαία βάση. Εξαιρέσεις αποτελούν η Αυστραλία και η Νέα Ζηλανδία, όπου δημοσιεύεται ανά τρίμηνο (OECD).

### ***Δείκτης Τιμών Χονδρικής (WPI)***

Ο Δείκτης Τιμών Παραγωγού είναι νεότερος δείκτης, που έχει αντικαταστήσει σε πολλές χώρες τον παλαιότερο Δείκτη Τιμών Χονδρικής (αγγλ. Wholesale Price Index, WPI). Ο τελευταίος αυτός τιμάριθμος, μετρά τις αλλαγές των τιμών, που θέτουν κατασκευαστές και έμποροι χονδρικής (Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, 2019). Υπολογίζεται βάσει τιμών που χρεώνονται από τους κατασκευαστές σε εμπόρους χονδρικής, ή από τους εμπόρους χονδρικής σε εμπόρους λιανικής, ή κάποιον συνδυασμό. Σε κάθε περίπτωση πάντως, πρόκειται για τιμές πριν το επίπεδο λιανικής πώλησης. Τα προϊόντα που περιλαμβάνει ο δείκτης,

ποικίλουν αναλόγως τη χώρα και τα αγαθά του δείκτη μιας χώρας δύναται να μεταβληθούν, για να αντανakλάται καλύτερα η εικόνα της οικονομίας. Τα βάρη για τον δείκτη βασίζονται στις σχετικές πωλήσεις των αγαθών (Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, 2019).

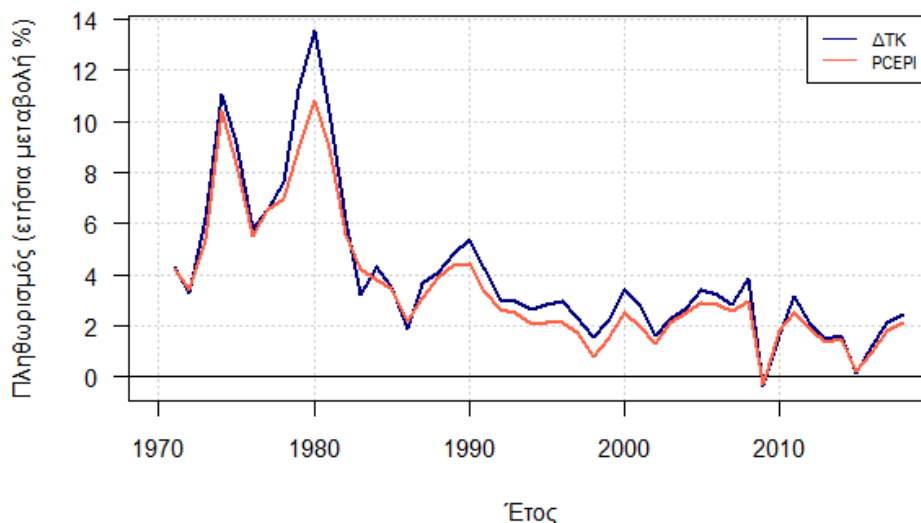
Είναι προφανές πως η μετάβαση από τον WPI στον Δείκτη Τιμών Παραγωγού είναι λογική. Ο ΔΤΠ είναι πιο λεπτομερής, αφού περιλαμβάνει υπηρεσίες και αφαιρεί τους έμμεσους φόρους από τον υπολογισμό. Επιπλέον, στον υπολογισμό του WPI συχνά μετρούνται πολλαπλές φορές κάποια αγαθά, κατά τη διαδικασία μέτρησης αγαθών στα διαφορετικά στάδια της παραγωγής. Η χρήση των τριών δεικτών του ΔΤΠ ενισχύει τον δείκτη απέναντι στη μεροληψία, που προκύπτει εξαιτίας της μεθόδου υπολογισμού του (Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, 2019).

### ***Personal Consumption Expenditure Price Index (PCEPI)***

Το Γραφείο Οικονομικής Ανάλυσης των Ηνωμένων Πολιτειών υπολογίζει έναν ακόμη δείκτη, τον Private Consumption Expenditure Price Index ή PCE (σημειώνεται πως δεν φαίνεται να υπάρχει επίσημη ονομασία στην Ελληνική γλώσσα). Εκδίδεται σε μηνιαία βάση στις αναφορές προσωπικού εισοδήματος και δαπανών. Τα τριμηνιαία και ετήσια δεδομένα εκδίδονται μαζί με το ΑΕΠ, στις αναφορές του τελευταίου. Ο δείκτης εκφράζει τις τιμές αγαθών και υπηρεσιών που αγοράζονται από νοικοκυριά (Bureau of Economic Analysis, 2021). Από το 2012, η Ομοσπονδιακή Τράπεζα Αποθεμάτων των Η.Π.Α χρησιμοποιεί τον PCEPI σαν κύριο μέτρο του πληθωρισμού, για τη λήψη αποφάσεων στα πλαίσια νομισματικής πολιτικής (Board of Governors of the Federal Reserve System, 2012).

Η λογική με την οποία σχηματίζεται ο δείκτης είναι παρόμοια με αυτή του ΔΤΚ και για αυτό οι δύο παρουσιάζονται μαζί και συγκρίνονται. Υπάρχουν, όμως, αρκετές διαφορές που τους διαχωρίζουν και για αυτό παρατηρείται διαφορά στη συμπεριφορά των σειρών τους (Bureau of Economic Analysis, 2020). Αρχικά, οι τύποι υπολογισμού τους διαφέρουν. Ο PCEPI είναι δείκτης τύπου Fischer και άρα αλυσιδωτός, σε αντίθεση με τον ΔΤΚ που είναι τύπου Laspeyres με σταθερά βάρη. Δεύτερον, τα δεδομένα για τα βάρη αποκτώνται από διαφορετικές πηγές. Τα δεδομένα για τον ΔΤΚ λαμβάνονται από έρευνες σε νοικοκυριά, ενώ δεδομένα για τον PCEPI αποκτώνται από έρευνες σε εταιρίες. Τρίτον, οι δείκτες δεν πραγματεύονται τα ίδια ακριβώς προϊόντα. Για τον ΔΤΚ λαμβάνονται υπόψη έξοδα όλων των αστικών νοικοκυριών, ενώ για τον PCEPI τα έξοδα τόσο των ίδιων των νοικοκυριών, όσο και των μη κερδοσκοπικών ιδρυμάτων που τα εξυπηρετούν. Ο δεύτερος έχει δηλαδή, μεγαλύτερο εύρος όσον αφορά τα αγαθά και τις υπηρεσίες που περιλαμβάνονται σε αυτόν. Τέλος, εντοπίζονται επιπλέον διαφορές, σχετικά με την εποχική προσαρμογή, τις τιμές και αποκλίσεις υπολοίπου (McCully, Moyer, & Stewart, 2007).

### Πληθωρισμός κατά ΔTK και PCEPI (Η.Π.Α. 1971-2018)



**Διάγραμμα 2.5: Σύγκριση Δείκτη Τιμών Καταναλωτή και PCE Price Index**

Το Διάγραμμα 2.5 απεικονίζει τον πληθωρισμό στις Η.Π.Α. για την περίοδο 1971-2018, όπως υπολογίζεται μέσω ΔTK και PCEPI. Όπως και για το προηγούμενο σχήμα, τα δεδομένα έχουν ληφθεί από τη βάση WDI της World Bank. Από το Διάγραμμα διαφαίνεται πως οι δύο δείκτες δεν εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις. Εξάιρεση αποτελεί η κορύφωση των τιμών το 1980, που αντιστοιχεί στην Β' Πετρελαϊκή Κρίση. Έχει ενδιαφέρον όμως, το γεγονός πως η καμπύλη που σχηματίζουν οι τιμές του πληθωρισμού βάσει ΔTK, βρίσκεται σχεδόν πάντοτε πάνω από την αντίστοιχη καμπύλη του δείκτη PCEPI, ενώ επιπλέον, η πρώτη παρουσιάζει γενικότερα μεγαλύτερες διακυμάνσεις. Αυτό οφείλεται στις διαφορές του υπολογισμού των δύο δεικτών που αναφέρονται σε προηγούμενη παράγραφο. Ο ΔTK έχει την τάση να επηρεάζεται από μεγάλες μεταβολές των τιμών κάποιων αγαθών, όπως είναι η βενζίνη. Ο PCEPI αντικατοπτρίζει την υποκατάσταση κάποιων αγαθών καλύτερα.

## 2.5 Οικονομική Ανάπτυξη, Ενέργεια και ο Ρόλος της Πράσινης Ενέργειας

Δεν υπάρχει αμφιβολία σχετικά με την κρισιμότητα της ενέργειας για την κοινωνία. Ουσιαστικά, η ενέργεια αποτελεί το «αίμα» της, αφού η ευημερία του πληθυσμού, η βιομηχανία και η ίδια η οικονομία γενικότερα εξαρτώνται άμεσα, από τη δυνατότητα πρόσβασης σε επαρκή και φθηνή ενέργεια (Commission of the European Communities CEC, 2010). Είναι φυσιολογικό έτσι, οι πιο ανεπτυγμένες χώρες να εμφανίζουν και μεγαλύτερη ζήτηση για ενέργεια. Παρά όμως το απλό αυτό σκεπτικό, στην πραγματικότητα, η σχέση μεταξύ οικονομικής μεγέθυνσης και της ενέργειας είναι αρκετά περίπλοκη, ώστε να έχει γίνει

αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης, ιδιαίτερα όσον αφορά την κατεύθυνση της αιτιότητας ανάμεσα στα μεγέθη.

Για την επαρκή κατανόηση της σχέσης ανάμεσα στα δύο μεγέθη, κρίνεται σημαντικός ο προσδιορισμός του τρόπου που πραγματώνεται η οικονομική μεγέθυνση. Η μεγέθυνση, γενικά, επιτυγχάνεται με δύο τρόπους: Με την αύξηση των πόρων στη διαδικασία παραγωγής και με την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση των υπαρχόντων πόρων (Tietenberg & Lewis, 2010). Βάσει νεοκλασικών οικονομικών, οι πόροι στους οποίους αναφέρεται η πρόταση, είναι το κεφάλαιο ( $K$ ) και η εργασία ( $L$ ), δηλαδή ότι η συνάρτηση παραγωγής είναι:  $F(K, L)$  (Mankiw & Ball, 2013). Μία αύξηση στα μεγέθη αυτά, είναι φυσικό να ενισχύσει την παραγωγή. Όμως, δεν πρέπει να αμεληθεί ο ρόλος των φθινουσών αποδόσεων της εργασίας. Θεωρείται δηλαδή, πως η συνεχόμενη αύξηση της εργασίας θα αποδίδει προοδευτικά μικρότερες αυξήσεις του παραγόμενου προϊόντος και μάλιστα μετά από ένα σημείο, η επιπλέον προσθήκη εργασίας επηρεάζει αρνητικά την παραγωγή (Tietenberg & Lewis, 2010). Η τεχνολογική πρόοδος δίνει τη δυνατότητα πραγματοποίησης ενεργειών με λιγότερες φθορές. Επιτρέπει δηλαδή, την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση διαθέσιμων πόρων, ενισχύοντας έτσι την παραγωγή και δημιουργώντας συνθήκες μεγέθυνσης (Tietenberg & Lewis, 2010). Η γνώση που σχετίζεται με την τεχνολογία (R&D) μπορεί να θεωρηθεί μία μορφή κεφαλαίου, η οποία αποτελεί δημόσιο αγαθό και επιπρόσθετα προκαλεί θετικές εξωτερικότητες (Stern, 2004).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της σχέσης της ενέργειας με τους δύο βασικούς πόρους που προσδιορίζουν το επίπεδο της παραγωγής, δηλαδή του κεφαλαίου και της εργασίας. Με την κατανόηση της σχέσης των μεγεθών αυτών με την ενέργεια, γίνεται εφικτή η εξαγωγή συμπεράσματος για το ρόλο της ενέργειας στην ανάπτυξη. Οι Tietenberg και Lewis (2010) επισημαίνουν πως η ενέργεια και το κεφάλαιο αποτελούν συμπληρωματικά αγαθά, ενώ επίσης αναφέρονται στην ενέργεια σαν (έως ένα βαθμό) υποκατάστατο της εργασίας. Η περίοδος 1973-74, κατά την οποία σημειώθηκαν αυξήσεις των τιμών, προσέφερε μεγάλη ευκαιρία για τους ερευνητές που απασχολήθηκαν με το αντικείμενο. Οι προτάσεις δείχνουν να επαληθεύονται από τα ευρήματα, που δείχνουν πως οι αυξήσεις των τιμών της ενέργειας επιβράδυναν το σχηματισμό κεφαλαίου (μικρότερες επενδύσεις), ενώ η μέση παραγωγικότητα της εργασίας πράγματι μειώθηκε, με την αύξηση της χρήσης της (Tietenberg & Lewis, 2010).

Η εισαγωγή της διαθεσιμότητας των πόρων σε κάποιο μοντέλο μεγέθυνσης, το περιπλέκει περαιτέρω. Γενικότερα, όταν υπάρχουν περισσότερες της μίας εισροής, η μεγέθυνση δύναται να ακολουθήσει διαφορετικές κατευθύνσεις. Η πορεία που τελικά θα ακολουθήσει, εξαρτάται από τους θεσμικούς μηχανισμούς (Stern, 2004). Πέραν αυτού όμως, η εξαντλησιμότητα των πόρων καθιστά δυσκολότερο και το ζήτημα της βιωσιμότητας της μεγέθυνσης. Σύμφωνα με τη νεοκλασική βιβλιογραφία αναφορικά με τους πόρους και τη μεγέθυνση, η δυνατότητα συνεχόμενης μεγέθυνσης καθορίζεται από τον συνδυασμό θεσμικών συνθηκών, όπως είναι η

διάρθρωση της αγοράς, αλλά και τεχνικών, στις οποίες περιλαμβάνονται τα ποσοστά ανανεώσιμων και μη πηγών, οι διαθέσιμοι φυσικοί πόροι, το αρχικό απόθεμα κεφαλαίου και η δυνατότητα υποκατάστασης μεταξύ εισροών (Stern, 2004). Μία παρατήρηση που προξενεί τον ενδιαφέρον διαφόρων ερευνητών, είναι πως οι χώρες με τα μεγαλύτερα αποθέματα φυσικών πόρων, εμφανίζουν πιο αργούς ρυθμούς οικονομικής μεγέθυνσης (Tietenberg & Lewis, 2010).

Η οικονομική μεγέθυνση και η χρήση ενέργειας, για λόγους που εξηγήθηκαν, ακολουθούσαν κοινή πορεία από παλαιότερα χρόνια. Η κοινή αυτή πορεία των μεγεθών όμως, φαίνεται πως διασπάται τις πιο πρόσφατες περιόδους, καθώς η κατανάλωση ενέργειας δείχνει να επηρεάζεται από παράγοντες πέραν του επιπέδου παραγωγής της εκάστοτε οικονομίας. Αρχικά, η τεχνολογία και η επίγνωση των πολιτών έχουν συμβάλει στην αποτελεσματικότερη χρήση των πηγών. Επιπλέον, μέσω της τεχνολογίας έχει επιτευχθεί η ηλεκτροποίηση πολλών μέσων, ειδικά όσων σχετίζονται με τη μετακίνηση (Sharma, Smeets, & Tryggestad, 2019). Μία ακόμη αλλαγή έχει να κάνει με τη μετατροπή ορισμένων γρήγορα αναπτυσσόμενων οικονομιών, από βιομηχανικές σε οικονομίες υπηρεσιών. Η μετάβαση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της έντασης της ενέργειας. Η σημαντικότερη όμως αλλαγή, φαίνεται πως είναι η συνεχόμενη επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τάση η οποία ίσως και να περιέχει τη δυνατότητα να αλλάξει ολόκληρο τον κλάδο της ενέργειας τα επόμενα χρόνια και ίσως ακόμη και να εξομαλύνει τη ζήτηση για ενέργεια (Sharma, Smeets, & Tryggestad, 2019).

Η μείζων πρόκληση της εποχής, όπως αναφέρουν οι Tietenberg και Lewis (2010), είναι η περεταίρω ανάπτυξη με στόχο τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και την αντιμετώπιση της παγκόσμιας φτώχειας, υπό τους περιορισμούς που επιφέρει η χρήση ενέργειας, δηλαδή χωρίς να τίθενται σε κίνδυνο το περιβάλλον και το απόθεμα πόρων για το μέλλον. Εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου και των λοιπών περιβαλλοντικών προβλημάτων που επιφέρει η εντατική χρήση των ορυκτών καυσίμων, τα τελευταία χρόνια, έχει δοθεί έμφαση στην πιο εντατική χρήση (των ανεξάντλητων) ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έτσι, ο κλάδος των ανανεώσιμων πηγών έχει γνωρίσει αρκετά γοργή ανάπτυξη και η πράσινη ενέργεια έχει αποκτήσει σημαντικό μερίδιο στον τομέα της ενέργειας. Μάλιστα, το 2018, η κατανάλωση από μοντέρνες ανανεώσιμες πηγές (πλην της βιομάζας) αποτέλεσε το 11% της παγκόσμιας τελικής κατανάλωσης ενέργειας (REN21, 2020).

Δεδομένων των παραπάνω περιορισμών, φαίνεται πως για τον σχεδιασμό οποιασδήποτε ενεργειακής πολιτικής, θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη, όχι μόνο οι άμεσες απαιτήσεις για ενεργειακούς πόρους, αλλά οι τις μελλοντικές οικονομικές και περιβαλλοντικές ανάγκες. Με άλλα λόγια, είναι υψίστης σημασίας η εξισορρόπηση των θέλων των παρόντων γενεών, με αυτά των μελλοντικών γενεών. Έτσι, σε κάθε όραμα για βιώσιμη ανάπτυξη τα επόμενα έτη,

επισημαίνεται η ανάγκη για την αύξηση της αποτελεσματικότητας στη χρήση ενέργειας (Tietenberg & Lewis, 2010).

Επισημαίνεται, ότι η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, δεν φαίνεται να έχει την ίδια προτεραιότητα για όλες τις χώρες, κάτι που κρίνεται απόλυτα φυσιολογικό. Σε περισσότερο ανεπτυγμένες χώρες με ισχυρότερη οικονομία, παρατηρείται μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση απέναντι σε περιβαλλοντικά ζητήματα. Επιπλέον, τέτοιες οικονομίες βρίσκονται και σε θέση να δώσουν έμφαση προς αυτά, διαθέτοντας κατάλληλα μέσα. Αντίθετα, σε χώρες με χαμηλότερο εισόδημα, στις οποίες καταβάλλεται προσπάθεια για ταχύτερη μεγέθυνση, η στροφή προς ανανεώσιμες πηγές και η διατήρηση του περιβάλλοντος, δείχνουν να αποτελούν δευτερεύοντα ζητήματα (Akarsu & Korusu, 2019). Σαν αποτέλεσμα, η ρύπανση είναι μεγαλύτερη σε μεγάλες πόλεις των χωρών με μικρότερο εισόδημα, ή γρήγορα αναπτυσσόμενων χωρών (Tietenberg & Lewis, 2010).

Όπως διαφαίνεται από τα παραπάνω, δύο είναι οι λόγοι για τους οποίους ο προσδιορισμός της σχέσης ανάμεσα στην ενέργεια και άλλα μακροοικονομικά μεγέθη κρίνεται σημαντικός. Πρώτον, πληροφορίες σχετικά με την κατεύθυνση της αιτιότητας ανάμεσα στα σημαντικά και γνωστά αυτά μεγέθη και τη χρήση των πηγών ενέργειας, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα λήψης καλύτερων αποφάσεων για την ενεργειακή πολιτική της χώρας ή ένωσης από πολιτικά πρόσωπα, ιδιαίτερα εάν είναι συγκεκριμένος ο στόχος. Δεύτερον, ενισχύει την ακαδημαϊκή βιβλιογραφία για το αντικείμενο, στο οποίο ενώ έχει δοθεί αρκετή έμφαση τις τελευταίες δεκαετίες, παρατηρείται γενικότερα μεγάλη ανομοιότητα των συμπερασμάτων (Fuinhas, Marques, & Couto, 2015).

## **2.6 Ανακεφαλαίωση**

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύχθηκαν βασικές μακροοικονομικές έννοιες που πραγματεύεται η συγκεκριμένη έρευνα. Αρχικά δόθηκε ο σκοπός του κλάδου της μακροοικονομικής, οι λόγοι που αυτός καθίσταται σημαντικός, καθώς και τα διαθέσιμα εργαλεία των οικονομολόγων για την εξέταση του αντικειμένου του κλάδου. Έχοντας αυτά ως βάση, αναλύθηκαν οι δείκτες οικονομικής μεγέθυνσης και εξηγήθηκαν οι διαφορές και πλεονεκτήματα καθενός από αυτούς. Αντίστοιχη ανάλυση έγινε και για τον πληθωρισμό, για τον οποίο, έπειτα από σύντομη αναφορά στις πιο βασικές θεωρίες για τα αίτιά του, εξετάστηκαν οι τιμάριθμοι μέτρησής του. Τέλος, εξηγήθηκε η σύνδεση ανάμεσα στην οικονομική δραστηριότητα και την ενέργεια.

Η μακροοικονομική είναι ο κλάδος των οικονομικών επιστημών που μελετά τη δραστηριότητα της οικονομίας συνολικά. Αν και αυτό τη φέρνει στο αντίθετο άκρο από τη μικροοικονομική, οι θεωρίες των δύο δεν δύναται να έρχονται σε αντίθεση. Σκοπός της μακροοικονομικής θεωρίας λοιπόν, είναι η κατανόηση της συμπεριφοράς και της διάρθρωσης



της οικονομίας συνολικά, καθώς και η ανάλυση των πολιτικών που ασκούνται για την καλύτερη λειτουργία της. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να μελετηθούν οι σχέσεις ανάμεσα στους διάφορους φορείς οικονομικής δραστηριότητας και να κατανοηθούν οι δυνάμεις που επηρεάζουν τη λειτουργία της οικονομίας. Παρατηρείται, επιπλέον, στενή σχέση ανάμεσα στη μακροοικονομική και την επιστήμη της πολιτικής.

Η οικονομική μεγέθυνση διαφέρει από την οικονομική ανάπτυξη, καθώς πρόκειται για πιο στενή έννοια, που αναφέρεται στο θετικό ρυθμό αύξησης του Ακαθάριστου Εγχωρίου Προϊόντος (ΑΕΠ), του γνωστότερου δείκτη απόδοσης της οικονομίας. Η οικονομική ανάπτυξη είναι όρος με μεγαλύτερο εύρος και περιλαμβάνει γενικότερη βελτίωση της ευημερίας των πολιτών μαζί με τη βελτίωση των δυνατοτήτων της οικονομίας. Υπάρχουν διάφοροι δείκτες μεγέθυνσης που καλύπτουν διαφορετικούς περιορισμούς του ΑΕΠ, όπως το Πραγματικό ΑΕΠ που προσαρμόζει το Ονομαστικό στο επίπεδο τιμών, το Ακαθάριστο Εθνικό Εισόδημα (ΑΕΕ) που περιλαμβάνει τα καθαρά έσοδα από δραστηριότητα στο εξωτερικό, καθώς και το καταλληλότερο Κατά Κεφαλήν ΑΕΠ, το οποίο υπολογίζεται ως το πηλίκο του Πραγματικού ΑΕΠ με τον πληθυσμό.

Ο πληθωρισμός είναι η ποσοστιαία μεταβολή του επιπέδου τιμών. Έτσι, για τον υπολογισμό του απαιτείται η εκ των προτέρων εκτίμηση δείκτη τιμών. Τα τρία κύρια είδη τιμαρίθμων είναι οι κατά Laspeyres, κατά Paasche και οι ιδανικοί δείκτες Fischer. Βάσει αυτών, υπολογίζονται διαφορετικοί δείκτες, εκ των οποίων κυριότεροι είναι ο Δείκτης Τιμών Καταναλωτή (ΔΤΚ) και ο Αποπληθωριστής του ΑΕΠ. Το επίπεδο του πληθωρισμού συνήθως υπολογίζεται ως η ποσοστιαία μεταβολή του ΔΤΚ. Άλλοι γνωστοί δείκτες είναι ο Δείκτης Τιμών Παραγωγού (ΔΤΠ) και ο προκάτοχός του Δείκτης Τιμών Χονδρικής (WPI), ενώ στην Αμερική χρησιμοποιείται τακτικά και ο Private Consumption Expenditure Price Index (PCEPI), τον οποίο οι αρχές πλέον κρίνουν καταλληλότερο από τον ΔΤΚ.

Η σχέση μεταξύ της χρήσης ενέργειας και οι διαθεσιμότητα των πόρων αποτελεί αντικείμενο που έχει ερευνηθεί και αναλυθεί από οικονομολόγους. Η ενέργεια είναι κινητήριος μοχλός της παραγωγής, όμως η εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων έχει δημιουργήσει προβλήματα, των οποίων η αντιμετώπιση βρίσκεται ψηλά στη λίστα προτεραιοτήτων των πιο ανεπτυγμένων χωρών. Η οικονομική μεγέθυνση και η κατανάλωση ενέργειας ακολουθούσαν κοινή πορεία για πολλά έτη, σχέση η οποία έχει μερικώς διασπαστεί για λόγους όπως η άνοδος της χρήσης ηλεκτρικών συσκευών και οχημάτων, η μετάβαση κάποιων οικονομιών σε οικονομίες υπηρεσιών, αλλά κυρίως λόγω της ανέλιξης των ανανεώσιμων πηγών. Οι τελευταίες δείχνουν τα κρατούν το κλειδί για την εξισορρόπηση της μεγέθυνσης της σύγχρονης εποχής με την εύρυθμη λειτουργία του περιβάλλοντος και της οικονομίας των μελλοντικών γενεών.



## Κεφάλαιο 3

### Οικονομετρικές Τεχνικές με Δεδομένα Panel

#### 3.1 Εισαγωγή

Η συστηματική επαλήθευση της θεωρίας οφείλει να αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι κάθε επιστήμης. Η αξιοπιστία μιας θεωρίας εξαρτάται, πέραν από τη λογική της διατύπωση, από την εμπειρική επαλήθευσή της, μέσα από διαθέσιμα πραγματικά δεδομένα. Η Οικονομική Επιστήμη ανήκει στις εμπειρικές επιστήμες, εν αντιθέσει με τα Μαθηματικά που αποτελούν α priori επιστήμη, πράγμα που σημαίνει ότι οι θεωρίες και προτάσεις, που διατυπώνονται στα πλαίσιά της, μπορούν και πρέπει να αξιολογούνται βάσει ελέγχου, με χρήση των παρατηρούμενων δεδομένων από την οικονομική ζωή (Χρήστου, 2011).

Ο κλάδος της Οικονομετρίας ασχολείται με την ποσοτική μεριά των Οικονομικών, με στόχο να αποδώσει εμπειρική διάσταση στις σχέσεις που αναφέρει η αντίστοιχη οικονομική θεωρία. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιούνται συνδυαστικά Μαθηματικά Οικονομικά μαζί με Στατιστική, αφού για να μπορέσει να ελεγχθεί εμπειρικά η θεωρία, θα πρέπει οι οικονομικές σχέσεις να μετατραπούν σε μαθηματικές σχέσεις, δηλαδή σε υποδείγματα προς εκτίμηση (Χρήστου, 2011). Η εκτίμηση των παραμέτρων ενός υποδείγματος γίνεται με μεθόδους που ονομάζονται οικονομετρικές και παρά τη σχέση της Στατιστικής με τον κλάδο, οι κλασικές τεχνικές της τελευταίας συχνά δεν είναι κατάλληλες για ανάλυση οικονομικών δεδομένων, τα οποία σχεδόν πάντοτε δεν προέρχονται από ελεγχόμενο πείραμα. Οι οικονομικές μεταβλητές μεταβάλλονται ταυτοχρόνως και αδιάκοπα, οπότε το εργαστήριο ενός οικονομολόγου είναι η ίδια η πραγματικότητα (Χρήστου, 2011).

Απώτερος σκοπός της Οικονομετρίας είναι ο έλεγχος της οικονομικής θεωρίας, δηλαδή της δυνατότητας της θεωρίας να ερμηνεύει ή να προβλέπει το φαινόμενο. Αυτό δύναται να ελεγχθεί μόνο με πραγματικά δεδομένα. Η θεωρία μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτή εάν επανειλημμένα δεν απορρίπτεται η ορθότητά της (Χρήστου, 2011). Οι τιμές των παραμέτρων των οικονομικών σχέσεων κρίνονται ιδιαίτερα χρήσιμες για την λήψη αποφάσεων για ζητήματα οικονομικής πολιτικής όπως η φορολογία. Επιπρόσθετα, η πρόβλεψη μελλοντικών τιμών σημαντικών οικονομικών μεγεθών δίνει τις βάσεις για πιο ορθολογικό προγραμματισμό και τη λήψη καλύτερων αποφάσεων (Χρήστου, 2011).

Ακριβώς επειδή η σημασία του ελέγχου της θεωρίας είναι τόσο μεγάλη, έχουν αναπτυχθεί κατάλληλες τεχνικές για την εκμετάλλευση διαφόρων τύπων δεδομένων. Η διαθεσιμότητα των δεδομένων δύναται να ποικίλει αναλόγως το αντικείμενο ενδιαφέροντος. Στα πλαίσια της οικονομετρίας, μπορεί να χρησιμοποιηθούν τιμές από διαφορετικές οικονομικές μονάδες, οι

οποίες έχουν ληφθεί την ίδια χρονική περίοδο, δηλαδή καθαρά διαστρωματικά δεδομένα. Μία άλλη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθούν δεδομένα για συγκεκριμένη οικονομική μονάδα που ενδιαφέρει, για έναν αριθμό από συνεχόμενες χρονικές περιόδους. Υπάρχει όμως και η περίπτωση να γίνει χρήση δεδομένων που αποτελούν συνδυασμό των δύο προηγούμενων τύπων.

Στο Κεφάλαιο αυτό, θα αναφερθούν τα συστατικά μέρη μιας έρευνας με συνδυασμό διαστρωματικών δεδομένων με χρονολογικές σειρές. Πιο συγκεκριμένα, αφού δοθούν κάποιες βασικές έννοιες για τα δεδομένα Panel, αναλύονται οι τρόποι εντοπισμού αλληλεξάρτησης μεταξύ των οικονομικών μονάδων, που αποτελεί πολυσυζητημένο αντικείμενο στον κλάδο τις τελευταίες δεκαετίες. Ακολουθώντας, εξηγείται η έννοια της στασιμότητας σε χρονολογικές σειρές και, αφού αναλυθούν τρόποι ελέγχου για παραβίασή της, επεκτείνονται οι αντίστοιχες έννοιες και έλεγχοι σε πλαίσια Panel Data. Τέλος, περιγράφονται οι πιο παραδοσιακές μέθοδοι εκτίμησης με αυτού του τύπου τα δεδομένα, οι υποθέσεις τους και τρόποι για ορθή συμπερασματολογία σε περίπτωση απόκλισης από αυτές.

### 3.2 Δεδομένα Panel

Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί σημαντική αύξηση της χρήσης δεδομένων, που αποτελούν συνδυασμό παραδοσιακών διαστρωματικών στοιχείων με στοιχεία χρονολογικών σειρών. Στην αγγλική γλώσσα, σε δεδομένα αυτού του τύπου αποδίδεται ο όρος *Panel Data* ή, λιγότερο συχνά, ο όρος *Longitudinal Data*. Λόγω έλλειψης αντίστοιχου όρου στην ελληνική, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε ελληνικά συγγράμματα ο ίδιος όρος. Διευκρινίζεται, ότι η λέξη αυτή αναφέρεται σε δεδομένα που απαρτίζονται από μία χρονολογική σειρά ανά διαστρωματική μονάδα. Συνολικά δηλαδή, για κάθε μία εκ των  $N$  οικονομικών μονάδων, αντιστοιχεί μία χρονολογική σειρά  $T$  περιόδων (Χρήστου, 2011).

Για ευκολότερη κατανόηση παρέχεται στον Πίνακα 3.1 παράδειγμα δεδομένων Panel από μέρος του σετ δεδομένων Union Wage, το οποίο είναι άμεσα διαθέσιμο από το πακέτο `rglm` στην R και χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τους Vella και Verbeek (1998). Στο σετ αυτό περιέχονται δεδομένα 545 άτομα, που παρατηρήθηκαν για 8 έτη, για την περίοδο 1980-1987. Πρόκειται, όπως θα διευκρινιστεί παρακάτω, για μικροοικονομικό Panel. Τα δεδομένα αφορούν στοιχεία επαγγελματικά και δημογραφικά και σκοπός ήταν η πρόβλεψη του μισθού. Ειδικότερα, στον πίνακα φαίνονται από αριστερά προς τα δεξιά, για δύο άτομα (δύο `id`), το έτος της παρατήρησης, τα έτη εμπειρίας, δίτιμη μεταβλητή για προβλήματα υγείας, οι ώρες εργασίας, δίτιμες μεταβλητές για τους παντρεμένους και για όσους δρουν στην επαρχία, η σχολή που τελείωσαν, δίτιμη μεταβλητή για το εάν αποτελούν μέλη ένωσης, ο μισθός και ο κλάδος στον οποίο δραστηριοποιούνται.

**Πίνακας 3.1: Παράδειγμα Δεδομένων Panel**

id	year	exper	health	hours	married	rural	school	union	wage	sector
13	1980	1	no	2672	0	no	14	no	1.1975402	businessrepair
13	1981	2	no	2320	0	no	14	yes	1.8530600	personalservice
13	1982	3	no	2940	0	no	14	no	1.3444617	businessrepair
13	1983	4	no	2960	0	no	14	no	1.4332133	businessrepair
13	1984	5	no	3071	0	no	14	no	1.5681251	personalservice
13	1985	6	no	2864	0	no	14	no	1.6998909	businessrepair
13	1986	7	no	2994	0	no	14	no	-0.7202626	businessrepair
13	1987	8	no	2640	0	no	14	no	1.6691879	businessrepair
17	1980	4	no	2484	0	no	13	no	1.6759624	trade
17	1981	5	no	2804	0	no	13	no	1.5183982	trade
17	1982	6	no	2530	0	no	13	no	1.5591905	trade
17	1983	7	no	2340	0	no	13	no	1.7254101	trade
17	1984	8	no	2486	0	no	13	no	1.6220223	trade
17	1985	9	no	2164	0	no	13	no	1.6085883	construction
17	1986	10	no	2749	0	no	13	no	1.5723854	construction
17	1987	11	no	2476	0	no	13	no	1.8203339	construction

Πηγή: Vella και Verbeek, 1998

Ο συγκεκριμένος τρόπος που ορίζονται τα δεδομένα Panel, τα διαχωρίζει από τα Συνδυασμένα Διαστρωματικά Στοιχεία Ανεξάρτητων Δειγμάτων (αγγλ. Independently Pooled Cross Section Data). Τα τελευταία προκύπτουν και πάλι από διαστρωματικά δεδομένα, τα οποία είναι διαθέσιμα για περισσότερες από μία περιόδους, αλλά οι οικονομικές μονάδες που εμπεριέχονται δεν παραμένουν ίδιες για όλες τις περιόδους (Χρήστου, 2011). Συχνά, αναφέρονται στη βιβλιογραφία απλούστερα ως «Pooled Data». Για παράδειγμα, έστω ότι το έτος 2005 ελήφθησαν πληροφορίες για το εισόδημα και την κατανάλωση από τυχαίο δείγμα χιλίων νοικοκυριών, ενώ το έτος 2010 αντλήθηκαν πληροφορίες για ένα διαφορετικό τυχαίο δείγμα χιλίων νοικοκυριών. Από την ενοποίηση των δύο δειγμάτων, προκύπτει μεγαλύτερο δείγμα, που όμως δεν είναι Panel, αφού τα νοικοκυριά από τα δύο τυχαία δείγματα, είναι πρακτικά απίθανο να είναι τα ίδια. Σημειώνεται, πως τα δύο δείγματα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, αλλά είναι πολύ πιθανό να ακολουθούν την ίδια κατανομή. Αντίθετα, για τα δεδομένα Panel, δεν δύναται να υποθεθεί ότι οι παρατηρήσεις είναι ανεξάρτητες διαχρονικά (Χρήστου, 2011).

Αν και η συλλογή τέτοιων δεδομένων είναι συχνά αρκετά κοστοβόρα, υπάρχουν αρκετοί σημαντικοί λόγοι, για τους οποίους συστήνεται η χρήση τεχνικών εκτίμησης Panel. Καταρχάς, ο συνδυασμός χρονολογικών σειρών για περισσότερες από μία μονάδες, προσφέρει περισσότερα δεδομένα και έτσι, περισσότερους βαθμούς ελευθερίας σε μοντέλα. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, καθώς συχνά υπάρχει έλλειψη δεδομένων για ικανοποιητική εκτίμηση,

ιδίως σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά χρονολογικές σειρές (Kennedy, 2008). Επίσης, ακριβώς λόγω της σύστασής τους, τα δεδομένα Panel συνδυάζουν μεταβλητότητα εντός των μονάδων με αυτή μεταξύ των μονάδων στο δείγμα, περιορίζοντας προβλήματα συγγραμικότητας. Περιέχοντας περισσότερη πληροφορία, αυτού του τύπου τα δεδομένα καθιστούν έτσι εφικτή και την αποτελεσματικότερη εκτίμηση (Kennedy, 2008).

Η σημαντικότερη αφορμή για τη χρήση μεθόδων Panel όμως, είναι η δυνατότητα αντιμετώπισης της ετερογένειας μεταξύ των οικονομικών μονάδων, που προσφέρεται μέσα από αυτές. Για κάθε μονάδα η οποία εξετάζεται, υπάρχει αριθμός μη μετρήσιμων ερμηνευτικών μεταβλητών, οι οποίες επηρεάζουν τη συμπεριφορά των εξεταζόμενων μονάδων. Η εξαίρεση αυτών των μεταβλητών προκαλεί μεροληψία σε εκτιμήσεις, αφού οδηγεί σε έλλειψη σημαντικών ερμηνευτικών μεταβλητών από το υπόδειγμα (Kennedy, 2008). Το ίδιο ισχύει και για την παράλειψη ερμηνευτικών μεταβλητών, που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των μονάδων με ομοιομόρφως, αλλά διαφορετικά σε κάθε περίοδο. Δημιουργείται δηλαδή, πρόβλημα ενδογένειας. Η χρήση τεχνικών Panel προσφέρει με διάφορους τρόπους τη διόρθωση του τεχνικού αυτού προβλήματος. Μάλιστα, οι γνωστότερες και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές εκτίμησης έχουν αναπτυχθεί έχοντας σαν στόχο το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό (Kennedy, 2008).

Διακρίνονται διάφορες κατηγορίες δεδομένων Panel, αναλόγως το κριτήριο του διαχωρισμού. Ένας κλασικός διαχωρισμός είναι η διάκριση σε ίσα (balanced) και άνισα (unbalanced) Panel. Ένα σύνολο δεδομένων αποκαλείται ισορροπημένο όταν το μήκος της χρονολογικής σειράς είναι ίσο για κάθε οικονομική μονάδα σε αυτό. Με άλλα λόγια, πρέπει να υπάρχουν δεδομένα για  $T$  περιόδους για κάθε μία εκ των  $N$  διαστρωματικών μονάδων. Σε περίπτωση που ο αριθμός των χρονικών περιόδων είναι μικρότερος από  $T$  για κάποια ή κάποιες από τις υπό μελέτη μονάδες, το Panel λέγεται ότι είναι άνισο (Kennedy, 2008).

Τα δεδομένα Panel κατηγοριοποιούνται επιπλέον και βάσει διαστάσεων  $N$  και  $T$ , είτε σε μικροοικονομικά (micropanel) είτε σε μακροοικονομικά (macropanel) και ανάλογα την κατηγορία στην οποία εμπίπτουν τα δεδομένα της έρευνας, απαιτείται διαφορετική μεταχείριση. Ένα μικροοικονομικό Panel αποτελείται τυπικά από μικρές χρονολογικές σειρές, μεγέθους  $T = 2$  έως 10 ή 20 παρατηρήσεων, για μεγάλο αριθμό μονάδων ( $N \rightarrow \infty$ , πρακτικά εκατοντάδες ή χιλιάδες). Εν αντιθέσει, τα μακροοικονομικά αποτελούνται από μικρότερο αριθμό μονάδων, συχνά χωρών, ενώ τα δεδομένα που δίνονται για αυτές, είναι συνήθως τριμηνιαία ή ετήσια για 20-60 έτη. Όπως αναφέρθηκε, οι δύο περιπτώσεις απαιτούν διαφορετικά βήματα για τη διεξαγωγή έρευνας. Στα micropanel, η ασυμπτωτική ανάλυση γίνεται για μεγάλο  $N$  πεπερασμένο  $T$  (αγγλ. large  $N$  and fixed  $T$ ). Στα macropanel, η ανάλυση γίνεται για  $N \rightarrow \infty$  και  $T \rightarrow \infty$  (two-way asymptotics) (Phillips and Moon, 1999). Φυσικά, λόγω μεγάλης τιμής  $T$ , στην περίπτωση μακροοικονομικού Panel θα πρέπει να εξεταστούν

ζητήματα που απασχολούν τους ερευνητές στα πλαίσια της ανάλυσης χρονολογικών σειρών, όπως η στασιμότητα των μεταβλητών και να αντιμετωπιστεί ό,τι προκύπτει από τα αποτελέσματα.

### 3.3 Αλληλεξάρτηση Οικονομικών Μονάδων

Η πρώτη βιβλιογραφία για τα δεδομένα Panel έκανε τις υποθέσεις της ομοιογένειας κλίσης και της ανεξαρτησίας των οικονομικών μονάδων. Η ετερογένεια ήταν περιορισμένη στις διαφορές στους σταθερούς όρους, όπως φαίνεται στα μοντέλα Fixed και Random Effects. Η πάροδος του χρόνου και η επέκταση της διαθεσιμότητας των δεδομένων που προκύπτουν από αυτή, επέφεραν την ανάγκη για εστίαση της προσοχής σε ελέγχους και μοντέλα με μεγάλα  $N$  και  $T$ , αντί για μεγάλο  $N$  και μικρό  $T$ , που συνηθίζεται στα μικροοικονομικά πάνελ. Οι οικονομικές μονάδες, των οποίων οι αντίστοιχες χρονολογικές σειρές γίνονται μεγαλύτερες, δεν είναι κατ' ανάγκη ανεξάρτητες μεταξύ τους (Chudik & Pesaran, 2013).

Υπό την παρουσία συσχέτισης μεταξύ των μονάδων, οι κλασικές μέθοδοι εκτίμησης όπως Fixed Effects ή Random Effects οδηγούν σε λανθασμένα συμπεράσματα και ασυνεπείς εκτιμήσεις, αναλόγως το αίτιο της συσχέτισης και το βεληνεκές αυτής. Εκτός από τις ίδιες τις μεθόδους εκτίμησης, η αλληλεξάρτηση αυτή έχει αντίκτυπο και σε απαραίτητους ελέγχους όπως ελέγχους για μοναδιαία ρίζα σε δεδομένα Panel (Chudik & Pesaran, 2013). Κρίνεται, για αυτούς τους λόγους, απαραίτητος ο έλεγχος για την παρουσία συσχέτισης μεταξύ των οικονομικών μονάδων που συμμετέχουν στο Panel. Μάλιστα, από την ύπαρξη ή μη τέτοιας συσχέτισης, εξαρτώνται οι εφικτές μέθοδοι έρευνας που δύναται να ακολουθηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι σχετικοί έλεγχοι, οι οποίοι καλύπτουν αδυναμίες που προκύπτουν στον καθένα, από τις ασυμπτωτικές ιδιότητές του. Το στατιστικό LR δίνεται από τον τύπο:

$$LR = -T(\log|\hat{\Omega}| - \sum_{i=1}^N \log(\hat{\sigma}_i^2))$$

όπου  $\hat{\sigma}_i^2 = T^{-1} \sum_{t=1}^T \hat{u}_{it}^2$  και  $\hat{\Omega} = T^{-1} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t \hat{u}_t'$ . Μέσω αυτού, ελέγχεται η μηδενική υπόθεση  $H_0$ : Δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μονάδων. Με  $T \rightarrow \infty$  και πεπερασμένο  $N$ , η στατιστική ακολουθεί την κατανομή  $\chi^2$  με  $\frac{(N-1)N}{2}$  βαθμούς ελευθερίας.

Ένας από τους πιο γνωστούς ελέγχους είναι ο Breusch-Pagan LM (1980), του οποίου η στατιστική ελέγχου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$LM_{BP} = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2,$$

όπου  $\hat{\rho}_{ij}^2$  είναι η δειγματική συσχέτιση μεταξύ των  $\hat{u}_{it}$  και  $\hat{u}_{jt}$ . Η κατανομή που ακολουθείται είναι επίσης η  $\chi^2$  με  $\frac{(N-1)N}{2}$  βαθμούς ελευθερίας. Η μηδενική υπόθεση που ελέγχεται με τον τρόπο αυτό, είναι:

$$H_0: \text{Οι τιμές είναι ασυσχέτιστες}$$

έναντι της εναλλακτικής υπόθεσης:

$$H_1: \text{Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των τιμών.}$$

Υπάρχουν στη βιβλιογραφία, παραλλαγές του ελέγχου. Παρέχεται από τους Baltagi, Feng και Kao (2012) βελτιωμένη εκδοχή του ελέγχου LM, η οποία παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα, ακόμη και σε περιπτώσεις όπου το  $T$  είναι μικρό. Οι τρεις συγγραφείς εξάγουν την κατανομή του στατιστικού LM, για  $\frac{N}{T} \rightarrow c$ , με  $0 < c < \infty$  και προτείνουν τυποποιημένο στατιστικό με διόρθωση μεροληψίας:

$$LM_* = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \sum_{i=2}^N \sum_{j=1}^{i-1} (T\hat{\rho}_{ij}^2 - 1) - \frac{N}{2(T-1)} \sim N(0,1)$$

Μία ακόμη εκδοχή του ελέγχου είναι ο Scaled LM που προτείνεται από τον Pesaran (2004), σαν απάντηση για τη μη εφικτή χρήση του LM για  $N \rightarrow \infty$ . Η στατιστική ελέγχου αυτή λαμβάνεται από τον τύπο:

$$LM_{SC} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T\hat{\rho}_{ij}^2 - 1).$$

Η στατιστική  $LM_{SC}$  ακολουθεί ασυμπτωτικά την  $N(0,1)$ , πρώτα με  $T \rightarrow \infty$  και έπειτα με  $N \rightarrow \infty$ . Ο Pesaran τονίζει πως ο έλεγχος με αυτήν την στατιστική δεν είναι καλή επιλογή σε μικρά δείγματα.

Ο H. Pesaran (2004) δείχνει ότι ο έλεγχος LM δεν είναι αποτελεσματική επιλογή όταν ισχύει  $N > T$ , διότι η κατανομή του  $T\hat{\rho}_{ij}^2$  δεν προσεγγίζει ικανοποιητικά την κατανομή  $\chi^2$  σε μικρά δείγματα, ενώ η άθροιση των τετραγώνων των συσχετίσεων μεγαλώνει αυτό το σφάλμα. Όμως, οι πρώτες ροπές του  $T\hat{\rho}_{ij}^2$  προσεγγίζονται ικανοποιητικά από το μηδέν και το ένα, ακόμη και για μικρά μεγέθη χρονολογικών σειρών ( $T$ ). Έτσι, κάνοντας χρήση του Κεντρικού Οριακού Θεωρήματος, ο Pesaran καταλήγει στο ότι, ακόμη και για μικρά δείγματα, το τυποποιημένο άθροισμα όλων των δυνατών συσχετίσεων:



$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \sim N(0,1)$$

Ο συγκεκριμένος έλεγχος πρέπει να σημειωθεί πως δύναται να μην έχει μεγάλη ισχύ εάν κάποιες συσχετίσεις είναι θετικές και κάποιες αρνητικές, καθώς το άθροισμα θα προσεγγίζει το μηδέν, αλλά, σε πραγματικά δεδομένα, είναι λογική η υπόθεση πως οι συσχετίσεις μεταξύ των Panel είναι θετικές (Chudik & Pesaran, 2013). Επιπρόσθετα, η χρήση του ελέγχου αυτού είναι εφικτή σε ποικίλα μοντέλα, στάσιμα ή και με μοναδιαία ρίζα, με μεγάλο N και μικρό T.

Η ύπαρξη αυτής της αλληλεξάρτησης είναι κάτι πρακτικά βέβαιο, όταν μιλάμε για μακροοικονομικά δεδομένα των τελευταίων δεκαετιών, γεγονός που εξηγεί τη στροφή της έρευνας στο αντικείμενο των Panel, προς την εύρεση μεθόδων αντιμετώπισης του φαινομένου, ορισμένες μεταξύ των οποίων είναι πλέον καθιερωμένες. Σε περίπτωση που ο αριθμός των μονάδων είναι μικρός, αλλά η χρονολογικές τους σειρές είναι μεγάλες, η μέθοδος που προτιμάται, είναι οι Φαινομενικά Ασυσχετίστες Παλινδρομήσεις (Seemingly Unrelated Equations ή εν συντομία SUR) (Zellner, 1962). Σε αυτή τη μέθοδο, το μοντέλο που ενδιαφέρει, εκτιμάται για κάθε μονάδα χωριστά, κρατώντας όμως υπ' όψη πως τα σφάλματα των μονάδων έχουν συσχέτιση μεταξύ τους. Εν συνεχεία, η εκτίμηση γίνεται με τη μέθοδο των Γενικευμένων Ελάχιστων Τετραγώνων (Generalized Least Squares ή GLS). Θεωρείται πως το αίτιο της εξάρτησης μεταξύ των μονάδων δεν έχει σχέση με τις ανεξάρτητες μεταβλητές του μοντέλου. Η τεχνική αυτή δεν είναι εφαρμόσιμη εάν  $N > T$  (Chudik & Pesaran, 2013).

Για τις περιπτώσεις που το N είναι μεγάλο, είναι δύο οι προσεγγίσεις που ασχολούνται με την αντιμετώπιση της συσχέτισης μεταξύ των μονάδων. Στον πρώτο, δηλαδή τον κλάδο της Χωρικής Οικονομετρίας (αγγλ. Spatial Econometrics), θεωρείται πως αυτή έχει να κάνει με την τοποθεσία και την απόσταση μεταξύ των μονάδων στο Panel. Αυτά αποτυπώνονται σε μέγεθος που δίνεται σε πίνακα, ο οποίος αποκαλείται «spatial matrix» και πρέπει να είναι, τυπικά, καθορισμένος εκ των προτέρων (Chudik & Pesaran, 2013). Η δεύτερη προσέγγιση είναι πολυπαραγόντων των καταλοίπων (αγγλ. Residual Multifactor). Βάσει αυτής, υποτίθεται πως η εξάρτηση των μονάδων οφείλεται σε απαρατήρητους κοινούς παράγοντες που επηρεάζουν την οικονομία σαν σύνολο. Σε αντίθεση με τις χωρικές μεθόδους, δεν απαιτείται εκ των προτέρων γνώση σχετικά με τα κατάλοιπα (Chudik & Pesaran, 2013). Σε αυτόν τον κλάδο της βιβλιογραφίας αναπτύχθηκαν την τελευταία δεκαετία τα μοντέλα Common Correlated Effects (CCE), τα οποία πλέον χρησιμοποιούνται ευρέως.

### 3.4 Στασιμότητα και Έλεγχοι Μοναδιαίας Ρίζας

Η στασιμότητα είναι μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες όσον αφορά τις χρονολογικές σειρές. Για την ορθή κατανόηση της έννοιας αυτής και των λόγων που κρίνεται σημαντική,

κρίνεται σκόπιμο να εξηγηθεί πρώτα η έννοια της στοχαστικής διαδικασίας. Στοχαστική ή τυχαία διαδικασία αποκαλείται μια συλλογή από τυχαίες μεταβλητές ταξινομημένες χρονικά (Gujarati & Porter, 2008). Σημειώνεται πως, εάν με το γράμμα  $Y$  δηλώνεται μια τυχαία μεταβλητή, σε περίπτωση που αυτή είναι συνεχής, δηλώνεται σαν  $Y(t)$ , ενώ εάν είναι διακριτή ως  $Y_t$ . Τα περισσότερα οικονομικά δεδομένα συλλέγονται σε διακριτά χρονικά σημεία και για το λόγο αυτό στη βιβλιογραφία επικρατεί η σήμανση  $Y_t$  (Gujarati & Porter, 2008).

Οι τιμές των οικονομικών μεγεθών μπορούν να θεωρηθούν στοχαστικές διαδικασίες και, χρησιμοποιώντας σαν δείγμα τις διαθέσιμες τιμές, που παρατηρούνται ιστορικά, δύναται να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά του ίδιου του μεγέθους, δηλαδή της διαδικασίας (Gujarati & Porter, 2008). Το ΑΕΠ μιας οικονομίας, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι ένα από τα σημαντικότερα μεγέθη και απασχολεί συνεχώς τους επιστήμονες του κλάδου. Θεωρητικά μιλώντας, η τιμή του ΑΕΠ για ένα τρίμηνο, θα μπορούσε να είναι οποιοσδήποτε αριθμός, αναλόγως το επικρατούμενο πολιτικό και οικονομικό κλίμα. Έτσι, η τιμή των 3.759.997 δολαρίων για το πρώτο τρίμηνο του 1970 στις Η.Π.Α. αποτελεί μια πραγμάτωση αυτών των δυνατοτήτων. Άρα είναι δυνατό να λέγεται ότι το ΑΕΠ είναι μια στοχαστική ή τυχαία διαδικασία και οι τιμές της μεταβλητής, που παρατηρούνται σε μια περίοδο είναι πραγματώσεις αυτής. Όπως σε διαστρωματικά δεδομένα γίνεται χρήση δείγματος για την εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με τον πληθυσμό, έτσι και στις χρονολογικές σειρές, χρησιμοποιούνται αυτές οι πραγματώσεις για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την υποκείμενη στοχαστική διαδικασία (Gujarati & Porter, 2008).

Ένας βασικός τύπος στοχαστικής διαδικασίας είναι η λεγόμενη στάσιμη στοχαστική διαδικασία. Γενικά μιλώντας, μια στοχαστική διαδικασία είναι στάσιμη εάν ο μέσος όρος και η διακύμανση της μένουν σταθεροί στο χρόνο, ενώ επίσης η συνδιακύμανση ανάμεσα σε δύο περιόδους εξαρτάται μόνο από την απόσταση ή τη χρονική υστέρηση ανάμεσα στις δύο περιόδους και όχι στον πραγματικό χρόνο που μεσολαβεί. (Gujarati & Porter, 2008). Στη βιβλιογραφία των χρονολογικών σειρών, μια τέτοια διαδικασία αποκαλείται «ασθενώς στάσιμη» (αγγλ. *weakly stationary*), «covariance stationary» ή «wide sense». Για τις περισσότερες πρακτικές καταστάσεις, αυτού του τύπου η στασιμότητα αρκεί. Μια διαφορετική διατύπωση των παραπάνω χαρακτηριστικών είναι η εξής:

$$E(Y_t) = \mu \forall t$$

$$Var(Y_t) = E(Y_t - \mu)^2 = \sigma^2 \forall t$$

$$Cov(Y_t, Y_{t+k}) = E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)] = \gamma_k \forall k$$

Έστω ότι μετατοπίζεται η αρχή της  $Y$  από το  $Y_t$  σε  $Y_{t+m}$ , δηλαδή απλώς θεωρείται το ξεκίνημα της σειράς μια πιο πρόσφατη ημερομηνία. Εάν η  $Y_t$  είναι στάσιμη, ο μέσος όρος, η διακύμανση και η αυτοσυνδιακυμάνσεις της θα είναι ίδια με της  $Y_{t+m}$ . Με άλλα λόγια, όταν

μια χρονολογική σειρά είναι στάσιμη, ο μέσος όρος της, η διακύμανσή της, καθώς και η αυτοσυνδιακύμανση (σε διάφορες χρονικές υστερήσεις) της  $Y_{t+m}$  θα είναι ίδια, ανεξαρτήτως από τη χρονική περίοδο στην οποία γίνεται η μέτρησή τους: οι τιμές αυτές δηλαδή, μένουν σταθερές στο χρόνο (Gujarati & Porter, 2008). Μια χρονολογική σειρά αυτής της κατηγορίας, τείνει να επιστρέφει στο μέσο της όρο, ιδιότητα γνωστή ως «mean reversion» και επιπλέον, αποκλίσεις από αυτόν τον μέσο όσο έχουν, σε γενικές γραμμές, σταθερό βεληνεκές. Σημειώνεται, πως η ταχύτητα της επιστροφής στο μέσο όρο εξαρτάται από τις αυτοσυνδιακυμάνσεις. Εάν αυτές είναι μικρές, η επιστροφή στον μέσο όρο γίνεται γοργά, ενώ σε αντίθετη περίπτωση είναι πιο αργή (Gujarati & Porter, 2008).

Πριν αναφερθούν και εξηγηθούν, με τη σειρά τους, οι μη στάσιμες διαδικασίες, αξίζει να αναφερθεί ακόμη ένας ιδιαίτερος τύπος στάσιμης χρονολογικής σειράς, ο αποκαλούμενος «λευκός θόρυβος» (αγγλ. «white noise»). Μια διαδικασία λέγεται λευκός θόρυβος εάν αυτή έχει μέσο όρο ίσο με το μηδέν, συνεχή διακύμανση και δεν εμφανίζει αυτοσυσχέτιση. Εάν, επιπρόσθετα, η διαδικασία είναι και ανεξάρτητη, η διαδικασία λέγεται «αυστηρά λευκός θόρυβος» (αγγλ. «strictly white noise»). Θυμίζεται, πως στο κλασικό μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης γίνεται η υπόθεση, ότι τα κατάλοιπα (ή σφάλματα) είναι λευκός θόρυβος και αυτό συμβολίζεται με  $u_t \sim IIDN(0, \sigma^2)$ . Αυτού του τύπου η διαδικασία αποκαλείται Γκαουσιανός λευκός θόρυβος (αγγλ. Gaussian white noise) (Gujarati & Porter, 2008).

Όταν μία χρονολογική σειρά δεν είναι στάσιμη, βάσει του ορισμού και της επεξήγησης που δόθηκαν παραπάνω, η σειρά αποκαλείται μη στάσιμη και λείπουν από αυτή κάποια θεμιτά χαρακτηριστικά, τα οποία είναι ιδιαίτερος χρήσιμα για έρευνα. Σε μία μη στάσιμη σειρά λοιπόν, θα μεταβάλλεται στο χρόνο ο μέσος της όρος ή η διακύμανσή της, ή θα συμβαίνουν και τα δύο. Μέσω αυτού γίνεται πλέον ξεκάθαρη η σημασία της στασιμότητας όσον αφορά την έρευνα με χρονολογικές σειρές. Όταν η σειρά δεν είναι στάσιμη, η διερεύνηση της συμπεριφοράς της είναι εφικτή μόνο για την περίοδο υπό εξέταση. Με άλλα λόγια, δεν είναι δυνατή η γενίκευση των συμπερασμάτων σε άλλες περιόδους (Gujarati & Porter, 2008).

Ένα κλασικό παράδειγμα μη στάσιμης διαδικασίας, που συναντά κανείς σε μελέτες χρονολογικών σειρών, είναι ο «τυχαίος περίπατος» (αγγλ. random walk model). Αναφέρεται συχνά, πως οι τιμές των χρηματοοικονομικών προϊόντων, όπως είναι οι μετοχές, ή άλλα μεγέθη όπως η ισοτιμία ακολουθούν τυχαίο περίπατο. Διακρίνονται δύο είδη τυχαίου περιπάτου: (1) ο «(απλός) τυχαίος περίπατος» ή «τυχαίος περίπατος χωρίς εκτροπή» (αγγλ. random walk without drift), στον οποίο δεν υπάρχει σταθερός όρος και (2) ο «τυχαίος περίπατος με εκτροπή» (αγγλ. random walk with drift), στον οποίο αντίθετα υπάρχει σταθερός όρος (Gujarati & Porter, 2008). Τα δύο αυτά είδη αναλύονται στη συνέχεια.

Έστω ότι  $u_t$  λευκός θόρυβος με μέσο 0 και διακύμανση  $\sigma^2$ . Μία χρονολογική σειρά  $Y_t$  αποκαλείται τυχαίος περίπατος εάν:

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

Το υπόδειγμα αυτό δείχνει, πως η τιμή της  $Y$  για την περίοδο  $t$  είναι ίση με την τιμή της την αμέσως προηγούμενη περίοδο συν μία τυχαία διαταραχή· είναι ουσιαστικά, ένα μοντέλο AR(1) με όπου ο συντελεστής κλίσης της χρονικής υστέρησης της  $Y$  είναι ίσος με τη μονάδα. Υποστηρικτές της Θεωρίας της Αποτελεσματικής Αγοράς υποστηρίζουν πως οι τιμές των μετοχών είναι πρακτικά τυχαίες και άρα δεν υπάρχει περιθώριο για κερδοφορία στην αγορά μετοχών. Εάν η πραγματικότητα ήταν τόσο απλή ώστε να είναι εφικτή η πρόβλεψη των αυριανών τιμών μέσω των σημερινών, ο κόσμος θα ήταν γεμάτος εκατομμυριούχους (Gujarati & Porter, 2008).

Από το προηγούμενο μοντέλο προκύπτει:

$$Y_1 = Y_0 + u_1$$

$$Y_2 = Y_1 + u_2 = Y_0 + u_1 + u_2$$

$$Y_3 = Y_2 + u_3 = Y_0 + u_1 + u_2 + u_3$$

Άρα, με συνεχή αντικατάσταση, για τη χρονική περίοδο  $t$ , προκύπτει:

$$Y_t = Y_0 + \sum u_t$$

Έτσι, ισχύει ότι:

$$E(Y_t) = E\left(Y_0 + \sum u_t\right) = E(Y_0) + \sum E(u_t) = Y_0$$

Όμοια, προκύπτει ότι:

$$Var(Y_t) = t\sigma^2$$

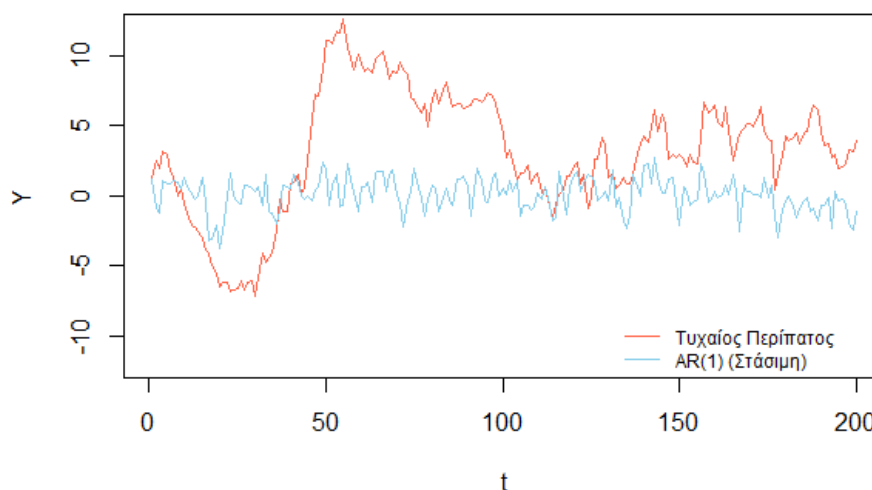
Φαίνεται λοιπόν πως, ενώ η μέση τιμή της  $Y$  είναι ίση με την αρχική της τιμή, η διακύμανση της σειράς αυξάνεται ως συνάρτηση του χρόνου επ' αόριστον, παραβιάζοντας έτσι μία από τις συνθήκες της στασιμότητας. Δηλαδή, ο τυχαίος περίπατος χωρίς εκτροπή, είναι μη στάσιμη στοχαστική διαδικασία. Είναι πολύ συχνό φαινόμενο, το να τίθεται η αρχική τιμή  $Y_0$  ίση με το μηδέν, στην οποία περίπτωση η μέση τιμή της σειράς  $Y$  είναι επίσης ίση με το μηδέν ( $E(Y_t) = 0$ ) (Gujarati & Porter, 2008).

Από τα παραπάνω διαφαίνεται μια συγκεκριμένη ιδιότητα του τυχαίου περιπάτου, η οποία έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, η ιδιότητα αυτή είναι η διατήρηση (ή ανθεκτικότητα) των τυχαίων διαταράξεων (αγγλ. persistence of random shocks). Από προηγούμενη εξίσωση, εάν η  $Y_t$  είναι το άθροισμα της αρχικής τιμής  $Y_0$  συν το άθροισμα των διαταράξεων. Σημειώνεται ακόμη, πως το άθροισμα  $\sum u_t$  αποκαλείται «στοχαστική τάση» (αγγλ. stochastic trend) (Gujarati & Porter, 2008). Λόγω αυτού, η επίπτωση μιας συγκεκριμένης διαταραχής δεν

εκμηδενίζεται. Αυτό σημαίνει ότι, εάν κάποια διαταραχή (κάποιο  $u_t$ ) είναι μεγαλύτερη, αποτέλεσμα οι τιμές της  $Y_t$  θα είναι, σαν αποτέλεσμα, μεγαλύτερες από το συγκεκριμένο χρονικό σημείο και έπειτα. Χάρη σε αυτήν την ιδιότητα, λέγεται πως ο τυχαίος περίπατος έχει άπειρη μνήμη (Gujarati & Porter, 2008).

Εάν στο υπόδειγμα του απλού τυχαίου περιπάτου παρθούν πρώτες διαφορές, εύκολα φαίνεται πως, ενώ η  $Y_t$  είναι μη στάσιμη σειρά, η πρώτη της διαφορά είναι στάσιμη. Αυτό σημαίνει, πως ο τυχαίος περίπατος είναι στάσιμη διαδικασία σε πρώτες διαφορές. Συμβολίζοντας με  $\Delta$  τον τελεστή πρώτων διαφορών, οι πρώτες διαφορές του μοντέλου του τυχαίου περιπάτου έχουν ως εξής:

$$Y_t - Y_{t-1} = \Delta Y_t = u_t$$



**Διάγραμμα 3.1: Τυχαίος Περίπατος και Στάσιμη Διαδικασία**

Το Διάγραμμα 3.1 παρέχει μία εικόνα για τις ουσιώδεις διαφορές ανάμεσα σε μία στάσιμη διαδικασία και μια διαδικασία που ακολουθεί τυχαίο περίπατο. Ειδικότερα, στο γράφημα παρουσιάζονται δύο σειρές. Η πρώτη από αυτές, με χρώμα μπλε, ακολουθεί στάσιμη διαδικασία AR(1) χωρίς σταθερό όρο, με συντελεστή της χρονικής υστέρησης ίσο με 0.5 και έχει κατασκευαστεί βάσει του υποδείγματος  $Y_t = 0.5Y_{t-1} + u_t$ . Η δεύτερη προσομοιωμένη σειρά, ακολουθεί τυχαίο περίπατο χωρίς περιπλάνηση. Οι δύο διαδικασίες έχουν κοινό σημείο εκκίνησης  $Y_0$  παραγόμενο από κατανομή  $N(0,1)$ . Οι διαφορές τους γίνονται προφανείς με μία ματιά. Η σειρά, η οποία ακολουθεί διαδικασία AR(1) μένει στάσιμη γύρω από το μηδέν και, απορροφώντας διαταραχές, «επιστρέφει» στην ίδια μέση τιμή. Αντίθετα, η σειρά που ακολουθεί τυχαίο περίπατο έχει μεταβαλλόμενη μέση τιμή και εμφανίζει τάση, η οποία αλλάζει ανά περιόδους, αφού οι διαταραχές προκαλούν επιδράσεις που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της για επόμενες περιόδους.

Η δεύτερη εκδοχή του τυχαίου περιπάτου περιλαμβάνει στο υπόδειγμα μια παράμετρο εκτροπής (αγγλ. drift parameter)  $\delta$ . Με την προσθήκη της επιπρόσθετης παραμέτρου, το υπόδειγμα γίνεται:

$$Y_t = \delta + Y_{t-1} + u_t$$

Ο χαρακτηρισμός «παράμετρος εκτροπής» οφείλεται στο γεγονός ότι η πρώτη διαφορά της  $Y_t$  με βάση το υπόδειγμα είναι:

$$Y_t - Y_{t-1} = \Delta Y_t = \delta + u_t$$

Από την εξίσωση αυτή απορρέει ότι η  $Y_t$  έχει την τάση να εκτρέπεται προς τα πάνω ή προς τα κάτω, αναλόγως το πρόσημο της παραμέτρου  $\delta$ . Για την ακρίβεια, αν η τιμή της παραμέτρου  $\delta$  είναι θετική, τότε η  $Y_t$  τείνει να μεταβάλλεται ανοδικά, ενώ αν αυτή είναι αρνητική, η σειρά τείνει να κινείται καθοδικά. Φυσικά, το μοντέλο αυτό είναι επίσης ένα AR(1) μοντέλο. Φαίνεται ότι σε αυτήν την περίπτωση, μεταβάλλεται και η μέση τιμή της  $Y_t$  (Gujarati & Porter, 2008). Η μέση τιμή και η διακύμανση της  $Y_t$  είναι:

$$E(Y_t) = Y_0 + t\delta$$

$$Var(Y_t) = t\sigma^2$$

Παρατηρείται, ότι σε αντίθεση με την πρώτη εκδοχή του υποδείγματος, όπου δεν υπήρχε παράμετρος εκτροπής, μαζί με τη διακύμανση, μεταβάλλεται επιπρόσθετα και η μέση τιμή. Κατά συνέπεια παραβιάζονται ξανά οι συνθήκες για (ασθενή) στασιμότητα. Συμπερασματικά, ο τυχαίος περίπατος με εκτροπή είναι επίσης μη στάσιμη στοχαστική διαδικασία, που, όπως φαίνεται από προηγούμενη εξίσωση, γίνεται στάσιμη σε πρώτες διαφορές (Gujarati & Porter, 2008).

Η φράση «μοναδιαία ρίζα» (αγγλ. «unit root») είναι μία από τις γνωστότερες στον κλάδο της ανάλυσης χρονολογικών σειρών. Για να εξηγηθεί η έννοια, θεωρείται το εξής μοντέλο:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t, \quad -1 \leq \rho \leq 1$$

Το συγκεκριμένο υπόδειγμα είναι ένα μοντέλο AR(1) χωρίς σταθερό όρο. Σε περίπτωση που ισχύει  $|\rho| < 1$ , τότε η σειρά  $Y_t$  είναι στάσιμη, σύμφωνα με όσα έχουν ειπωθεί σε αυτήν την ενότητα. Αλλά αν  $\rho = 1$ , προκύπτει το μοντέλο του τυχαίου περιπάτου και λέγεται ότι υπάρχει το πρόβλημα της μοναδιαίας ρίζας, δηλαδή κατάσταση μη στασιμότητας. Όπως αναφέρεται από τους Gujarati και Porter (2008), οι όροι «μη στασιμότητα», «τυχαίος περίπατος», «μοναδιαία ρίζα» και «στοχαστική τάση» μπορούν να χρησιμοποιούνται σαν συνώνυμα.

Η διάκριση ανάμεσα σε στάσιμες και μη στάσιμες στοχαστικές διαδικασίες ή χρονολογικές σειρές, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, από το εάν η παρατηρούμενη τάση, η οποία εμφανίζεται στα δεδομένα, είναι ντετερμινιστική ή στοχαστική. Γενικά, εάν η τάση μιας χρονοσειράς είναι

μία ντετερμινιστική συνάρτηση του χρόνου (όπως είναι η περίοδος ή η τετραγωνισμένη περίοδος) τότε αποκαλείται ντετερμινιστική τάση (Gujarati & Porter, 2008). Εάν όμως η τάση δεν είναι προβλέψιμη, τότε αποκαλείται στοχαστική τάση. Έχει ήδη αναφερθεί, πως ο τυχαίος περίπατος, ενώ αποτελεί μη στάσιμη διαδικασία σε επίπεδα, γίνεται στάσιμη παίρνοντας πρώτες διαφορές. Μη στάσιμες διαδικασίες, οι οποίες γίνονται στάσιμες σε διαφορές, λέγονται «Difference Stationary Processes» (DSP) (Gujarati & Porter, 2008).

Στην περίπτωση της ντετερμινιστικής τάσης, η αντιμετώπιση που προτιμάται είναι λίγο διαφορετική. Για επεξήγηση, ας υποθεθεί υπόδειγμα διαδικασίας που ακολουθεί σταθερή τάση  $\gamma$ :

$$Y_t = \delta + \gamma t + u_t$$

Η παραπάνω ονομάζεται διαδικασία στάσιμη γύρω από τάση ή «Trend Stationary Process» (TSP). Ο μέσος όρος της  $Y_t$  εδώ δεν είναι σταθερός, αλλά η διακύμανση ( $= \sigma^2$ ) είναι. Η διαδικασία δύναται να μετατραπεί σε στάσιμη, μόλις είναι γνωστές οι τιμές των  $\delta$  και  $\gamma$ . Αφαιρώντας τον μέσο όρο της  $Y_t$  από την ίδια την  $Y_t$ , η σειρά που θα προκύψει είναι στάσιμη. Η διαδικασία αφαίρεσης της ντετερμινιστικής τάσης ονομάζεται «detrending» (Gujarati & Porter, 2008).

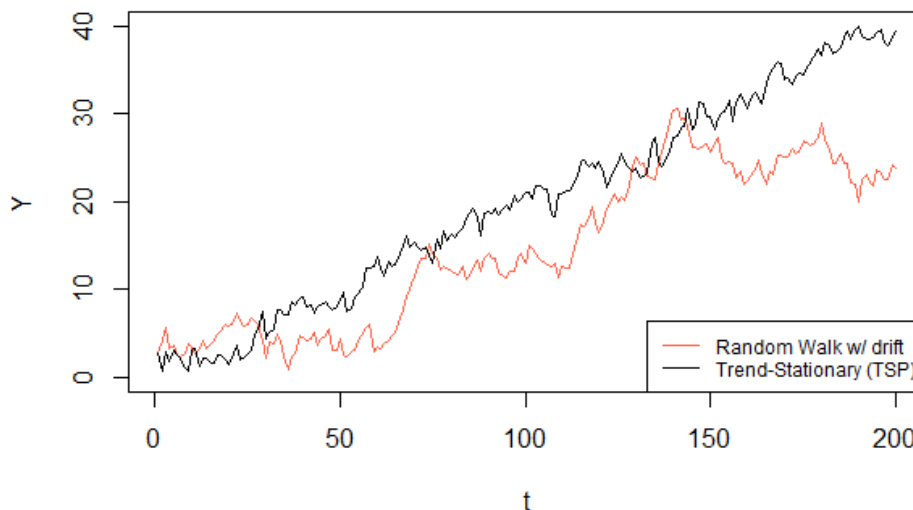
Συχνά συναντάται, επιπλέον, ντετερμινιστική τάση σε συνδυασμό με στάσιμη συνιστώσα AR ή με τυχαίο περίπατο. Η διαφορά έγκειται στην τιμή που λαμβάνει ο συντελεστής κλίσης της χρονικής υστέρησης της  $Y$ . Χάρην διευκόλυνσης της ανάλυσης, ας υποθεθεί το εξής μοντέλο:

$$Y_t = \delta + \gamma t + \beta Y_{t-1} + u_t$$

όπου  $u_t$  λευκός θόρυβος και  $t$  ο χρόνος όπως μετριέται χρονολογικά. Εάν  $\beta < 1$ , τότε η εξίσωση δείχνει σειρά, η οποία περιέχει, μαζί με τη σταθερή τάση, στάσιμη συνιστώσα AR(1). Συνεπώς, η  $Y_t$  είναι στάσιμη γύρω από την τάση. Αντιθέτως, εάν  $\beta = 1$  (μοναδιαία ρίζα), τότε η  $Y_t$  ακολουθεί τυχαίο περίπατο με εκτροπή και ντετερμινιστική τάση (Gujarati & Porter, 2008). Παίρνοντας πρώτες διαφορές, γίνεται φανερό ότι η  $Y_t$  είναι έτσι μη στάσιμη.

Στο Διάγραμμα 3.2 παρουσιάζονται δύο χρονολογικές σειρές, η παρατήρηση της διαφορετικής συμπεριφοράς των οποίων βοηθά στην κατανόηση της ουσιώδους διαφοράς ανάμεσα σε διαδικασίες στάσιμες γύρω από τάση και διαδικασίες, που ακολουθούν τυχαίο περίπατο. Πιο αναλυτικά, η trend stationary διαδικασία, χρώματος μαύρου, η οποία περιέχει συνιστώσα AR(1), έχει προσομοιωθεί βάσει υποδείγματος  $Y_t = 0.1 + 0.1t + 0.5Y_{t-1} + u_t$ , ενώ η δεύτερη, difference stationary διαδικασία με κόκκινο χρώμα, ακολουθεί τυχαίο περίπατο με παράμετρο περιπλάνησης ίση με 0.1. Όπως έγινε σε προηγούμενο γράφημα, οι δύο διαδικασίες έχουν κοινό σημείο εκκίνησης από κατανομή  $N(0,1)$ . Φαίνεται στο Διάγραμμα,

ότι η TSP διαδικασία απορροφά τις διαταράξεις και τις ξεπερνά γρήγορα, διατηρώντας σταθερή την ανοδική της τάση. Η δεύτερη σειρά όμως, εμφανίζει αρκετά διαφορετική συμπεριφορά. Ενώ έχει ανοδική τάση, λόγω της θετικής παραμέτρου περιπλάνησης, η τάση, την οποία εμφανίζει, δεν μένει σταθερή, καθώς οι διαταράξεις ( $u$ ) επηρεάζουν τις τιμές της σειράς σε επόμενες περιόδους.



**Διάγραμμα 3.2: Τυχαίος Περίπατος με Εκτροπή και Στάσιμη Σειρά γύρω από Τάση**

Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην αντιμετώπιση των δύο αυτών ειδών διαδικασιών. Έχει αναφερθεί, ότι οι difference stationary διαδικασίες γίνονται στάσιμες σε πρώτες διαφορές, ενώ για trend stationary διαδικασίες η στασιμότητα επιτυγχάνεται μέσω της αφαίρεσης της τάσης. Η αντιμετώπιση μιας διαδικασίας στάσιμης γύρω από τάση σαν difference stationary process, ονομάζεται «overdifferencing» και η αντιμετώπιση μιας difference stationary διαδικασίας σαν trend stationary λέγεται «underdifferencing». Το αντίκτυπο αυτών των σφαλμάτων μπορεί να είναι σοβαρό, αναλόγως τον χειρισμό της αυτοσυσχέτισης που προκύπτει » (Gujarati & Porter, 2008). Στην πράξη, δεν είναι καθόλου εύκολος ο διαχωρισμός ανάμεσα σε difference stationary και trend stationary διαδικασίες. Ρεαλιστικά, ελάχιστες είναι οι διαδικασίες οι οποίες είναι πράγματι στάσιμες γύρω από τάση, ειδικά σε χρηματοοικονομικά δεδομένα, όπου οι αγορές παράγουν τιμές και αποδόσεις μη στάσιμες λόγω στοχαστικής και όχι ντετερμινιστικής τάσης. Έτσι, είναι συχνότερη είναι η αντιμετώπιση με πρώτες διαφορές (Gujarati & Porter, 2008).

Το υπόδειγμα του τυχαίου περιπάτου ανήκει σε ακόμα μία ευρεία κατηγορία στοχαστικών διαδικασιών, γνωστές ως «ολοκληρώσιμες διαδικασίες» (αγγλ. integrated processes). Μια σειρά στην οποία πρέπει να παρθούν  $d$  φορές οι διαφορές της, ώστε να γίνει στάσιμη, λέγεται ότι είναι ολοκληρώσιμη τάξης  $d$  και συμβολίζεται με  $Y_t \sim I(d)$ . Έτσι, εάν μία χρονολογική σειρά γίνεται στάσιμη σε πρώτες διαφορές, τότε αυτή αποκαλείται  $I(1)$  (Gujarati & Porter, 2008). Μια σειρά, η οποία είναι στάσιμη και άρα δεν χρειάζεται να παρθούν διαφορές για να



μετατραπεί σε στάσιμη σειρά, λέγεται πως είναι ολοκληρώσιμη τάξης 0 ή  $Y_t \sim I(0)$ . Συνεπώς, οι εκφράσεις «στάσιμη χρονολογική σειρά» και «σειρά ολοκληρώσιμη τάξης 0 ( $I(0)$ )» χρησιμοποιούνται θεωρώντας ότι έχουν την ίδια σημασία. Αξίζει να σημειωθεί πως οι περισσότερες χρονολογικές σειρές που αφορούν οικονομικά δεδομένα είναι γενικά  $I(1)$  (Gujarati & Porter, 2008).

Ένα μεγάλο πρόβλημα που έπεται της χρήσης μη στάσιμων χρονολογικών σειρών σε παλινδρόμηση, είναι αυτό της φαινομενικής (ή νόθου) παλινδρόμησης. Αυτό που συμβαίνει σε αυτήν την περίπτωση, είναι πως η στοχαστική τάση, που επιδεικνύουν οι μεταβλητές του εκτιμώμενου υποδείγματος, ανιχνεύεται σαν συσχέτιση μεταξύ τους. Σαν αποτέλεσμα, φαίνεται πως οι μεταβλητές έχουν υψηλή συσχέτιση, ενώ κάτι τέτοιο πιθανότατα δεν υφίσταται στην πραγματικότητα (Χρήστου, 2011). Οι Granger και Newbold (1974) αναφέρουν, πως χαμηλές τιμές της στατιστικής Durbin–Watson ( $d$ ) και υψηλές τιμές του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  (και ειδικά όταν  $d < R^2$ ), αποτελούν ενδείξεις του συγκεκριμένου φαινομένου. Σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο, είναι προτιμότερη η εκτίμηση της σχέσης μεταξύ των πρώτων διαφορών των μεταβλητών, αντί της εκτίμησης του υποδείγματος σε επίπεδα (levels). Επιπρόσθετα, πρέπει να αναφερθεί πως ο συντελεστής  $R^2$  και τα στατιστικά  $t$  σε τέτοια παλινδρόμηση είναι παραπλανητικά και πως τα στατιστικά  $t$  δεν ακολουθούν την κατανομή Student's  $t$ , δηλαδή δεν δύναται να χρησιμοποιηθούν για ελέγχους σημαντικότητας (Gujarati & Porter, 2008).

Είναι ξεκάθαρο πως, πριν προχωρήσει κάποια μελέτη στην εκτίμηση μοντέλων, θα πρέπει να ελέγχεται η στασιμότητα των δεδομένων. Σε αρχικό στάδιο, τα δεδομένα ελέγχονται γραφικά. Είναι σχετικά εύκολο να παρατηρηθεί η μεταβολή του μέσου όρου και της διακύμανσης σε πολλές χρονολογικές σειρές, ενώ η παρατήρηση της αυτοσυσχέτισης, σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι το ίδιο εύκολα παρατηρήσιμη. Εάν σε κάποια μεταβλητή που ελέγχεται, είναι εμφανής η τάση της, εύκολα μπορεί ο ερευνητής να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι αυτή είναι μη στάσιμη. Αυτό όμως, είναι ένα αρχικό στάδιο και σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να είναι μοναδικό για να αποφανθεί κανείς περί της στασιμότητας σειρών (Gujarati & Porter, 2008).

Ένας δεύτερος, απλός τρόπος να μελετηθεί με τη χρήση διαγραμμάτων η στασιμότητα χρονολογικών σειρών, είναι μέσω κορρελογράμματος (correlograms). Ο έλεγχος αυτός βασίζεται στη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (αγγλ. autocorrelation function ή ACF)  $\rho_k = \gamma_k / \gamma_0$ , δηλαδή της συνδιακύμανσης με την  $k$  χρονική υστέρηση δια της διακύμανσης. Η αυτοσυσχέτιση  $\rho$  δεν έχει μονάδα μέτρησης, αφού τα δύο μεγέθη από τα οποία υπολογίζεται μετρούνται σε ίδιες μονάδες (Gujarati & Porter, 2008). Σε πρακτικές εφαρμογές, είναι διαθέσιμα τα δεδομένα μιας πραγμάτωσης της υπό διερεύνηση διαδικασίας και άρα

υπολογίζεται η δειγματική αυτοσυσχέτιση (SACF), μέσω των δειγματικών αυτοσυσχετίσεων και διακυμάνσεων:

$$\hat{\gamma}_k = \frac{\sum(Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{n}$$

$$\hat{\gamma}_0 = \frac{\sum(Y_t - \bar{Y})^2}{n}$$

Άρα η δειγματική αυτοσυσχέτιση (SACF) υπολογίζεται ως:

$$\hat{\rho}_0 = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0}$$

Σε ένα κορρελόγραμμα, έχοντας διαθέσιμες τις υπολογισμένες αυτοσυσχετίσεις έως κάποια χρονική υστέρηση  $k$ , πρέπει να παρατηρηθούν οι τιμές των αυτοσυσχετίσεων αυτών για τις διάφορες υστερήσεις. Εάν για μια χρονολογική σειρά η αυτοσυσχέτιση φθίνει γρήγορα και δείχνει να μην είναι σημαντική μετά τις πρώτες λίγες υστερήσεις, η σειρά δείχνει να είναι στάσιμη. Αντιθέτως, σε περίπτωση που εμφανίζεται μεγάλη αυτοσυσχέτιση για πολλές χρονικές υστερήσεις, δηλαδή εάν η αυτοσυσχέτιση φθίνει αργά, η σειρά δείχνει να μην είναι στάσιμη (Gujarati & Porter, 2008). Στα διαγράμματα αυτοσυσχέτισης, η επιλογή της μέγιστης χρονικής υστέρησης είναι θέμα εμπειρικό και συνήθως υπολογίζεται το ACF έως το ένα τρίτο με ένα τέταρτο του μήκος της χρονοσειράς. Μία άλλη επιλογή είναι να δηλωθεί ένας κάπως μεγάλος αριθμός υστερήσεων και να μειωθεί με χρήση κάποιου κριτηρίου όπως το Akaike ή το Schwartz/Bayesian Information Criterion (Gujarati & Porter, 2008).

Στο Διάγραμμα 3.3 παρουσιάζεται κορρελόγραμμα για το Ελληνικό Πραγματικό ΑΕΠ, σε τριμηνιαία δεδομένα, για το διάστημα 2008-2018, δηλαδή για 44 περιόδους. Πηγή των δεδομένων είναι η Eurostat, αλλά τα δεδομένα ανακτήθηκαν από το FRED (Eurostat). Το αριστερό μέρος του διαγράμματος απεικονίζει τις τιμές της αυτοσυσχέτισης, οι οποίες φαίνονται και δεξιότερα, στη στήλη AC. Στο ίδιο διάγραμμα, το οποίο παράχθηκε από το πρόγραμμα ανάλυσης EViews, παρέχονται επιπλέον και οι μερικές αυτοσυσχετίσεις (PACF ή PAC), οι τιμές Ljung-Box Q-Statistic, καθώς και τα αντίστοιχα p-value για τη σημαντικότητα του τελευταίου. Γίνεται άμεσα αντιληπτό, πως η αυτοσυσχέτιση φθίνει πολύ αργά, καθώς οι μπάρες του γραφήματος παραμένουν πάνω από τις διακεκομμένες γραμμές, που απεικονίζουν τη σημαντικότητα. Για την ακρίβεια, οι αυτοσυσχετίσεις μένουν μεγάλες για χρονική υστέρηση πολλών τετραμήνων, που καλύπτουν περίοδο περίπου δύο ετών. Σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν παραπάνω, το ΑΕΠ δείχνει να είναι μη στάσιμη σειρά.

Sample: 2008Q1 2018Q4  
Included observations: 44

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.931	0.931	40.815	0.000
		2	0.858	-0.071	76.264	0.000
		3	0.775	-0.110	105.89	0.000
		4	0.692	-0.044	130.09	0.000
		5	0.619	0.038	149.99	0.000
		6	0.525	-0.215	164.68	0.000
		7	0.425	-0.118	174.55	0.000
		8	0.317	-0.104	180.20	0.000
		9	0.230	0.100	183.26	0.000
		10	0.153	-0.021	184.66	0.000
		11	0.087	0.012	185.12	0.000
		12	0.020	-0.077	185.15	0.000

**Διάγραμμα 3.3: Κορρελόγραμμα για Ελληνικό Πραγματικό ΑΕΠ**

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για έλεγχο στασιμότητας σε χρονολογικές σειρές, είναι η χρήση ελέγχων μοναδιαίας ρίζας (αγγλ. Unit Root Tests). Το αρχικό σημείο για την κατανόηση αυτού του είδους ελέγχου, είναι και πάλι το υπόδειγμα του τυχαίου περιπάτου, που έχει ήδη εξηγηθεί:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t, \quad -1 \leq \rho \leq 1$$

Το σκεπτικό ενός ελέγχου μοναδιαίας ρίζας είναι αρκετά απλό. Εάν  $\rho = 1$ , τότε το υπόδειγμα είναι τυχαίος περίπατος. Πρέπει λοιπόν, να ελεγχθεί εάν ο συντελεστής  $\rho$  είναι στατιστικά ίσος με τη μονάδα (Gujarati & Porter, 2008). Επειδή όμως, το στατιστικό  $t$  είναι μεροληπτικό σε περίπτωση ύπαρξης μοναδιαίας ρίζας, δεν γίνεται απλά να εκτελεστεί παλινδρόμηση σε αυτό το μοντέλο. Αντί για αυτό, χρησιμοποιούνται οι πρώτες διαφορές της  $Y$ . Δηλαδή:

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

ή αλλιώς:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + u_t$$

με  $\delta = 1 - \rho$ . Έτσι, χρησιμοποιώντας την πλέον στάσιμη  $\Delta Y$ , ενδιαφέρει έλεγχος για να δειχθεί εάν ισχύει  $\delta = 0$ , στην οποία περίπτωση υπάρχει μοναδιαία ρίζα, αφού  $\delta = 0 \Rightarrow \rho = 1$ , ή εναλλακτικά ισχύει  $\delta < 0 \Rightarrow \rho < 1$ , δηλαδή ότι η υπό εξέταση σειρά είναι στάσιμη διαδικασία. Εάν  $\delta = 0$ , τότε έπεται πως  $\Delta Y = u_t$ , δηλαδή λευκός θόρυβος (στάσιμη διαδικασία). Ας σημειωθεί πως δεν ενδιαφέρει η υπόθεση  $\delta > 0 \Rightarrow \rho > 1$ , αφού κάτι τέτοιο δείχνει σειρά με εκρηκτική συμπεριφορά (Gujarati & Porter, 2008).

Το ερώτημα που προκύπτει μετά την εκτίμηση του υποδείγματος, είναι το πώς θα ελεγχθούν οι υποθέσεις αυτές, δηλαδή αν το  $\delta$  είναι ίσο με το μηδέν ή όχι. Υπό τη μηδενική υπόθεση ότι  $\delta = 0$ , η τιμή του στατιστικού  $t$  του συντελεστή της  $Y_{t-1}$  δεν ακολουθεί την κατανομή  $t$  ούτε καν σε μεγάλα δείγματα (Gujarati & Porter, 2008). Οι Dickey και Fuller (1979) έχουν αποδείξει πως, υπό τη μηδενική υπόθεση  $\delta = 0$ , το στατιστικό  $t$  ακολουθεί την κατανομή  $\tau$  (tau). Οι

συγκεκριμένοι συγγραφείς έχουν υπολογίσει τις κρίσιμες τιμές μέσω προσομοιώσεων Monte Carlo. Αν και οι τιμές αυτές είναι περιορισμένες, ο MacKinnon έχει ετοιμάσει μεγαλύτερους, πιο αναλυτικούς πίνακες, οι οποίοι έχουν ενσωματωθεί σε διάφορα στατιστικά πακέτα. Εάν η απόλυτη τιμή του  $t$  είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης τιμής  $\tau_1$ , η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται. Αυτή η μέθοδος ελέγχου με την κατανομή  $\tau$  (tau) είναι γνωστή στη βιβλιογραφία ως «έλεγχος Dickey-Fuller» (DF), προς τιμήν των συγγραφέων του. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και το γεγονός ότι, σε περίπτωση που ισχύει  $\delta < 0$ , είναι εφικτή η χρήση του ελέγχου  $t$  (Gujarati & Porter, 2008).

Υπάρχουν όμως περισσότερες διαδικασίες από τον τυχαίο περίπατο χωρίς εκτροπή και μία στάσιμη διαδικασία AR(1). Στην πράξη, η διεξαγωγή ελέγχου DF περιλαμβάνει και πιο σύνθετες επιλογές, σχετικά με τους όρους που περιέχονται στο υπόδειγμα και άρα για τα μοντέλα του τυχαίου περιπάτου για τα οποία γίνεται ο έλεγχος. Υπενθυμίζεται, πως μια διαδικασία τυχαίου περιπάτου δύναται να έχει ή να μην έχει εκτροπή, ενώ μπορεί να συνδυάζει στοχαστική και ντετερμινιστική τάση. Για να υπάρχει δυνατότητα ελέγχου και για όλες αυτές τις πιθανές περιπτώσεις, ο συγκεκριμένος έλεγχος παίρνει τις εξής μορφές (Gujarati & Porter, 2008):

- Η  $Y_t$  ακολουθεί τυχαίο περίπατο:  $\Delta Y_t = \delta Y_t + u_t$
- Η  $Y_t$  ακολουθεί τυχαίο περίπατο με περιπλάνηση:  $\Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_t + u_t$
- Η  $Y_t$  ακολουθεί τυχαίο περίπατο με περιπλάνηση και ντετερμινιστική τάση:  $\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_t + u_t$

Και στα τρία υποδείγματα ελέγχεται η ίδια υπόθεση:

$$H_0: \delta = 0$$

δηλαδή ότι υπάρχει μοναδιαία ρίζα και η σειρά είναι μη στάσιμη, έναντι της εναλλακτικής:

$$H_1: \delta < 0$$

που αποτελεί ένδειξη στάσιμης σειράς (πιθανότατα γύρω από τάση).

Σε περίπτωση απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η  $Y$  είναι στάσιμη με μηδενικό μέσο όρο στην πρώτη από τις παραπάνω περιπτώσεις, ενώ αν στην εξίσωση ελέγχου συμπεριληφθεί και σταθερός όρος (δεύτερη περίπτωση), τότε συμπεραίνεται στασιμότητα της  $Y_t$  με μη μηδενικό μέσο όρο. Για το τελευταίο από τα τρία υποδείγματα, είναι εφικτό να ελεγχθεί ταυτόχρονα αν  $\delta < 0$  και  $\beta_2 \neq 0$  με F-test, αλλά χρησιμοποιώντας κρίσιμες τιμές από τους πίνακες των Dickey-Fuller. Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί, ότι οι κρίσιμες τιμές της κατανομής  $\tau$  είναι διαφορετικές για κάθε εξειδίκευση της εξίσωσης του ελέγχου Dickey-Fuller (Gujarati & Porter, 2008).

Δεν είναι εύκολο, βέβαια, να γνωρίζει κανείς εκ των προτέρων την καταλληλότερη μορφή του υποδείγματος για τον έλεγχο. Η γραφική διερεύνηση των δεδομένων είναι σίγουρα ένας τρόπος να κατευθυνθεί ο ερευνητής σχετικά με την εξειδίκευση του μοντέλου του ελέγχου, αλλά συχνά, δεν είναι εύκολος ο προσδιορισμός με αυτή τη μέθοδο στερείται βεβαιότητας. Ορισμένοι επιστήμονες του κλάδου, όπως οι και ο Enders (1995) προτείνουν ακολουθία από βήματα για την εύρεση της κατάλληλης εκδοχής του ελέγχου, για περιπτώσεις που δεν είναι γνωστή η γεννήτωρ διαδικασία των δεδομένων. Όπως είναι φυσικό, οι μέθοδοι αυτές έχουν αμφισβητηθεί ως προς την αποτελεσματικότητά τους. Οι Elder και Kennedy (2001) αναφέρουν πως, ακολουθώντας τέτοιες μεθόδους, λαμβάνονται υπ' όψη από τον ερευνητή, περιπτώσεις, οι οποίες πολλές φορές δεν αντιστοιχούν στην πραγματικότητα, ενώ σημειώνεται και από τον Χρήστου (2011), πιο συγκεκριμένα για τη μέθοδο του Enders, πως δεν πρέπει να εφαρμόζεται μηχανικά, αφού η οικονομική θεωρία και η γραφική ανάλυση είναι πιθανό να δίνουν τους κατάλληλους παλινδρομητές. Τα βήματα για την διαδικασία του Enders, όπως παρουσιάζονται στο βιβλίο του Γεωργίου Χρήστου (2011) έχουν ως εξής:

1. Εκτιμάται η εξίσωση Dickey-Fuller στην πιο γενική της μορφή, με σταθερό όρο και τάση ( $\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_t + u_t$ ). Με βάση αυτή την εξίσωση ελέγχεται η μηδενική υπόθεση  $\delta = 0$ . Εάν η μηδενική υπόθεση απορριφθεί, τότε συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχει μοναδιαία ρίζα και η διαδικασία τερματίζεται. Σε αντίθετη περίπτωση, εκτελείται το επόμενο βήμα.
2. Ελέγχεται αν ο συντελεστής της τάσης  $\beta_2$  είναι στατιστικά σημαντικός, δεδομένου ότι  $\delta = 0$ . Δηλαδή, στο βήμα αυτό προσδιορίζεται η ύπαρξη τάσης, δεδομένης της μοναδιαίας ρίζας. Ο έλεγχος αυτός έχει επίσης εξειδικευμένες κρίσιμες τιμές, ενώ το αποτέλεσμα του πρέπει να επιβεβαιώνεται με χρήση της στατιστικής  $\Phi_3$ . Εάν η μηδέν υπόθεση απορριφθεί, γίνεται επανέλεγχος της υποθέσεως  $\delta = 0$ , χρησιμοποιώντας την τυποποιημένη κανονική κατανομή, κάτι που είναι εφικτό εφόσον έγινε δεκτό ότι η σειρά είναι στάσιμη. Σε περίπτωση που δεν γίνει δεκτό ότι  $\delta = 0$ , τότε η διαδικασία τερματίζεται και συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχει μοναδιαία ρίζα. Αλλιώς, εάν δεν απορριφθεί η μηδενική, συμπεραίνεται ότι υπάρχει μοναδιαία ρίζα. Εάν πάλι, γίνει δεκτό ότι  $\beta_2 = 0$  ενώ  $\delta = 0$ , κρίνεται ότι δεν πρέπει να συμπεριληφθεί τάση στο υπόδειγμα ελέγχου και εκτελείται το Βήμα 3.
3. Στο βήμα αυτό πραγματοποιείται εκτίμηση του υποδείγματος με σταθερό όρο αλλά χωρίς το χρόνο σαν ερμηνευτική μεταβλητή ( $\Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_t + u_t$ ). Ελέγχεται, σε αυτή την εξίσωση η υπόθεση  $\delta = 0$ . Αν απορριφθεί αυτή η μηδενική, τότε συμπεραίνεται πως δεν υπάρχει μοναδιαία ρίζα και η διαδικασία σταματά. Εάν όχι, πρέπει να επιτελεσθεί το επόμενο βήμα.

4. Όπως συμβαίνει στο Βήμα 2 με την τάση, έτσι και εδώ ελέγχεται η σημαντικότητα του σταθερού όρου. Με άλλα λόγια, εξετάζεται η υπόθεση  $\beta_1 = 0$ , δεδομένου ότι  $\delta = 0$ . Ο έλεγχος γίνεται με τη στατιστική  $\tau$  και επίσης με εξειδικευμένες κρίσιμες τιμές. Ομοίως με πριν, το αποτέλεσμα του ελέγχου επαληθεύεται με έλεγχο της υπόθεσης  $\delta = \beta_1 = 0$  μέσω της στατιστικής  $\Phi_1$ . Εάν η υπόθεση απορριφθεί (δηλαδή  $\beta_1 \neq 0$ ), επανελέγχεται η υπόθεση  $H_0: \delta = 0$  με την τυποποιημένη κανονική κατανομή. Αν η τελευταία δεν απορριφθεί, συμπεραίνεται η μη ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας. Σε αντίθετη περίπτωση πραγματοποιείται το τελευταίο βήμα της διαδικασίας.
5. Εκτιμάται το πιο απλό υπόδειγμα από τα τρία, χωρίς σταθερό όρο και τάση ( $\Delta Y_t = \delta Y_t + u_t$ ). Ελέγχεται σε αυτό η υπόθεση  $H_0: \delta = 0$ . Εάν η μηδενική δεν απορριφθεί στον έλεγχο, τότε προκύπτει το συμπέρασμα ότι η  $Y$  έχει μοναδιαία ρίζα. Εάν πάλι, η μηδενική υπόθεση απορριφθεί, συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχει μοναδιαία ρίζα.

Το μεγάλο μειονέκτημα του ελέγχου Dickey-Fuller είναι πως υποθέτει ασυσχέτιστα κατάλοιπα. Μια τέτοια υπόθεση δύσκολα πληρείται. Η λύση που έχει προταθεί για αυτό το πρόβλημα, είναι η επαύξηση του υποδείγματος του ελέγχου με χρονικές υστερήσεις των πρώτων διαφορών της μεταβλητής. Η επαύξηση είναι ο λόγος που ο νέος αυτός έλεγχος ονομάζεται «Επαυξημένος Έλεγχος Dickey-Fuller» (αγγλ. Augmented Dickey-Fuller Test ή ADF) (Gujarati & Porter, 2008). Το υπόδειγμα που προκύπτει έτσι, είναι (με όλους τους ντετερμινιστικούς όρους):

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta Y_{t-p} + u_t$$

Ο έλεγχος που γίνεται είναι ο ίδιος· ελέγχεται η μηδενική υπόθεση  $H_0: \delta = 0$  έναντι της εναλλακτικής  $H_1: \delta < 0$ . Η κατανομή που ακολουθεί η στατιστική ελέγχου  $t$  είναι ίδια με αυτή στον έλεγχο DF και άρα χρησιμοποιούνται οι ίδιες κρίσιμες τιμές (Gujarati & Porter, 2008).

Ένα βασικό ζήτημα που προκύπτει είναι η επιλογή του κατάλληλου αριθμού χρονικών υστερήσεων  $p$ . Γενικά, έχουν προταθεί δύο προσεγγίσεις. Στην πρώτη, η επιλογή βασίζεται αποκλειστικά στον αριθμό των παρατηρήσεων του δείγματος. Για παράδειγμα, από ασυμπτωτικές θεωρήσεις ο Schwert θεωρεί την αυτοπαλίνδρομη τάξη ανάλογη με  $\sqrt[4]{n/100}$ , όπου  $n$  το πλήθος των παρατηρήσεων. Εντούτοις, αυτό αφήνει ανοιχτό το κρίσιμο ζήτημα της επιλογής της σταθεράς αναλογικότητας, με τον Schwert να επιλέγει αυθαίρετα τις τιμές 4 και 12. Ως εκ τούτου, εάν επιλεγεί τάξη για την προσεγγιστική αυτοπαλινδρόμηση, μεγαλύτερη από όσο χρειάζεται, ίσως να αναμένεται κάποια απώλεια στην ισχύ του ελέγχου (Agiakloglou & Newbold, 1992).

Η δεύτερη προσέγγιση είναι να επιτραπεί, η επιλογή του  $p$  να εξαρτάται από τα ίδια τα δεδομένα. Παραδείγματος χάριν, οι Said και Dickey πειραματίζονται με διάφορες δυνατότητες, βασίζοντας την τελική επιλογή σε αποτελέσματα ακολουθίας από F-test. Η προσέγγιση αυτή είναι επίσης αρκετά διφορούμενη, καθώς η επιλογή του επιπέδου σημαντικότητας για τις δοκιμές αυτές είναι αυθαίρετη. Αυτές οι εκτιμήσεις υποδηλώνουν τη δυνατότητα επιλογής του  $p$  μέσω κριτηρίων πληροφόρησης (αγγλ. Information Criteria ή IC). Το κριτήριο Akaike (AIC) προτιμάται από τα εναλλακτικά κριτήρια συνεπούς εκτίμησης τάξης, καθώς η τάση του AIC να δίνει πιο βαριά παραμετροποιημένα μοντέλα, φαίνεται κατάλληλη, όταν μια διαδικασία με συνιστώσα κινητού μέσου (MA) πρέπει να προσεγγιστεί από μια καθαρή αυτοπαλινδρόμηση (Agiakloglou & Newbold, 1992).

Για την αντιμετώπιση της αυτοσυσχετίσεως στα κατάλοιπα, έχουν προταθεί και προσεγγίσεις, διαφορετικές από την επαύξηση του υποδείγματος με επιπλέον όρους διαφορών της σειράς. Οι Phillips και Perron (1988) προτείνουν έλεγχο (PP), στον οποίο η υπόθεση της ανεξάρτητης και όμοιας κατανομής (iid) των διαταρακτικών όρων δεν είναι τόσο αυστηρή. Στον έλεγχο αυτόν, χρησιμοποιείται μη παραμετρική μέθοδος, ούτως ώστε να αποδίδεται σημασία και σε αυτοσυσχετίσεις μεγαλύτερων τάξεων. Χρησιμοποιούνται οι ίδιες εξειδικευμένες εξισώσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ADF και γίνεται διόρθωση στο στατιστικό  $t$  του συντελεστή  $\delta$ , για να λαμβάνεται υπ' όψην πιθανή ετεροσκεδαστικότητα και αυτοσυσχέτιση αγνώστου τάξεως στα κατάλοιπα (Κάτος, 2004).

Χρησιμοποιείται αρχικά ο υπολογισμός Newey-West (1987; 1994) (στον οποίο γίνεται χρήση του παραθύρου Bartlett) για τη διακύμανση, ο οποίος είναι συνεπής ως προς την ετεροσκεδαστικότητα και την αυτοσυσχέτιση:

$$\hat{\sigma}^2 = \gamma_0 + 2 \sum_{j=1}^p \left(1 - \frac{j}{p+1}\right) \gamma_j$$

με

$$\gamma_j = T^{-1} \sum_{t=j+1}^T \hat{u}_t \hat{u}_{t-1}$$

Το  $p$  ονομάζεται «περικομμένη υστέρηση» και η επιλογή του γίνεται συνήθως βάσει μεγέθους δείγματος  $T$ , με τον τύπο:

$$p = \left\lfloor 4 \left( \frac{T}{100} \right)^{\frac{2}{9}} \right\rfloor$$

Όταν έχουν πραγματοποιηθεί οι παραπάνω υπολογισμοί, η στατιστική ελέγχου για τον έλεγχο PP δίνεται από τον τύπο:

$$t_{PP} = \frac{\gamma_0^{1/2} t_\delta}{\hat{\sigma}} - \frac{(\hat{\sigma}^2 - \gamma_0)ns_\delta}{2\hat{\sigma}s}$$

όπου  $t_\delta$ ,  $s_\delta$  η τιμή του στατιστικού  $t$  και το τυπικό σφάλμα του  $\delta$  στην εξίσωση DF και  $s$  το σφάλμα της ίδιας παλινδρομήσεως. Το στατιστικό αυτό έχει ίδια κατανομή με το αντίστοιχο του ελέγχου Dickey-Fuller.

Οι αντίστοιχοι έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας σε Panel (αγγλ. Panel Unit Root Tests ή εν συντομία PURTs) διαφέρουν αρκετά σε σχέση με τους αντίστοιχους ελέγχους σε μεμονωμένες χρονολογικές σειρές. Αρχικά, κρίνεται απαραίτητο να τονιστεί ότι, εφόσον γίνεται λόγος για Panel, οι χρονολογικές σειρές, οι οποίες περιέχονται σε αυτό, δεν ακολουθούν κατ' ανάγκη την ίδια ακριβώς γεννήτορα διαδικασία. Για το λόγο αυτό, ο διαχωρισμός ενός Panel σε στάσιμο και μη στάσιμο, δεν είναι καθόλου απλή υπόθεση, ειδικά σε σύγκριση με τις μεθόδους που ακολουθούνται για μελέτη στασιμότητας στα πλαίσια των μεμονωμένων χρονολογικών σειρών. Στις επόμενες παραγράφους εξηγούνται οι διαφορετικές κατηγορίες ελέγχων μοναδιαίας ρίζας σε Panel, ενώ επιπλέον αναλύονται οι έλεγχοι που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την έρευνα.

Οι έλεγχοι για μοναδιαία ρίζα σε πλαίσια δεδομένων Panel δύναται να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, αναφορικά με τις εναλλακτικές υποθέσεις τους. Ορισμένοι εξ αυτών ελέγχουν τη μηδενική υπόθεση ότι οι χρονολογικές σειρές κάθε μονάδας στο πάνελ ακολουθούν όμοια αυτοπαλίνδρομη διαδικασία, με το συντελεστή της χρονικής υστέρησης να είναι ίσος με τη μονάδα (άρα υπάρχει ομοιογένεια όσον αφορά το  $\delta$ ), έναντι της εναλλακτικής ότι ο συντελεστής  $\delta$  είναι μικρότερος του μηδενός για κάθε μονάδα, δηλαδή ότι ολόκληρο το Panel είναι στάσιμο. Για το λόγο αυτόν, οι έλεγχοι αυτής της κατηγορίας ονομάζονται και «Common (Unit) Root Tests». Ένας πολύ γνωστός έλεγχος, μέσω του οποίου ελέγχονται αυτές οι υποθέσεις, είναι αυτός των Levin, Lin και Chiu (2002). Γίνεται άμεσα φανερό από τη φύση της μηδενικής και της εναλλακτικής υπόθεσης, πως έλεγχοι αυτού του τύπου δε δίνουν αρκετή πληροφορία για τον αριθμό των σειρών ενός Panel. Επιπροσθέτως, τέτοιοι έλεγχοι δείχνουν να είναι προτιμότεροι σε περιπτώσεις όπου το  $N$  είναι μεγάλο και το  $T$  μικρότερο (Pesaran H. , 2011).

Με την άλλη οικογένεια ελέγχων εξετάζεται η εναλλακτική υπόθεση, κάθε διαδικασία ξεχωριστά να έχει μοναδιαία ρίζα, με εναλλακτική υπόθεση ότι τουλάχιστον μία χρονολογική σειρά του πάνελ είναι στάσιμη. Για αυτό και έλεγχοι αυτού του τύπου ονομάζονται «Individual Unit Root Tests». Παράδειγμα τέτοιου ελέγχου, του οποίου η χρήση παρατηρείται σε αρκετές έρευνες, είναι αυτός των Im, Pesaran και Shin (2003). Επίσης γνωστοί είναι οι έλεγχοι τύπου Fisher, οι οποίοι εφαρμόζουν τους ελέγχους μοναδιαίας ρίζας, που χρησιμοποιούνται σε χρονολογικές σειρές και συνδυάζουν τα στατιστικά  $p$ . Ακριβώς, επειδή η εναλλακτική υπόθεση σε αυτούς τους ελέγχους είναι  $H_1: \delta_i < 0$ , για ένα ή περισσότερα  $i$ , αυτό καθιστά τη



συγκεκριμένη κατηγορία ελέγχων πιο ελαστική σε σύγκριση με την προηγούμενη, στην οποία γίνεται η εναλλακτική υπόθεση της ομοιογένειας ως προς  $\delta < 0$  (Pesaran H., 2011).

Υπάρχουν, στη βιβλιογραφία, μέθοδοι συνδυασμού των p-value σε στατιστική ελέγχου για έλεγχο μοναδιαίας ρίζας σε Panel. Συγκεκριμένα, οι Maddala και Wu και ο Choi προτείνουν τον εξής έλεγχο τύπου Fisher:

$$P = -2 \sum_{i=1}^N \ln p_i$$

Η στατιστική ελέγχου αυτή, συνδυάζει τα p-value από ξεχωριστούς ελέγχους στην κάθε οικονομική μονάδα που εξετάζεται. Η τιμή  $-2 \ln p_i$  έχει κατανομή  $\chi^2$  με δύο βαθμούς ελευθερίας και άρα η  $P$  έχει κατανομή  $\chi^2$  με  $2N$  βαθμούς ελευθερίας, με  $T_i \rightarrow \infty$  για πεπερασμένο αριθμό μονάδων  $N$  (Baltagi B. H., Econometric Analysis of Panel Data, 2021).

Προτείνονται επιπλέον από τον Choi, δύο ακόμη στατιστικές ελέγχου  $Z = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \Phi^{-1}(p_i)$ , όπου με  $\Phi$  συμβολίζεται η αθροιστική συνάρτηση της τυποποιημένης κανονικής κατανομής. Εφόσον  $0 \leq p_i \leq 1$ , η  $\Phi^{-1}(p_i)$  είναι τυχαία μεταβλητή με κατανομή  $N(0,1)$  και με  $T_i \rightarrow \infty \forall i$ ,  $Z \Rightarrow N(0,1)$ . Ένας δεύτερος έλεγχος που προτείνεται από τον ίδιο συγγραφέα, είναι ο έλεγχος logit  $L = \sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right)$ , με το  $\ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right)$  να ακολουθεί τη λογιστική κατανομή με μέσο μηδέν και διακύμανση  $\pi^2/3$ . Με  $T_i \rightarrow \infty$  για όλα τα  $i$ , ισχύει  $\sqrt{m}L \Rightarrow t_{5N+4}$ , όπου  $m = \frac{3(5N+4)}{\pi^2 N(5N+2)}$ .

Για τους παραπάνω ελέγχους συνδυαζόμενων p-value, παρατηρούνται ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα. Αρχικά, ο αριθμός μονάδων  $N$  επιτρέπεται να είναι είτε πεπερασμένος είτε άπειρο. Κάθε ομάδα επιτρέπεται να έχει διαφορετικά στοχαστικά και μη στοχαστικά μέρη. Αναφορικά με το μέγεθος της χρονολογικής σειράς,  $T$ , αυτό δύναται να διαφέρει για κάθε μονάδα  $i$  και άρα, ένας τέτοιος έλεγχος αποτελεί καλή επιλογή σε περιπτώσεις άνισων (unbalanced) Panel. Επίσης, η εναλλακτική υπόθεση είναι ελαστική, αφού επιτρέπει την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας για κάποιες μονάδες παράλληλα με την αποδοχή της υπόθεσης της στασιμότητας για τις υπόλοιπες, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό με άλλους ελέγχους, όπως ο LLC (Baltagi B. H., Econometric Analysis of Panel Data, 2021). Τέλος, σημειώνεται πως, επειδή ουσιαστικά ελέγχεται η στασιμότητα κάθε σειράς του Panel ξεχωριστά, ο έλεγχος έχει, σε έναν βαθμό, ανθεκτικότητα απέναντι στην αλληλεξάρτηση μεταξύ των μονάδων.

Οι Im, Pesaran και Shin (2003) προτείνουν έναν διαφορετικό έλεγχο στασιμότητας, στον οποίο επιτρέπεται ετερογένεια στο συντελεστή της χρονικής υστέρησης της μεταβλητής που ελέγχεται. Στη διαδικασία που περιγράφεται από τους τρεις συγγραφείς χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των στατιστικών ελέγχων Augmented Dickey-Fuller για τον έλεγχο της μηδενικής

υπόθεσης πως κάθε μονάδα έχει μοναδιαία ρίζα, δηλαδή  $H_0: \rho_i = 0 \forall i$ . Η εναλλακτική υπόθεση είναι:

$$H_1: \begin{cases} \delta_i < 0 \text{ για } i = 1, 2, \dots, N_1 \\ \delta_i = 0 \text{ για } i = N_1 + 1, \dots, N. \end{cases}$$

Επισημώς, απαιτείται ο λόγος των ξεχωριστών χρονολογικών σειρών, οι οποίες είναι στάσιμες να είναι μη μηδενικός, δηλαδή  $\log_{N \rightarrow \infty} N_1/N = a$  με  $0 < a \leq 1$ . Η τελευταία συνθήκη είναι απαραίτητη για τη συνέπεια του συγκεκριμένου ελέγχου. Το αντίστοιχο στατιστικό IPS t-bar υπολογίζεται ως:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{\delta_i},$$

όπου  $t_{\rho_i}$  το στατιστικό t για τον έλεγχο της  $H_0: \delta_i = 0$  σε ξεχωριστή χρονοσειρά που αντιστοιχεί σε μονάδα  $i$  για όλες τις μονάδες  $i$  στο δείγμα. Οι Im, Pesaran και Shin δείχνουν πως, για την γενική περίπτωση που η τάξη των χρονικών υστερήσεων (lag order)  $p_i$  δύναται να είναι μη μηδενική για μερικές μονάδες, το τυποποιημένο  $\bar{t}$  ακολουθεί ασυμπτωτικά την κατανομή  $N(0,1)$ . Αυτό αποδεικνύεται αρχίζοντας από το γνωστό συμπέρασμα από τη θεωρία χρονολογικών σειρών, ότι για πλήθος οικονομικών μονάδων  $N$ , ισχύει:

$$t_{\rho_i} \Rightarrow \frac{\int_0^1 W_{iz} dW_{iz}}{\int_0^1 W_{iz}^2} = t_{iT}$$

με  $T \rightarrow \infty$ , όπου το  $\int W(r)dr$  ολοκλήρωμα Weiner με το  $\rho$  συμπιεσμένο στην παραπάνω εξίσωση. Γίνεται η υπόθεση ότι τα  $t_{iT}$  είναι ομοιόμορφα ανεξάρτητα κατανεμημένα, ενώ έχουν επίσης πεπερασμένο μέσο και διακύμανση. Έτσι:

$$\frac{\sqrt{N}(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{iT} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E[t_{iT} | \delta_i = 0])}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V[t_{iT} | \delta_i = 0]}} \rightarrow N(0,1)$$

και από Κεντρικό Οριακό Θεώρημα, με  $N \rightarrow \infty$  προκύπτει:

$$t_{IPS} = \frac{\sqrt{N}(\bar{t} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E[t_{iT} | \delta_i = 0])}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V[t_{iT} | \delta_i = 0]}} \rightarrow N(0,1)$$

με  $T \rightarrow \infty$ , ακολουθούμενο από  $N \rightarrow \infty$ . Οι τιμές των  $E[t_{iT} | \delta_i = 0]$  και  $Var[t_{iT} | \delta_i = 0]$  έχουν υπολογιστεί μέσω προσομοιώσεων από τους συγγραφείς, για διάφορες τιμές του  $T$  και του  $\rho_i$ 's.

Η βιβλιογραφία των ελέγχων μοναδιαίας ρίζας σε δεδομένα πάνελ χωρίζεται επιπλέον σε δύο γενεές ελέγχων, το χάσμα ανάμεσα στις οποίες αποτελεί η δυνατότητα αντιμετώπισης του φαινομένου της αλληλεξάρτησης των οικονομικών μονάδων, που δύναται να υπάρχει σε ένα πάνελ (Baltagi B. H., *Econometric Analysis of Panel Data*, 2021). Όπως επισημαίνεται στη δεύτερη ενότητα του Κεφαλαίου, η αλληλεξάρτηση μεταξύ των μονάδων στα πλαίσια των δεδομένων Panel, είναι κάτι το οποίο πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη σε μελέτες που κάνουν χρήση τέτοιων δεδομένων. Μέθοδοι ελέγχου στασιμότητας σε Panel, στους οποίους επιχειρείται η αντιμετώπιση αυτής της αλληλεξάρτησης, κάνουν την εμφάνισή τους στη βιβλιογραφία, μόλις την τελευταία εικοσαετία.

Η δεύτερης γενιάς εκδοχή του ελέγχου Im, Pesaran και Shin προκύπτει από τροποποίηση του Hashem Pesaran (2007) επί του αρχικού ελέγχου. Για την αντιμετώπιση της αλληλεξάρτησης μεταξύ των οικονομικών μονάδων, προτείνεται από τον Pesaran η επαύξηση του (ήδη) επαυξημένου ελέγχου Dickey-Fuller (ADF) με χρονική υστέρηση του διαστρωματικού μέσου και της πρώτης διαφοράς του. Αυτός ο έλεγχος αποκαλείται Cross-Sectionally Augmented Dickey-Fuller (ADF) και η αντίστοιχη εξίσωση βάσει της οποίας διεξάγεται, έχει ως εξής:

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \delta_i^* Y_{i,t-1} + d_0 \bar{Y}_{t-1} + d_1 \Delta \bar{Y}_t + u_{it}$$

όπου με  $\bar{Y}_t$  συμβολίζεται ο μέσος όλων των  $N$  παρατηρήσεων που αντιστοιχούν στη χρονική στιγμή  $t$ . Εάν υπάρχει αυτοσυσχέτιση στα σφάλματα ή τον παράγοντα, θα πρέπει να επαυξηθεί η εξίσωση παλινδρόμησης, όπως στη μονομεταβλητή περίπτωση, με τις πρώτες διαφορές της  $Y_{it}$ , αλλά στο συγκεκριμένο υπόδειγμα, θα πρέπει να προστεθούν επιπλέον και οι πρώτες διαφορές του  $\bar{Y}_t$ . Με την τελευταία επαύξηση, η εξίσωση γίνεται:

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \rho_i^* Y_{i,t-1} + d_0 \bar{Y}_{t-1} + \sum_{j=0}^p d_{j+1} \Delta \bar{Y}_{t-j} + \sum_{k=1}^p c_k \Delta Y_{i,t-k} + u_{it}$$

Αφού εκτελεστεί η παλινδρόμηση CADF για κάθε οικονομική μονάδα  $i$  στο πάνελ, λαμβάνεται σαν στατιστικό CIPS, ο μέσος όρος των  $t$ -statistics στη χρονική υστέρηση (αποκαλείται  $CADF_i$ ). Δηλαδή:

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i.$$

Το από κοινού ασυμπτωτικό όριο της στατιστικής CIPS είναι μη-τυποποιημένο και οι κρίσιμες τιμές του δίνονται για ποικίλα  $N$  και  $T$ . Τα  $t$ -test, τα οποία δίνονται από τον έλεγχο πρέπει να μην είναι επηρεασμένα από τη συσχέτιση μεταξύ των μονάδων. Η οριακή κατανομή των ελέγχων αυτών είναι διαφορετική από της κατανομής Dickey-Fuller λόγω της ύπαρξης του

διαστρωματικού μέσου της χρονικής υστέρησης της  $Y_t$  στο μοντέλο. Χρησιμοποιείται επίσης από τον Pesaran και τετριμμένη εκδοχή του ελέγχου IPS, προς αποφυγή προβλήματος στον υπολογισμό των ροπών. Επιπλέον, οι έλεγχοι  $t$  χρησιμοποιούνται σε σύνθετο έλεγχο βασισμένο στην ανεστραμμένη κανονική κατανομή.

Είναι προφανές, πως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην ερμηνεία αποτελεσμάτων των ελέγχων μοναδιαίας ρίζας σε πάνελ. Εάν αυτή δεν αποδοθεί, είναι εύκολο κάποιο συμπέρασμα λανθασμένο, που με τη σειρά του θα επηρεάσει τα υπόλοιπα βήματα μιας έρευνας. Συγκεκριμένα, προσοχή πρέπει να δοθεί στις εναλλακτικές υποθέσεις ( $H_1$ ) των ελέγχων. Όπως σημειώνεται από τον Pesaran, στη δημοσίευση «On the Interpretation of Panel Unit Root Tests» (2011), οι δύο εναλλακτικές υποθέσεις στους ελέγχους αποτελούν πρακτικά δύο αντίθετα εννοιολογικά άκρα και έτσι, είναι δύσκολο να αποφανθεί κάποιος περί της στασιμότητας ενός ολόκληρου πάνελ. Η ερμηνεία της απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης, όπως τονίζεται από τον Pesaran (2011), είναι πως ένα μη μηδενικό κλάσμα των χρονολογικών σειρών του πάνελ είναι στάσιμο, αλλά δεν υπάρχει εκτίμηση του πόσο μεγάλο είναι αυτό το κλάσμα. Έτσι, Διαφαίνεται, ότι για πάνελ με μεγαλύτερο  $T$  και  $N$ , προκύπτει ανάγκη για μια ενδιάμεση λύση, στους δύο τύπους ελέγχων. Αναφορικά, ο ίδιος προτείνει σαν πιο κατάλληλη εναλλακτική υπόθεση την:

$$H_1: \delta_i < 0, \quad i = 1, 2, \dots, N_1$$

$$\text{και } \delta_i = 0, \quad i = N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N$$

Ούτως ώστε:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_1}{N} = r, 0 < r \leq 1$$

Με βάσει τα παραπάνω, οι υποθέσεις του ελέγχου πλέον γίνονται:

$$H_0: r = 0$$

$$H_1: r > 0$$

Η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης, λοιπόν, αποτελεί απόδειξη για την αντίστοιχη απόρριψη της υπόθεσης της στασιμότητας για ένα κλάσμα των  $N$  μονάδων, το οποίο είναι μη μηδενικό. Με μεγάλο  $T$ , γίνεται να εφαρμοστούν οι έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας ξεχωριστά σε κάθε χρονολογική σειρά. Με μεγάλο  $N$  και  $T$ , μια συνεπής εκτίμηση του  $r$  θα μπορεί να δοθεί από την αναλογία των μονάδων για τις οποίες στον (ξεχωριστό) έλεγχο μοναδιαίας ρίζας, απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση. Σε περίπτωση που τα  $N$  και  $T$  είναι μικρά, δεν υπάρχει συνεπής εκτίμηση (Pesaran Η. , 2011). Μέχρι στιγμής, δεν έχει επισημοποιηθεί κάποια συγκεκριμένη σειρά υπολογισμών για τέτοιο έλεγχο και άρα δεν υπάρχει ακόμη κάτι αντίστοιχο διαθέσιμο σε στατιστικά πακέτα. Όπως φαίνεται μέσα από τα παραπάνω όμως, οι έλεγχοι

στασιμότητας των πάνελ θα συνεχίσουν να απασχολούν την επιστημονική κοινότητα του κλάδου και άρα αναμένονται νεότερα ευρήματα, καθώς και νέοι έλεγχοι.

### 3.5 Τεχνικές Εκτίμησης Πάνελ

Στην Ενότητα αυτή, παρουσιάζονται οι πιο κλασικές τεχνικές εκτίμησης με δεδομένα Panel, δύο εκ των οποίων χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων στη συγκεκριμένη διατριβή. Ειδικότερα, αναλύονται οι εξής τεχνικές:

- Ομαδοποιημένων Ελαχίστων Τετραγώνων (Pooled OLS)
- Τυχαίων Επιδράσεων (Random Effects)
- Σταθερών Επιδράσεων (Fixed Effects)
- Πρώτων Διαφορών (First-Differences)

Επειδή η πρώτη τεχνική αποτελεί βάση για τις υπόλοιπες, αλλά και επειδή το σκεπτικό πίσω από τους υπόλοιπους εκτιμητές, τους καθιστά άρρηκτα συνδεδεμένους, κρίνεται σκόπιμη η ανάλυση και των τεσσάρων υποδειγμάτων εκτίμησης, με στόχο την ευκολότερη κατανόηση αυτών.

#### ***Ομαδοποιημένα Ελάχιστα Τετράγωνα***

Η βασικότερη των κλασικών τεχνικών εκτίμησης Panel Data είναι η απλή παλινδρόμηση με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Στη μέθοδο αυτή, συνδυάζονται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, για όλες τις ομάδες και για όλες τις περιόδους (αγνοώντας δηλαδή τη φύση των δεδομένων, διαστρωματικά ή παρατηρήσεις χρονολογικής σειράς) και εκτελείται με αυτά η εκτίμηση κανονικών ελαχίστων τετραγώνων (Gujarati & Porter, 2008). Για αυτό, η συγκεκριμένη μέθοδος ονομάζεται μέθοδος ομαδοποιημένων ελαχίστων τετραγώνων ή Pooled OLS (POLS). Χρησιμοποιώντας τον δείκτη  $i$  για συμβολισμό των παρατηρήσεων μιας μονάδας, το υπόδειγμα στο οποίο αναφέρεται αυτή η εκτίμηση είναι το:

$$y_{it} = \beta x_{it} + u_{it}$$

όπου με  $x_{it}$  συμβολίζεται διάνυσμα με τις τιμές των ερμηνευτικών μεταβλητών μιας μονάδας για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Παρά τον συμβολισμό  $x_{it}$ , κάποια στοιχεία του  $x_{it}$  επιτρέπεται να παραμένουν σταθερά στον χρόνο. Τέτοιες μεταβλητές μπορεί να είναι ψευδομεταβλητές για χαρακτηριστικά όπως το φύλλο σε έρευνες όπου το  $i$  αναφέρεται σε άτομα, ή ψευδομεταβλητές που δείχνουν το κράτος ή πολιτεία, εάν το  $i$  δηλώνει πόλεις (Wooldridge, 2010).

Όπως φαίνεται και στον τύπο, γίνεται η υπόθεση πως τόσο ο συντελεστής κλίσης της ανεξάρτητης μεταβλητής, όσο και ο σταθερός όρος είναι κοινοί για κάθε μία εκ των  $N$  οικονομικών μονάδων στο δείγμα. Κατά συνέπεια, για να είναι αποτελεσματική δηλαδή αυτή η τεχνική, θα πρέπει οι τιμές που παίρνει η μεταβλητή εντός κάθε μονάδας να είναι παραπλήσιες. Εύκολα βλέπει κανείς πως, όταν γίνεται έρευνα με μονάδες που έχουν διαφορά μεγέθους μεταξύ τους, όπως διαφορετικές χώρες, κάτι τέτοιο είναι μη ρεαλιστικό (Wooldridge, 2010).

Οι δύο ικανές συνθήκες για τη συνεπή εκτίμηση με Pooled OLS είναι οι κάτωθι:

$$\text{POLS.1: } E(\mathbf{x}'_{it}u_{it}) = 0, \quad t = 1, 2, \dots, T.$$

$$\text{POLS.2: } \text{rank}[\sum_{t=1}^T E(\mathbf{x}'_t\mathbf{x}_t)] = K.$$

Προσοχή απαιτεί το γεγονός ότι, στην πρώτη υπόθεση δεν αναφέρεται τίποτα σχετικό με τη σχέση ανάμεσα σε  $x_s$  και  $u_t$  για  $s \neq t$ . Δηλαδή η POLS.1 αναφέρεται σε εξωγένεια μόνο σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο  $t$ . Με τη δεύτερη υπόθεση ουσιαστικά απαγορεύονται τέλει γραμμικές εξαρτήσεις ανάμεσα στις ανεξάρτητες μεταβλητές (Wooldridge, 2010).

Για να είναι εφαρμόσιμες οι κλασικές στατιστικές ελέγχου της μεθόδου OLS και στη συγκεκριμένη τεχνική, πρέπει να προστεθούν υποθέσεις ομοσκεδαστικότητας και αυτοσυσχέτισης. Οι ασθενέστερες εκδοχές των υποθέσεων αυτών έχουν ως εξής:

$$\text{POLS.3: (a) } E(u_{it}^2\mathbf{x}'_{it}\mathbf{x}_{it}) = \sigma^2 E(\mathbf{x}'_{it}\mathbf{x}_{it}), \quad t = 1, 2, \dots, T.$$

όπου  $\sigma^2 = E(u_{it}^2)$  για κάθε  $t$ .

$$\text{(b) } E(u_{it}u_{is}\mathbf{x}'_{it}\mathbf{x}_{it}) = 0, \quad t \neq s, \quad t, s = 1, \dots, T.$$

Το πρώτο μέρος είναι μία (και πάλι) αρκετά ισχυρή υπόθεση εξωγένειας. Ο Wooldridge (2010) αναφέρει, πως αρκεί  $E(u_t^2|\mathbf{x}_t) = \sigma^2 \forall t$ . Αυτό δείχνει, όχι μόνο πως ο η διακύμανση δεν εξαρτάται από τις ανεξάρτητες μεταβλητές, αλλά και ότι η αυτή είναι σταθερή σε κάθε περίοδο. Το δεύτερο μέρος, ουσιαστικά περιορίζει τις διακυμάνσεις σε διαφορετικές περιόδους να είναι μηδενικές. Εφόσον στο  $\mathbf{x}_t$  περιέχεται σχεδόν πάντα σταθερός όρος, απαιτείται τουλάχιστον να ισχύει ότι  $E(u_t u_s) = 0, \quad t \neq s$ . Αρκεί, πάντως, να ισχύει  $E(u_t u_s | \mathbf{x}_t, \mathbf{x}_s) = 0, \quad t \neq s, \quad t, s = 1, \dots, T$ . Με την υπόθεση POLS.3, δεν δηλώνεται απλώς μία συγκεκριμένη μορφή του πίνακα διακυμάνσεων των  $\mathbf{u} \equiv (u_1, \dots, u_T)$ . Η υπόθεση δείχνει ότι  $E(\mathbf{u}_i \mathbf{u}_i') = \sigma^2 \mathbf{I}_T$  και επιπλέον περιορίζει τις δεσμευμένες διακυμάνσεις και συνδιακυμάνσεις (Wooldridge, 2010).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ασυμπτωτικές ιδιότητες της τεχνικής των ομαδοποιημένων ελαχίστων τετραγώνων, δηλαδή η συμπεριφορά του εκτιμητή για μεγάλα δείγματα. Υπό τις υποθέσεις POLS.1 και POLS.2, ο εκτιμητής είναι συνεπής και ακολουθεί ασυμπτωτικά την

κανονική κατανομή. Εάν, επιπρόσθετα, ισχύει και η POLS.3, τότε ισχύει ότι  $\text{Avar}(\hat{\beta}) = \sigma^2 [E(\mathbf{X}'_i \mathbf{X}_i)]^{-1} / N$  και ο κατάλληλος εκτιμητής της  $\text{Avar}(\hat{\beta})$  είναι:

$$\hat{\sigma}^2 (\mathbf{X}' \mathbf{X})^{-1} = \hat{\sigma}^2 \left( \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \mathbf{x}'_{it} \mathbf{x}_{it} \right)^{-1},$$

όπου  $\hat{\sigma}^2$  ο συνήθης εκτιμητής διακύμανσης OLS από την παλινδρόμηση του  $y_{it}$  στο  $\mathbf{x}_{it}$  (Wooldridge, 2010).

Οι Phillips και Moon (1999), παρουσιάζουν εργασία, η οποία γίνεται λόγος που η μη στασιμότητα των μεταβλητών αντιμετωπίζεται πολύ διαφορετικά στα πλαίσια των δεδομένων Panel. Οι συγγραφείς εξετάζουν τη συμπεριφορά μοντέλων παλινδρόμησης με μη στάσιμες μεταβλητές με two-way asymptotics, είτε ταυτόχρονα είτε ακολουθιακά. Ανακάλυψαν πως με  $T \rightarrow \infty$  και ακολούθως  $N \rightarrow \infty$ , η εκτίμηση γίνεται συνεπής, αν και συγκλίνει στην πραγματική τιμή του εκτιμητή πιο αργά από ότι στην περίπτωση της συνολοκλήρωσης. Αυτό συμβαίνει, διότι στα δεδομένα Panel, παρέχεται επιπλέον πληροφορία από τη διαστρωματική διάσταση, ελαχιστοποιώντας έτσι τον θόρυβο και δίνοντας σωστό σήμα για την εκτίμηση των συντελεστών. Αυτό είναι πολύ διαφορετικό αποτέλεσμα από την περίπτωση της παλινδρόμησης με μη στάσιμες χρονολογικές σειρές, όπου η εκτίμηση είναι ασυνεπής και απαιτείται η χρήση διαφορών των μεταβλητών. Απαιτείται όμως, τουλάχιστον ένα ικανοποιητικό μέγεθος  $N$  εκτός από μεγάλο  $T$  (Baltagi B. H., 2021; Millo & Croissant, 2018).

Στο γραμμικό αυτό μοντέλο, πρέπει οπωσδήποτε να είναι ασυσχέτιστες οι ερμηνευτικές μεταβλητές με τα σφάλματα της ίδιας περιόδου, δηλαδή να πληρείται η αυστηρή εξωγένεια. Με άλλα λόγια:

$$E(u_{it} | x_{it}) = 0, t = 1, 2, \dots, T$$

Για κάποιες εφαρμογές με δεδομένα Panel όμως, αυτή αποτελεί μια πολύ αυστηρή υπόθεση και έτσι, στα πλαίσια δεδομένων Panel, βασικό κίνητρο αποτελεί η αντιμετώπιση του προβλήματος των παραληφθέντων μεταβλητών, το οποίο προκαλεί ενδογένεια, δηλαδή συσχέτιση ανάμεσα στις ερμηνευτικές μεταβλητές και τα κατάλοιπα (Wooldridge, 2010). Πράγματι, οι πιο κλασικές εκτίμησης Panel Data έχουν δημιουργηθεί για την αντιμετώπιση αυτού του πιθανού προβλήματος παράλειψης σημαντικών μεταβλητών, κάνοντας χρήση μοντέλων που περιλαμβάνουν μη παρατηρούμενες επιδράσεις οι οποίες δεν μεταβάλλονται στο χρόνο. Το βασικό ζήτημα στη συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι εάν οι επιδράσεις αυτές συσχετίζονται με τις ερμηνευτικές μεταβλητές (Wooldridge, 2010).

### Υπόδειγμα Τυχαίων Επιδράσεων

Η πρώτη από αυτές τις κλασικές τεχνικές εκτίμησης είναι το λεγόμενο υπόδειγμα των Τυχαίων Επιδράσεων ή Random Effects (RE) Model. Στο εν λόγω υπόδειγμα, χρησιμοποιούνται διαφορετικοί σταθεροί όροι για κάθε μονάδα  $i$  της έρευνας, θεωρώντας ότι αυτοί έχουν ληφθεί από ένα σύνολο πιθανών σταθερών όρων, που μπορούν να θεωρηθούν τυχαίες μεταβλητές (συνήθως υποτίθεται ότι ακολουθούν κανονική κατανομή) και ενσωματώνονται στα σφάλματα (Kennedy, 2008). Σαν αποτέλεσμα, το υπόδειγμα περιλαμβάνει ένα συνολικό σταθερό όρο, τις ερμηνευτικές μεταβλητές με τους συντελεστές που ενδιαφέρουν, καθώς σύνθετο όρο σφάλματος  $v_{it}$ . Ο τελευταίος αποκαλείται σύνθετος (αγγλ. composite), διότι αποτελείται από την τυχαία μεταβλητή  $c_i$ , που διαφέρει από οντότητα σε οντότητα αλλά όχι διαχρονικά, καθώς και από τα γνωστά κατάλοιπα για κάθε παρατήρηση  $u_{it}$ . Το υπόδειγμα δηλαδή είναι το:

$$y_{it} = \beta x_{it} + v_{it}$$

με  $v_{it} = c_i + u_{it}$ .

Γίνεται, όπως και στο μοντέλο ομαδοποιημένων ελαχίστων τετραγώνων, η υπόθεση της αυστηρής εξωγένειας, δηλαδή της μη συσχέτισης των σφαλμάτων με τις εξωγενείς μεταβλητές. Λόγω της ιδιαιτερότητας του μοντέλου, σχετικά με την συμπερίληψη των διαφορετικών σταθερών όρων για την ετερογένεια κάθε μονάδας, πρέπει να δοθεί προσοχή και σε ένα ακόμη σημείο. Συγκεκριμένα, η πρώτη υπόθεση του υποδείγματος είναι:

$$\text{RE.1: (a) } E(u_{it}|x_i, c_i) = 0, \quad t = 1, 2, \dots, T.$$

$$\text{(b) } E(c_i|x_i) = E(c_i) = 0$$

με  $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{iT})$ . Με άλλα λόγια, όχι μόνο πρέπει οι τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών να είναι ασυσχέτιστες με τα σφάλματα, αλλά πρέπει, επιπρόσθετα, ο ατομικός σταθερός όρος κάθε οικονομικής μονάδας να είναι ανεξάρτητος με τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών για τη μονάδα αυτή (Wooldridge, 2010).

Οι παράμετροι στο μοντέλο των τυχαίων επιδράσεων εκτιμώνται με συνέπεια αλλά αναποτελεσματικά από την παραδοσιακή μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS), αφού η παρουσία του όρου  $c_i$  εντός των σφαλμάτων συνεπάγεται χρονική συσχέτιση (serial correlation) των σφαλμάτων για κάθε οντότητα. Η δυσκολία αυτή αντιμετωπίζεται με τη χρήση της μεθόδου των Γενικευμένων Ελαχίστων Τετραγώνων (αγγλ. Generalized Least Squares ή GLS) ή τη μέθοδο Εφικτών Γενικευμένων Ελαχίστων Τετραγώνων (αγγλ. Feasible Generalized Least Squares ή FGLS) (Wooldridge, 2010). Για αυτό, η επόμενη υπόθεση είναι η συνήθης για τη συνέπεια της μεθόδου GLS:

$$\text{RE.2: } \text{rank}(\mathbf{X}'_i \mathbf{\Omega}^{-1} \mathbf{X}_i) = K$$



Οι τεχνικές GLS και FGLS είναι συνεπείς κάτω από τις υποθέσεις RE.1 και RE.2.

Ο μετασχηματισμός για την εκτίμηση με GLS, είναι η αφαίρεση του σταθμικού μέσου όρου της μεταβλητής  $Y_{it}$  διαχρονικά. Με άλλα λόγια πρόκειται για αφαίρεση μέρους του μέσου όρου και όχι του ολικού. Υπολογίζονται έτσι, οι  $Y_{it}^* = Y_{it} - \theta \bar{Y}_i$  και  $X_{it}^* = X_{it} - \theta \bar{X}_i$ , όπου  $\theta$  συνάρτηση της διακύμανσης των σφαλμάτων των παρατηρήσεων  $\sigma_u^2$  και της διακύμανσης των ξεχωριστών για κάθε οντότητα σφαλμάτων  $\sigma_c^2$ , που υπολογίζεται από τον τύπο (Wooldridge, 2010):

$$\theta = 1 - \frac{\sigma_u}{\sqrt{T\sigma_c^2 + \sigma_u^2}}$$

και έτσι ο GLS εκτιμητής είναι:

$$\hat{\beta}_{GLS} = \hat{\beta}_{OLS}^* = (\mathbf{X}'_*\mathbf{Y}_*)^{-1}(\mathbf{X}'_*\mathbf{Y}_*)$$

Είναι φανερό, πως όταν μεγαλώνει το  $\sigma_c^2$ ,  $\theta \rightarrow 1$  και ο η μέθοδος είναι ουσιαστικά απευθείας εκτίμηση Pooled OLS, ενώ για πολύ μικρό  $\sigma_c^2$ ,  $\theta \rightarrow 0$  Και ο μετασχηματισμός ταυτίζεται με αυτόν της εκτίμησης Within, που αναλύεται στο επόμενο υπόδειγμα. Σημειώνεται, πως σε περίπτωση άνισου Panel, αφού ο αριθμός παρατηρήσεων  $T$  των μονάδων διαφέρει, η τιμή  $\theta$  επίσης διαφέρει για κάθε μονάδα  $i$  και άρα ορίζονται διάφορα  $\theta_i$ . Επιπλέον, θα υπάρχει ετεροσκεδαστικότητα μεταξύ των μονάδων (αγγλ. groupwise heteroskedasticity), που οφείλεται αποκλειστικά στη διαφορά μεγέθους των  $T_i$  (Χρήστου, 2011).

Σε μια ανάλυση Random Effects, γίνονται πρόσθετες υποθέσεις για το σφάλμα ιδιοσυγκρασίας, οι οποίες δίνουν στον πίνακα διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων  $\mathbf{\Omega}$  ιδιαίτερη μορφή (Wooldridge, 2010). Αναλυτικότερα, η πρώτη υπόθεση είναι αυτή της σταθερής διακύμανσης των  $u_{it}$  στο χρόνο:

$$E(u_{it}^2) = \sigma_u^2, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

Η δεύτερη υπόθεση αφορά την απουσία χρονικής συσχέτισης στα σφάλματα:

$$E(u_{it}u_{is}) = 0, \quad t \neq s$$

Με τις δύο τελευταίες υποθέσεις γίνεται δυνατός ο υπολογισμός των διακυμάνσεων και συνδιακυμάνσεων των στοιχείων του  $v_i$ . Ισχύουν τα κάτωθι:

$$E(v_{it}^2) = E(c_i^2) + 2E(c_i u_{it}) + E(u_{it}^2) = \sigma_c^2 + \sigma_u^2$$

και, για  $t \neq s$ :

$$E(v_{it}, v_{is}) = E(c_i^2) = \sigma_c^2$$

Έτσι, ο πίνακας διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων  $\mathbf{\Omega}$  είναι:

$$\mathbf{\Omega} = E(\mathbf{v}_i \mathbf{v}_i') = \begin{pmatrix} \sigma_c^2 + \sigma_u^2 & \sigma_c^2 & \dots & \sigma_c^2 \\ \sigma_c^2 & \sigma_c^2 + \sigma_u^2 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \sigma_c^2 \\ \sigma_c^2 & \vdots & \vdots & \sigma_c^2 + \sigma_u^2 \end{pmatrix}$$

Θεωρώντας με  $\mathbf{j}_T \mathbf{j}_T'$  πίνακα  $T \times T$  με τη μονάδα σε όλα τα στοιχεία του, ο πίνακας γράφεται και με τη μορφή:

$$\mathbf{\Omega} = \sigma_u^2 \mathbf{I}_T + \sigma_c^2 \mathbf{j}_T \mathbf{j}_T'$$

Συμπεραίνεται από τη μορφή του πίνακα, ότι εξαρτάται μόνο από τις παραμέτρους  $\sigma_u$  και  $\sigma_c$ , όντας ανεξάρτητος του  $T$ . Επιπλέον, η συσχέτιση ανάμεσα στα σύνθετα σφάλματα  $v_{it}$  και  $v_{is}$  δεν εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των  $t, s$ .

Οι τελευταίες δύο υποθέσεις υπονοούνται και από την τρίτη υπόθεση Random Effects:

$$\text{RE.3: (a) } E(\mathbf{u}_i \mathbf{u}_i' | \mathbf{x}_i, c_i) = \sigma_u^2 \mathbf{I}_T$$

$$\text{(b) } E(c_i^2 | \mathbf{x}_i) = \sigma_c^2$$

Ουσιαστικά, η RE.3 (a) δείχνει ότι  $E(u_{it}^2 | \mathbf{x}_i, c_i) = \sigma_u^2$ ,  $t = 1, \dots, T$  και  $E(u_{it} u_{is} | \mathbf{x}_i, c_i) = 0$ ,  $t \neq s$ ,  $t, s = 1, \dots, T$ . Όμως, η υπόθεση RE.3. (a) είναι ισχυρότερη, αφού μέσω αυτής υποτίθεται ότι η δεσμευμένες διακυμάνσεις είναι σταθερές και οι δεσμευμένες συνδιακυμάνσεις μηδενικές. Η RE.3(b) είναι υπόθεση της ομοσκεδαστικότητας της μη παρατηρούμενης επίδρασης  $c_i$ . Όταν ισχύει η RE.3, ο πίνακας  $\mathbf{\Omega}$  έχει τη μορφή που περιγράφηκε και έχει ισχύ και η υπόθεση ότι ο πίνακας διακυμάνσεων των  $v_i$  δεδομένων των  $\mathbf{x}_i$  είναι σταθερός (Wooldridge, 2010). Δηλαδή:

$$E(\mathbf{v}_i \mathbf{v}_i' | \mathbf{x}_i, c_i) = E(\mathbf{v}_i \mathbf{v}_i')$$

Στην εκτίμηση με GLS, ο πίνακας  $\mathbf{\Omega}$  θεωρείται γνωστός. Επειδή όμως, πολλές φορές οι τιμές των .Για τη διεκπεραίωση της διαδικασίας των Εφικτών Γενικευμένων Ελαχίστων Τετραγώνων, ορίζονται η διακύμανση των (σύνθετων) σφαλμάτων ως  $\sigma_v^2 = \sigma_u^2 + \sigma_c^2$  και εάν υπάρχουν συνεπείς εκτιμητές των  $\sigma_u^2$  και  $\sigma_c^2$ , σχηματίζεται ο  $T \times T$  πίνακας:

$$\hat{\mathbf{\Omega}} = \hat{\sigma}_u^2 \mathbf{I}_T + \hat{\sigma}_c^2 \mathbf{j}_T \mathbf{j}_T'$$

Στα πλαίσια των δεδομένων Panel, ο εκτιμητής FGLS, ο οποίος χρησιμοποιεί τον συγκεκριμένο πίνακα διακύμανσης, είναι γνωστός ως «Εκτιμητής Τυχαίων Επιδράσεων» ή, στην αγγλική ορολογία, Random Effects (Wooldridge, 2010):

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_{RE} = \left( \sum_{i=1}^N \mathbf{X}_i' \hat{\mathbf{\Omega}}^{-1} \mathbf{X}_i \right)^{-1} \left( \sum_{i=1}^N \mathbf{X}_i' \hat{\mathbf{\Omega}}^{-1} \mathbf{y}_i \right)$$

Εάν ισχύει η υπόθεση RE.3, ο εκτιμητής τυχαίων επιδράσεων είναι αποτελεσματικός στην κατηγορία των εκτιμητών, συμπεριλαμβανομένου του εκτιμητή ομαδοποιημένων ελαχίστων τετραγώνων και κάποιων ακόμη εκτιμητών σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων, διότι η τεχνική Random Effects είναι ασυμπτωτικά ισοδύναμη με τη μέθοδο των γενικευμένων ελαχίστων τετραγώνων κάτω από τις υποθέσεις RE.1-RE.3. Η ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στις μεθόδους είναι ο υπολογισμός του τετραγωνικού πίνακα  $\hat{\Omega}$  (Wooldridge, 2010).

Είναι εξίσου σημαντικό να τονιστεί πως ο συγκεκριμένος εκτιμητής είναι γενικά συνεπής ακόμα και αν δεν ισχύει η υπόθεση RE.3. Παρά το γεγονός ότι η μορφή του πίνακα  $\Omega$  συνδέεται άρρηκτα με την υπόθεση αυτή, η λανθασμένη επιβολή περιορισμού στη διακύμανση  $E(\mathbf{v}_i \mathbf{v}_i')$  δεν προκαλεί ασυνέπεια της εκτίμησης FGLS, εάν ισχύει η υπόθεση της αυστηρής εξωγένειας. Θα πρέπει απλώς, να γίνει μία μικρή αλλαγή και να χρησιμοποιηθεί ο  $\text{plim}(\hat{\Omega})$  αντί του  $\Omega$  στην υπόθεση RE.2. Χωρίς την RE.3 όμως, οφείλει να εξασφαλιστεί η κατάλληλη ανθεκτικότητα για τη συμπερασματολογία μέσω Random Effects (Wooldridge, 2010).

Έχει ήδη εξηγηθεί πως, για τον υπολογισμό του  $\hat{\Omega}$  και εν συνεχεία για τη διαδικασία FGLS, χρειάζονται εκτιμήσεις  $\hat{\sigma}_u^2$  και  $\hat{\sigma}_c^2$ . Είναι ευκολότερο, στην πραγματικότητα, να αποκτηθεί η εκτίμηση  $\hat{\sigma}_v^2 = \hat{\sigma}_u^2 + \hat{\sigma}_c^2$ , αφού, υπό την υπόθεση RE.3(a), ισχύει  $\hat{\sigma}_v^2 = T^{-1} \sum_{t=1}^T E(v_{it}^2)$  για κάθε  $i$ . Άρα, παίρνοντας τον μέσο των  $v_{it}^2$ , διαστρωματικά και διαχρονικά, πρέπει να προκύπτει συνεπής εκτιμητής της διακύμανσης  $\sigma_v^2$  (Wooldridge, 2010). Έστω ότι  $\check{v}_{it}$  τα κατάλοιπα από την παλινδρόμηση Pooled OLS. Μία συνεπής εκτίμηση της  $\sigma_v^2$  είναι η:

$$\hat{\sigma}_v^2 = \frac{1}{(NT - K)} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \check{v}_{it}^2$$

Η διόρθωση στους βαθμούς ελευθερίας δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση ασυμπτωτικά.

Για την εύρεση κατάλληλης εκτιμήτριας για την  $\sigma_c^2$ , χρησιμοποιείται η σχέση  $\sigma_c^2 = E(v_{it}v_{is}), \forall t \neq s$ . Ισχύει το εξής:

$$\begin{aligned} E\left(\sum_{t=1}^{T-1} \sum_{s=t+1}^T v_{it}v_{is}\right) &= \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{s=t+1}^T E(v_{it}v_{is}) = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{s=t+1}^T \sigma_c^2 = \sigma_c^2 \sum_{t=1}^{T-1} (T-t) \\ &= \sigma_c^2 ((T-1) + (T-2) + \dots + 2 + 1) = \sigma_c^2 T(T-1)/2 \end{aligned}$$

όπου έχει χρησιμοποιηθεί το γεγονός ότι το άθροισμα των πρώτων  $T-1$  θετικών ακεραίων είναι  $T(T-1)/2$ . Όπως και πριν, προκύπτει συνεπής εκτίμηση αντικαθιστώντας τη μαθηματική ελπίδα με τον μέσο και τα κατάλοιπα με τα αντίστοιχα από OLS, ενώ δύναται να πραγματοποιηθεί και διόρθωση στους βαθμούς ελευθερίας για μικρό δείγμα (Wooldridge, 2010):

$$\hat{\sigma}_c^2 = \frac{1}{[NT(T-1)/2 - K]} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{s=t+1}^T \check{v}_{it} \check{v}_{is}.$$

Έπειτα, είναι εφικτός ο σχηματισμός της  $\hat{\sigma}_u^2$  χρησιμοποιώντας τις υπόλοιπες δύο εκτιμήσεις, δηλαδή με τον τύπο  $\hat{\sigma}_u^2 = \hat{\sigma}_v^2 - \hat{\sigma}_c^2$ . Υπάρχουν βέβαια και διαφορετικές μέθοδοι εκτίμησης της διακύμανσης  $\sigma_u^2$  (Wooldridge, 2010).

Όπως ενσωματώνονται στο υπόδειγμα οι διαφορές κάθε οικονομικής μονάδας, ομοίως δύναται να ενσωματωθεί σε αυτό η ετερογένεια ανά περίοδο. Στην τελευταία περίπτωση, ο σύνθετος όρος σφάλματος γράφεται  $v_{it} = c_t + u_{it}$ , ούτως ώστε να γίνεται εμφανές το γεγονός ότι ο όρος  $c$  είναι ξεχωριστός για κάθε περίοδο αντί για κάθε μονάδα. Επιπλέον, είναι εφικτή η κατασκευή μοντέλου Two-Way, δηλαδή υποδείγματος που να περιλαμβάνει ταυτοχρόνως ξεχωριστό σταθερό όρο ( $c$ ) ανά μονάδα και ανά χρονική περίοδο (Kennedy, 2008).

### **Υπόδειγμα Σταθερών Επιδράσεων**

Σε ποικίλες εφαρμογές, η χρήση τεχνικών Panel επιλέγεται, ούτως ώστε να επιτραπεί στους σταθερούς όρους  $c_i$ , να συσχετίζονται με τις ανεξάρτητες μεταβλητές  $x_{it}$ , κάτι που αντιτίθεται στις υποθέσεις του υποδείγματος τυχαίων επιδράσεων που έχουν εξηγηθεί. Η επόμενη κλασική τεχνική εκτίμησης Panel, δηλαδή το μοντέλο των σταθερών επιδράσεων ή Fixed Effects (FE) πετυχαίνει ακριβώς αυτό (Wooldridge, 2010). Ο όρος «Fixed», σύμφωνα με τον Wooldridge (2010), δεν αναφέρεται στη μη τυχαιότητα του  $c_i$ , αλλά στην φερόμενη συσχέτισή του με τις ερμηνευτικές μεταβλητές, δηλαδή το αντίθετο από ό,τι υποτίθεται στο υπόδειγμα τυχαίων επιδράσεων.

Η πρώτη υπόθεση για το μοντέλο σταθερών επιδράσεων είναι η αυστηρή εξωγένεια των ανεξάρτητων μεταβλητών, δεδομένου του  $c_i$ . Με άλλα λόγια:

$$\text{FE.1: } E(u_{it} | \mathbf{x}_i, c_i) = 0, \quad t = 1, 2, \dots, T.$$

Η υπόθεση αυτή θυμίζει την πρώτη υπόθεση του μοντέλου των τυχαίων επιδράσεων. Όμως, ομοιάζει μόνο με το πρώτο μέρος της RE.1. Ενώ για το μοντέλο Random Effects γίνεται επιπλέον η υπόθεση της μη συσχέτισης του  $c_i$  με τις μεταβλητές  $\mathbf{x}_i$ , δεν υπάρχει τέτοιος περιορισμός για το μοντέλο Fixed Effects. Δηλαδή επιτρέπεται  $E(c_i | \mathbf{x}_i) = f(x_i)$  (Wooldridge, 2010). Αν και αυτή η διευκόλυνση καθιστά την ανάλυση με Fixed Effects πιο ανθεκτική από την ανάλυση με μοντέλα Random Effects, εντούτοις προκύπτει ένας περιορισμός. Δεν επιτρέπεται η συμπερίληψη σταθερών στον χρόνο ερμηνευτικών μεταβλητών. Αυτό συμβαίνει για τον απλό λόγο ότι, εφόσον ο σταθερός όρος κάθε μονάδας  $c_i$  μπορεί να συσχετίζεται με τις ανεξάρτητες μεταβλητές, δεν δύναται να διαχωριστεί η επίδραση τέτοιων μεταβλητών από τον όρο  $c_i$ . Έτσι, όταν μελετώνται άτομα, κωδικοποιημένες μεταβλητές για το φύλο ή την

εθνικότητα δεν περιλαμβάνονται στο μοντέλο. Αντίστοιχα, όταν η έρευνα αφορά πόλεις ή χώρες, δεν δύναται να συμπεριληφθούν μεταβλητές σχετικές με την τοποθεσία (Wooldridge, 2010).

Το υπόδειγμα μετασχηματίζεται ούτως ώστε να απαλειφθούν οι επιδράσεις  $c_i$ . Αυτό επιτυγχάνεται με τον αποκαλούμενο μετασχηματισμό Σταθερών Επιδράσεων (αγγλ. Fixed Effects Transformation), με τον οποίο αφαιρείται από κάθε διαστρωματική μονάδα ο μέσος όρος της. Με άλλα λόγια, για ένα υπόδειγμα, για την εξαρτημένη μεταβλητή  $Y$ , τις ανεξάρτητες μεταβλητές  $X$  και τα σφάλματα  $u$  υπολογίζονται τα εξής:

$$\bar{y}_{i\cdot} = \frac{\sum_{t=1}^T y_{it}}{T}, \bar{x}_{i\cdot} = \frac{\sum_{t=1}^T x_{it}}{T}, \bar{u}_{i\cdot} = \frac{\sum_{t=1}^T u_{it}}{T}$$

Η τελική, έτσι, μορφή του προς εκτίμηση μοντέλου είναι:

$$(y_{it} - \bar{y}_{i\cdot}) = \beta(x_{it} - \bar{x}_{i\cdot}) + (u_{it} - \bar{u}_{i\cdot})$$

ή σε μορφή πινάκων:

$$\dot{\mathbf{y}} = \dot{\mathbf{x}}\boldsymbol{\beta} + \dot{\mathbf{u}}$$

όπου στην τελευταία εξίσωση, το σύμβολο  $\dot{\cdot}$  δηλώνει πως η μεταβλητή πλέον εκφράζεται σαν απόκλιση από τον μέσο της όρο σε επίπεδο μονάδας (time-demeaned). Είναι απαραίτητο να τονιστεί, πως η συγκεκριμένη εξίσωση είναι χρήσιμη για τον υπολογισμό των εκτιμήσεων του διανύσματος  $\boldsymbol{\beta}$ . Η ερμηνεία των συντελεστών πηγάζει από τη δεσμευμένη αναμενόμενη τιμή  $E(y_{it}|\mathbf{x}_i, c_i) = E(y_{it}|\mathbf{x}_{it}, c_i) = \mathbf{x}_{it}\boldsymbol{\beta} + c_i$  (Wooldridge, 2010).

Ο εκτιμητής Fixed Effects συμβολίζεται με  $\hat{\boldsymbol{\beta}}_{FE}$  και είναι ο Pooled OLS, ο οποίος κρίνεται κατάλληλος, λόγω της συνέπειάς του. Ειδικότερα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η υπόθεση κλειδί για τη συνέπεια του Pooled OLS είναι αυτή της εξωγένειας (Wooldridge, 2010). Θα πρέπει, δηλαδή, για το μετασχηματισμένο υπόδειγμα, να ισχύει:

$$E(\dot{\mathbf{x}}'_{it}\dot{u}_{it}) = \mathbf{0}, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

Η υπόθεση αυτή δεν παραβιάζεται, αφού σύμφωνα με την υπόθεση FE.1 τα  $u_{it}$  και  $X_{is}$  ασυσχέτιστα για κάθε  $t, s = 1, 2, \dots, T$ . Έτσι, ισχύει ότι  $u_{it}$  και  $\bar{u}_{it}$  ασυσχέτιστα με  $x_{it}$  και  $X_i$  για  $t = 1, 2, \dots, T$  και άρα ο εκτιμητής Pooled OLS αναμένεται να αποδώσει συνεπείς εκτιμήσεις. Είναι σημαντικό, πάντως, να επισημανθεί πως, εάν αντί για την υπόθεση αυστηρής εξωγένειας, γίνει πιο απλή υπόθεση, όπως  $E(\mathbf{x}'_{it}u_{it}) = \mathbf{0}$ , τότε η παραπάνω υπόθεση δεν κρατεί, αφού έτσι δεν εξασφαλίζεται ότι οι ερμηνευτικές μεταβλητές δεν συσχετίζονται με τα σφάλματα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Wooldridge, 2010).

Εκτός από τη συνέπεια του εκτιμητή, εξάγεται, από την ίδια βασική υπόθεση FE.1, συμπέρασμα σχετικά και με την αμεροληψία του. Η FE.1 δείχνει ότι  $E(\dot{u}_{it}|\mathbf{X}_i) = E(u_{it}|\mathbf{X}_i) -$

$E(\bar{u}_{it}|\mathbf{x}_i) = 0$ . Αυτό συνεπάγεται ότι  $E(\ddot{u}_{it}|\mathbf{x}_{i1}, \dots, \mathbf{x}_{iT}) = 0$ , διότι οι μεταβλητές  $\ddot{\mathbf{x}}_{it}$  είναι συναρτήσεις των  $\mathbf{x}_i = (\mathbf{x}_{i1}, \dots, \mathbf{x}_{iT})$ . Άρα, οι (time-demeaned) ερμηνευτικές μεταβλητές  $\ddot{\mathbf{x}}_{it}$  ικανοποιούν την υπόθεση της αυστηρής εξωγένειας στο μετασχηματισμένο μοντέλο. Από το συμπέρασμα αυτό προκύπτει ότι ο εκτιμητής Σταθερών Επιδράσεων είναι, εκτός από συνεπής, και αμερόληπτος κάτω από την υπόθεση FE.1 (Wooldridge, 2010).

Για τη διασφάλιση της ομαλής ασυμπτωτικής συμπεριφοράς του εκτιμητή Σταθερών Επιδράσεων, απαιτείται συνθήκη τάξης του πίνακα των μετασχηματισμένων εξωγενών μεταβλητών. Η συνθήκη είναι η εξής:

$$\text{FE.2: } \text{rank}(\sum_{t=1}^T E(\ddot{\mathbf{x}}'_{it}\ddot{\mathbf{x}}_{it})) = \text{rank}[E(\ddot{\mathbf{X}}'\ddot{\mathbf{X}}_i)] = K$$

Εάν στο  $\mathbf{x}_{it}$  περιέχεται στοιχείο που δεν μεταβάλλεται διαχρονικά για οποιαδήποτε μονάδα  $i$ , τότε το αντίστοιχο στοιχείο του  $\ddot{\mathbf{x}}_{it}$  είναι μηδέν για κάθε  $t$ . Εφόσον ο πίνακας  $\ddot{\mathbf{X}}_i$  θα περιέχει στήλη αποκλειστικά με μηδενικά για κάθε  $i$ , η FE.2 δεν δύναται να ισχύει. Φαίνεται από αυτήν την υπόθεση, ακριβώς ο λόγος που δεν επιτρέπεται η συμπερίληψη μεταβλητών σταθερών στον χρόνο σε ανάλυση με Fixed Effects (Wooldridge, 2010).

Ο εκτιμητής Fixed Effects εκφράζεται ως:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_{FE} = \left( \sum_{i=1}^N \ddot{\mathbf{X}}'_i \ddot{\mathbf{X}}_i \right)^{-1} \left( \sum_{i=1}^N \ddot{\mathbf{X}}'_i \ddot{\mathbf{y}}_i \right) = \left( \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \ddot{\mathbf{x}}'_{it} \ddot{\mathbf{x}}_{it} \right)^{-1} \left( \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \ddot{\mathbf{x}}'_{it} \ddot{\mathbf{y}}_{it} \right)$$

ή, χρησιμοποιώντας καθαρά πίνακες:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_{FE} = (\ddot{\mathbf{X}}'\ddot{\mathbf{X}})^{-1}(\ddot{\mathbf{X}}'\ddot{\mathbf{y}})$$

Αποκαλείται επίσης «Εντός Εκτιμητής» (αγγλ. Within Estimator), καθώς η εκτίμηση των συντελεστών  $\boldsymbol{\beta}$  προκύπτει με τη χρήση της μεταβλητότητας των παρατηρήσεων γύρω από τον μέσο της διαστρωματικής μονάδας, δηλαδή της μεταβλητότητας εντός της μονάδας (Χρήστου, 2011; Wooldridge, 2010). Αυτό το χαρακτηριστικό τον φέρνει πρακτικά σε αντίθεση με έναν άλλο εκτιμητή, τον Μεταξύ Εκτιμητή (αγγλ. Between Estimator), ο οποίος υπολογίζεται εφαρμόζοντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων στους  $N$  μέσους των μονάδων ή ομάδων και έτσι, χρησιμοποιεί τη μεταβλητότητα ανάμεσα στις ομάδες. Φυσικά, ο τελευταίος είναι ασυνεπής και μεροληπτικός, εάν οι μη παρατηρούμενες επιδράσεις συσχετίζονται με τις ανεξάρτητες μεταβλητές (Χρήστου, 2011).

Μετά την εκτίμηση του διανύσματος των συντελεστών κλίσης  $\boldsymbol{\beta}$ , είναι εφικτός ο υπολογισμός του κοινού σταθερού όρου και της ατομικής ετερογένειας των μονάδων. Ο κοινός σταθερός όρος του υποδείγματος υπολογίζεται ως εξής:

$$\hat{c} = \bar{y}_{..} - \hat{\boldsymbol{\beta}}\bar{x}_{..}$$

όπου  $\bar{y}_{..} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T y_{it}}{NT}$  και  $\bar{x}_{..} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T x_{it}}{NT}$ , δηλαδή οι γενικοί όροι των μεταβλητών. Οι ατομικές ετερογένειες υπολογίζονται από τον τύπο:

$$\hat{c}_i = \bar{y}_{i.} - \hat{c} - \hat{\beta} \bar{x}_{i.} = (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) - (\bar{x}_{i.} - \bar{x}_{..}) \hat{\beta}$$

Χωρίς επιπρόσθετες υποθέσεις, ο εκτιμητής σταθερών επιδράσεων δεν είναι απαραίτητα ο πιο αποτελεσματικός εκτιμητής βάσει FE.1. Η υπόθεση FE.3 εξασφαλίζει την αποτελεσματικότητα του εκτιμητή:

$$\text{FE.3: } E(\mathbf{u}_i \mathbf{u}_i' | \mathbf{x}_i, c_i) = \sigma_u^2 \mathbf{I}_T$$

Η υπόθεση αυτή είναι πανομοιότυπη με την υπόθεση RE.3 (a). Εάν ισχύει η υπόθεση FE.1, τότε η FE.1 είναι το ίδιο με το να ειπωθεί πως  $\text{Var}(\mathbf{u}_i | \mathbf{x}_i, c_i) = \sigma_u^2 \mathbf{I}_T$ . Ομοίως με την RE.3, είναι χρήσιμο να θεωρηθεί πως και αυτή η υπόθεση έχει δύο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι  $E(\mathbf{u}_i \mathbf{u}_i' | \mathbf{x}_i, c_i) = E(\mathbf{u}_i \mathbf{u}_i')$ , το οποίο είναι σύνηθες στα πλαίσια εκτιμήσεως συστημάτων. Το δεύτερο είναι πως ο πίνακας διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων  $E(\mathbf{u}_i \mathbf{u}_i')$  έχει τη μορφή  $\sigma_u^2 \mathbf{I}_T$ . Το τελευταίο δείχνει πως τα σφάλματα ιδιосуγκρασίας έχουν σταθερή διακύμανση στο χρόνο και είναι ασυσχέτιστα χρονικά (Wooldridge, 2010).

Οι συνέπειες της υποθέσεως FE.3, όσον αφορά την αποτελεσματικότητα του εκτιμητή και τον απλό υπολογισμό των τυπικών σφαλμάτων, δεν γίνονται φανερές χωρίς περεταίρω ανάλυση. Για την αποτελεσματικότητα του Pooled OLS, είναι απαραίτητο τα σφάλματα να είναι ομοσκεδαστικά και χρονικά ασυσχέτιστα. Η διακύμανση των  $\ddot{u}_{it}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$E(\ddot{u}_{it}^2) = E(u_{it}^2) + E(\bar{u}_{it}^2) - 2E(u_{it} \bar{u}_{it}) = \sigma_u^2 + \frac{\sigma_u^2}{T} - \frac{2\sigma_u^2}{T} = \sigma_u^2 \left(1 - \frac{1}{T}\right).$$

Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει την ομοσκεδαστικότητα (χωρίς δεσμεύσεις) στο  $t$ . Όμως, για  $t \neq s$ :

$$E(\ddot{u}_{it} \ddot{u}_{is}) = E(u_{it} u_{is}) - E(u_{it} \bar{u}_{is}) - E(u_{is} \bar{u}_{it}) + E(\bar{u}_{it} \bar{u}_{is}) = 0 - \frac{\sigma_u^2}{T} - \frac{\sigma_u^2}{T} + \frac{\sigma_u^2}{T} = -\frac{\sigma_u^2}{T} < 0.$$

και άρα, με χρήση του παραπάνω αποτελέσματος για τη διακύμανση:

$$\text{Corr}(\ddot{u}_{it} \ddot{u}_{is}) = -1/(T - 1).$$

Συμπεραίνεται δηλαδή, πως τα σφάλματα  $\ddot{u}_{it}$  εμφανίζουν αρνητική αυτοσυσχέτιση, η οποία φθίνει όσο μεγαλώνει η χρονική διάσταση  $T$  του Panel (Wooldridge, 2010).

Διαφαίνεται, ότι λόγω της φύσης του μετασχηματισμού που χρησιμοποιείται στον εκτιμητή, η χρονική εξάρτηση των  $\ddot{u}_{it}$  δεν δημιουργεί σημαντικά προβλήματα. Για την εύρεση της ασυμπτωτικής διακύμανσης του εκτιμητή, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\sqrt{N}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{FE} - \boldsymbol{\beta}) = \left( N^{-1} \sum_{i=1}^N \ddot{\mathbf{X}}_i' \ddot{\mathbf{X}}_i \right)^{-1} \left( N^{-1/2} \sum_{i=1}^N \ddot{\mathbf{X}}_i' \mathbf{u}_i \right).$$

Από υπόθεση FE.3,  $E(\mathbf{u}_i \mathbf{u}_i' | \ddot{\mathbf{X}}_i) = \sigma_u^2 \mathbf{I}_T$ . Προκύπτει έτσι ότι:

$$\sqrt{N}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{FE} - \boldsymbol{\beta}) \sim N(\mathbf{0}, \sigma_u^2 [E(\ddot{\mathbf{X}}_i' \ddot{\mathbf{X}}_i)]^{-1})$$

και άρα η διακύμανση του εκτιμητή δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Avar}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{FE}) = \sigma_u^2 [E(\ddot{\mathbf{X}}_i' \ddot{\mathbf{X}}_i)]^{-1} / N.$$

Δεδομένου ενός συνεπή εκτιμητή της διακύμανσης  $\sigma_u^2$ , η ασυμπτωτική διακύμανση του εκτιμητή είναι εφικτό να δοθεί και αντικαθιστώντας το  $E(\ddot{\mathbf{X}}_i' \ddot{\mathbf{X}}_i)$  με το δειγματικό του ανάλογο  $N^{-1} \sum_{i=1}^N \ddot{\mathbf{X}}_i' \ddot{\mathbf{X}}_i$ . Αναλυτικότερα:

$$\text{Avar}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{FE}) = \hat{\sigma}_u^2 \left( \sum_{i=1}^N \ddot{\mathbf{X}}_i' \ddot{\mathbf{X}}_i \right)^{-1} = \hat{\sigma}_u^2 \left( \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \ddot{\mathbf{x}}_{it}' \ddot{\mathbf{x}}_{it} \right)^{-1}.$$

Οι ασυμπτωτικές τυπικές αποκλίσεις των εκτιμήσεων Fixed Effects λαμβάνονται από τις τετραγωνικές ρίζες των διαγωνίων στοιχείων του πίνακα αυτού (Wooldridge, 2010).

Στο σημείο αυτό προκύπτει ένα ακόμη ζήτημα, το απαιτεί προσοχή. Τα σφάλματα τα οποία λαμβάνονται από τον υπολογισμό με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων είναι τα  $\hat{u}_{it}$ , δηλαδή τα σφάλματα του μετασχηματισμένου μοντέλου, ενώ από την άλλη μεριά, απασχολεί η εκτίμηση του  $\sigma_u^2$ , το οποίο αφορά τα σφάλματα  $u_{it}$ . Χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτόν, το άθροισμα του τύπου της διακύμανσης των  $\hat{u}_{it}$  στο  $t$ :  $\sum_{t=1}^T E(\hat{u}_{it}^2) = (T-1)\sigma_u^2$  και έτσι ισχύει:  $[N(T-1)]^{-1} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T E(\hat{u}_{it}^2) = \sigma_u^2$  (Wooldridge, 2010). Ορίζοντας τα κατάλοιπα Fixed Effects ως  $\hat{u}_{it} = \hat{y}_{it} - \ddot{\mathbf{x}}_{it}' \widehat{\boldsymbol{\beta}}_{FE}$ , δηλαδή απλώς ως τα κατάλοιπα από τη μέθοδο Pooled OLS, τότε, σύμφωνα με τις υποθέσεις FE.1-FE.3, συνεπής εκτίμηση της διακύμανσης  $\sigma_u^2$  δίνεται από τον εξής τύπο:

$$\hat{\sigma}_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{u}_{it}^2}{[N(T-1) - K]} = \frac{SSR}{[N(T-1) - K]}$$

Σημειώνεται πως η αφαίρεση του  $K$  στον εκτιμητή είναι συνηθισμένη διόρθωση, αν και ασυμπτωτικά δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Εάν οι υποθέσεις FE.1-FE.3 έχουν ισχύ, αποδεικνύεται ότι ο  $\hat{\sigma}_u^2$  είναι αμερόληπτος εκτιμητής με δεδομένο  $\mathbf{X}$  (Wooldridge, 2010).

Ένα υπόδειγμα σταθερών επιδράσεων μπορεί εναλλακτικά να εκτιμηθεί με την κλασική μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, κάνοντας χρήση  $N-1$  ψευδομεταβλητών (dummy variables) για να υπολογιστούν οι επιδράσεις. Ο εκτιμητής αυτός είναι γνωστός ως «ελαχίστων τετραγώνων



εκτιμητής ψευδομεταβλητών» (αγγλ. Least Squares Dummy Variable Estimator) ή, εν συντομία, LSDV και είναι ίσος με τον εντός εκτιμητή. Ισχύει δηλαδή  $\hat{\beta}_{FE} = \hat{\beta}_{LSDV}$  (Wooldridge, 2010). Όμως, λόγω του αριθμού των ψευδομεταβλητών ( $N-1$ ), η μήτρα που πρέπει να αντιστραφεί είναι διαστάσεων  $(N + K) \times (N + K)$  και άρα, ιδιαίτερα σε περίπτωση που το αριθμός των μονάδων στο δείγμα είναι μεγάλος, ο εκτιμητής μπορεί να είναι αρκετά βαρύς υπολογιστικά ή μη εφικτός. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον Within εκτιμητής στον οποίο η μήτρα που πρέπει να αντιστραφεί είναι  $K \times K$ . Ο μεγάλος αριθμός dummy variables, οξύνει επίσης το πρόβλημα της πολυσυγγραμμικότητας (Χρήστου, 2011).

Εφόσον έχουν αναλυθεί οι δύο παραδοσιακές μέθοδοι εκτίμησης Panel Data, είναι απαραίτητο, τόσο λόγω της θέσης του ζητήματος στη βιβλιογραφία, όσο και για τη σημασία του για αυτήν τη διατριβή, να αναπτυχθούν τα σημεία, βάσει των οποίων γίνεται η επιλογή ανάμεσα σε εκτίμηση με τυχαίες και σταθερές επιδράσεις. Σε περίπτωση που η διάσταση του χρόνου  $T$  είναι μεγάλη και ο αριθμός των μονάδων  $N$  μικρός, οι δύο μέθοδοι δίνουν παρόμοιες εκτιμήσεις, αλλά προτιμάται το υπόδειγμα σταθερών επιδράσεων λόγω ευκολίας υπολογισμού. Όταν συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή μεγάλο  $N$  και μικρό  $T$ , οι εκτιμήσεις δύναται να διαφέρουν σημαντικά και η προτίμηση εξαρτάται από τις υποθέσεις των εκτιμητών. Συγκεκριμένα, εάν οι ερμηνευτικές μεταβλητές δεν συσχετίζονται με τον ατομικό σφάλμα  $c_i$  οι εκτιμητές Random Effects είναι πιο αποτελεσματικοί. Επιπλέον, το μοντέλο Fixed Effects κρίνεται καταλληλότερο, αν δεν μπορεί να θεωρηθεί πως οι μονάδες είναι τυχαίο δείγμα από μεγαλύτερο πληθυσμό.

### ***Εκτιμητής Πρώτων Διαφορών***

Τα Fixed/Random Effects μοντέλα, δεν είναι ο μοναδικός τρόπος αντιμετώπισης των ατομικών επιδράσεων στις μονάδες. Παίρνοντας τις πρώτες διαφορές των μεταβλητών, αφαιρούνται οι μεταβλητές οι οποίες εκφράζουν τις μεμονωμένες επιδράσεις κάθε οικονομικής μονάδας, άρα και την ετερογένεια που οφείλεται σε αυτές τις διαφορές. Έτσι, προκύπτει το μοντέλο εκτίμησης με πρώτες διαφορές, ή αλλιώς First Difference Estimator (FD) (Wooldridge, 2010):

$$\Delta y_{it} = \Delta x_{it}\beta + e_{it}$$

Ουσιαστικά, πρόκειται για μοντέλο Pooling με τις πρώτες διαφορές των μεταβλητών. Έμφαση δίνεται στο γεγονός, πως το υπόδειγμα και η ερμηνεία του  $\beta$  είναι ίδια με το υπόδειγμα Fixed effects. Η μετατροπή αυτή λύνει επιπλέον και το πρόβλημα της φαινομενικής (νόθου) παλινδρόμησης, στην περίπτωση που οι μεταβλητές έχουν μοναδιαία ρίζα (Wooldridge, 2010).

Η εκτίμηση των συντελεστών είναι συνεπής εάν έχει ισχύ η υπόθεση της αυστηρής εξωγένειας των ανεξάρτητων μεταβλητών. Έτσι, η πρώτη βασική υπόθεση που γίνεται για τη μέθοδο αυτή είναι όμοια με αυτή της μεθόδου σταθερών επιδράσεων.

$$FD.1: E(\Delta \mathbf{x}'_{it} \Delta u_{it}) = E(\Delta \mathbf{x}'_{it} e_{it}) = 0, \quad t = 2, 3, \dots, T$$

Η ύπαρξη ενδογένειας στο μοντέλο, οδηγεί σε μη συνεπή εκτίμηση. Σε περίπτωση που δεν πληρείται η τελευταία υπόθεση, αλλά υπάρχει ασθενής εξωγένεια, η εκτίμηση γίνεται συνεπής για μεγάλο  $T$ . Επιπρόσθετα σημειώνεται από τον Wooldridge (2010) πώς, εάν υπάρχει σημαντική διαφορά στις εκτιμήσεις των μοντέλων Fixed Effects και First Difference, αυτό πιθανότατα οφείλεται στην παραβίαση της υπόθεσης της αυστηρής εξωγένειας.

Μερικά συμπεράσματα προκύπτουν από την ίδια τη μορφή του υποδείγματος. Φαίνεται, από την εξίσωση, πως τα στοιχεία του  $\mathbf{x}_{it}$  πρέπει να μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου, αλλιώς στο  $\Delta \mathbf{x}_{it}$  θα περιλαμβάνονταν στοιχεία ίσα με το μηδέν για κάθε  $i$  και  $t$ . Άρα, όπως και στην περίπτωση του μεταξύ εκτιμητή, η έρευνα δεν δύναται να περιλαμβάνει μεταβλητές, που μένουν στάσιμες στον χρόνο (Wooldridge, 2010). Επιπρόσθετα, ενώ ο σταθερός όρος απαλείφεται λόγω των πρώτων διαφορών, σε περίπτωση που το  $\mathbf{x}_{it}$  εμπεριέχει ψευδομεταβλητές για τις χρονικές περιόδους (time dummies), τότε στο υπόδειγμα πρώτων διαφορών θα περιέχονται οι μεταβολές αυτών. Μάλιστα, για  $T = 2$ , ο συντελεστής της ψευδομεταβλητής της δεύτερης περιόδου γίνεται ο σταθερός όρος στην εξίσωση με τις πρώτες διαφορές (Wooldridge, 2010).

Η εκτίμηση του υποδείγματος πρώτων διαφορών γίνεται με τη μέθοδο των ομαδοποιημένων ελαχίστων τετραγώνων (Pooled OLS) και η εκτίμηση αυτή είναι συνεπής, διότι οι ερμηνευτικές μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες με τα σφάλματα ιδιοσυγκρασίας, όπως υποτέθηκε στην FD.1. Στο μοντέλο των πρώτων διαφορών, ισχύει μάλιστα η αυστηρή εξωγένεια:

$$E(\Delta u_{it} | \Delta \mathbf{x}_{i2}, \Delta \mathbf{x}_{i3}, \dots, \Delta \mathbf{x}_{iT}) = 0, \quad t = 2, 3, \dots, T,$$

πράγμα που δείχνει ότι ο εκτιμητής πρώτων διαφορών είναι αμερόληπτος με δεδομένο  $\mathbf{X}$  (Wooldridge, 2010). Είναι εφικτό όμως, να ικανοποιείται η υπόθεση  $E(\Delta \mathbf{x}'_{it} \Delta u_{it}) = 0$  και σαν συνέπεια πιο ασθενούς υπόθεσης από την πολύ αυστηρή FD.1. Το σημαντικό είναι η ανεξαρτησία μεταξύ  $u_{it}$  και  $\mathbf{x}_{i,t-1}$ ,  $\mathbf{x}_{it}$  ή  $\mathbf{x}_{i,t+1}$  και άρα μπορεί να υποτεθεί ότι πως τα  $\mathbf{x}_{is}$  και  $u_{it}$  είναι ασυσχέιστα για κάθε  $t$  και  $s$  (Wooldridge, 2010).

Η συνθήκη τάξης για τον εκτιμητή είναι:

$$FD.2: rank(\sum_{t=2}^T E(\Delta \mathbf{x}'_{it} \Delta \mathbf{x}_{it})) = K.$$

Η υπόθεση αυτή απαγορεύει ολοφάνερα σταθερές στον χρόνο εξωγενείς μεταβλητές και επιπλέον αποκλείει την τέλεια πολυσυγγραμμικότητα μετά τον μετασχηματισμό διαφορών. Η πολυσυγγραμμικότητα μπορεί να εμφανιστεί στο  $\Delta \mathbf{x}_{it}$  με διακριτικούς τρόπους λόγω του

μετασχηματισμού. Έστω ότι πραγματοποιείται έρευνα με δεδομένα Panel για εργαζόμενους, με ετήσια στοιχεία για το εισόδημά τους και την εργασιακή τους εμπειρία. Αφού η εργασιακή εμπειρία αυξάνεται κάθε έτος κατά μία μονάδα ( $\Delta \text{exper}_{it} = 1$ ) τότε, εάν στις ερμηνευτικές μεταβλητές περιλαμβάνονται και time dummies, θα υπάρχει τέλεια πολυσυγγραμικότητα ανάμεσα στις πρώτες διαφορές της εργασιακής εμπειρίας και τις μεταβολές των ψευδομεταβλητών.

Η τρίτη βασική υπόθεση για τον εκτιμητή, φέρνει πρακτικά τους εκτιμητές FD και FE αντιμέτωπους. Υπενθυμίζεται πως ο εκτιμητής σταθερών επιδράσεων είναι ασυμπτωτικά αποτελεσματικός στην κατηγορία εκτιμητών, στους οποίους γίνεται η υπόθεση της αυστηρής εξωγένειας, εάν ισχύουν οι FE.1-FE.3. Άρα, ο εκτιμητής πρώτων διαφορών είναι λιγότερο αποτελεσματικός, δεδομένου ότι ισχύουν οι συγκεκριμένες υποθέσεις (Wooldridge, 2010). Η FE.3, στην οποία υποτίθεται ομοσκεδαστικότητα και χρονική ανεξαρτησία των  $u_{it}$  αποτελεί υπόθεση κλειδί για τον εκτιμητή, ίσως είναι αρκετά ισχυρή. Εναλλακτικά, δύναται να υποτεθεί ότι οι πρώτες διαφορές των σφαλμάτων ιδιοσυγκρασίας είναι ανεξάρτητες χρονικά:

$$E(\mathbf{e}_i \mathbf{e}_i' | \mathbf{x}_{i1}, \dots, \mathbf{x}_{iT}, c_i) = \sigma_e^2 \mathbf{I}_{T-1}$$

με  $\mathbf{e}_i$  διάνυσμα  $(T-1) \times 1$ , το οποίο περιλαμβάνει τα σφάλματα ιδιοσυγκρασίας  $e_{it}$ ,  $t = 2, 3, \dots, T$ . Εάν ισχύει η υπόθεση αυτή όμως, συμπεραίνεται ότι:

$$u_{it} = u_{i,t-1} + e_{it}$$

και η απουσία χρονικής συσχέτισης στα  $e_{it}$  δείχνει ότι τα  $u_{it}$  ακολουθούν τυχαίο περίπατο, διαδικασία με σημαντική αυτοσυσχέτιση, όπως εξηγήθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Κατά συνέπεια, η FD.3 αντιπροσωπεύει το αντίθετο άκρο από την FE.3, αφού σε περίπτωση που τα σφάλματα στο μοντέλο Fixed Effects  $\{u_{it}, t = 1, 2, \dots, T\}$  είναι χρονικά ανεξάρτητα, δηλαδή  $\text{Corr}(u_{it}, u_{i,t-1}) = 0$ , τότε αποδεικνύεται ότι για τα σφάλματα του μοντέλου First Difference  $\{e_{it} = \Delta u_{it}, t = 2, 3, \dots, T\}$  ισχύει  $\text{Corr}(e_{it}, e_{i,t-1}) = -0.5$  (Wooldridge, 2010). Η απόδειξη για την πρόταση παρέχεται παρακάτω.

Εάν υπάρχει χρονική ανεξαρτησία των σφαλμάτων στο μοντέλο των σταθερών επιδράσεων, δηλαδή  $\text{Cov}(u_{it}, u_{is}) = 0$ , τότε προκύπτει το εξής για τα σφάλματα του μοντέλου πρώτων διαφορών:

$$\text{Cov}(e_{it}, e_{i,t-1}) = \text{Cov}(\Delta u_{it}, \Delta u_{i,t-1}) = \text{Cov}(u_{it} - u_{i,t-1}, u_{i,t-2} - u_{i,t-3}) =$$

$$\text{Cov}(u_{it}, u_{i,t-1}) - \text{Cov}(u_{it}, u_{i,t-2}) - \text{Cov}(u_{i,t-1}, u_{i,t-1}) + \text{Cov}(u_{i,t-1}, u_{i,t-2}) = -V(u_{it})$$

Λαμβάνοντας επιπλέον υπ' όψη ότι ισχύει  $V(e_{it}) = V(u_{it} - u_{i,t-1}) = 2V(u_{it})$ , συμπεραίνεται, για την αυτοσυσχέτιση των σφαλμάτων του υποδείγματος πρώτων διαφορών  $e_{it}$  το εξής:

$$\text{Corr}(e_{it}, e_{i,t-1}) = \frac{\text{Cov}(e_{it}, e_{i,t-1})}{V(e_{it})} = -\frac{\text{Var}(u_{it})}{2V(u_{it})} = -0.5$$

Εάν ισχύουν οι υποθέσεις FD.1-FD.3, αποδεικνύεται πως ο εκτιμητής First Differences είναι ο πιο αποτελεσματικός ανάμεσα στους εκτιμητές, στους οποίους γίνεται η υπόθεση εξωγένειας FE.1. Επιπλέον, ομοίως με τον εκτιμητή ομαδοποιημένων ελαχίστων τετραγώνων:

$$\widehat{\text{Avar}}(\widehat{\beta}_{FD}) = \hat{\sigma}_e^2 (\Delta \mathbf{X}' \Delta \mathbf{X}_i)^{-1}$$

όπου  $\hat{\sigma}_e^2$  συνεπής εκτιμητής του  $\sigma_e^2$ . Ο πιο απλός εκτιμητής προκύπτει με τον υπολογισμό των καταλοίπων από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων  $\hat{e}_{it} = \Delta y_{it} - \Delta \mathbf{x}_{it} \widehat{\beta}_{FD}$ . Έτσι, η εκτίμηση του  $\sigma_e^2$  δίνεται από τον τύπο:

$$\hat{\sigma}_e^2 = [N(T-1) - K]^{-1} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{e}_{it}^2$$

δηλαδή ο συνηθισμένος εκτιμητής της διακύμανσης των σφαλμάτων. Συμπεραίνεται έτσι, ότι αν ισχύουν οι υποθέσεις FD.1-FD.3, τα τυπικά σφάλματα ελαχίστων τετραγώνων έχουν ισχύ ασυμπτωτικά για το μοντέλο First Difference (Wooldridge, 2010).

### 3.6 Διαγνωστικοί Έλεγχοι και Ανθεκτικά Σφάλματα

Για τη συνεπή εκτίμηση με όμως τεχνικές που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα του Κεφαλαίου, έγιναν οι υποθέσεις όμως ομοσκεδαστικότητας, αλλά και όμως αυτοσυσχέτισης των σφαλμάτων. Εφόσον η απόδοση των πιο βασικών μοντέλων με δεδομένα Panel κρίνεται από όμως υποθέσεις αυτές, είναι φυσικό να έχουν προταθεί αρκετοί τρόποι για να ελέγχεται η πληρότητα των υποθέσεων. Όπως θα εξηγηθεί, η τήρηση αυτών των υποθέσεων είναι κάτι σπάνιο. Κρίνεται λοιπόν σκόπιμο, να αφιερωθεί μία Ενότητα για να αναλυθούν βασικοί έλεγχοι ύπαρξης ετεροσκεδαστικότητας και αυτοσυσχέτισης στα κατάλοιπα και εν συνεχεία, τρόποι υπολογισμού ανθεκτικού πίνακα διακυμάνσεων συνδιακυμάνσεων, προκειμένου να επιτυγχάνεται ορθότερη συμπερασματολογία.

#### *Ετεροσκεδαστικότητα*

Τα μοντέλα συνθετικού σφάλματος που αναλύθηκαν στην Ενότητα 5, υποθέτουν ότι οι διαταρακτικοί όροι, που προκύπτουν από την παλινδρόμηση μένουν σταθεροί τόσο στον χρόνο, όσο και ανάμεσα στις οικονομικές μονάδες· κάνουν δηλαδή, την υπόθεση της ομοσκεδαστικότητας. Μια τέτοια υπόθεση μπορεί να είναι αρκετά αισιόδοξη για Panel με μονάδες διαφορετικού μεγέθους, που σαν αποτέλεσμα δύναται να εμφανίζουν διαφορές στη μεταβλητότητα (Baltagi B. H., *Econometric Analysis of Panel Data*, 2021). Έτσι, το πρόβλημα της ετεροσκεδαστικότητας είναι πρακτικά βέβαια ότι θα παρουσιαστεί σε μελέτες που αφορούν

την κατανάλωση σε χώρες ή τις συναρτήσεις κόστους εταιριών διαφορετικού μεγέθους. Εάν υποθεθεί ομοσκεδαστικότητα, παρουσία ετεροσκεδαστικότητας, η εκτίμηση των συντελεστών παραμένει συνεπής αλλά οι εκτιμήσεις αυτές δεν είναι αποτελεσματικές. Επιπρόσθετα, οι τυπικές αποκλίσεις των εκτιμητών είναι μεροληπτικές και συστήνεται η χρήση ανθεκτικού πίνακα διακύμανσης συνδιακύμανσης (Baltagi B. H., *Econometric Analysis of Panel Data*, 2021).

Η ετεροσκεδαστικότητα συνήθως εντοπίζεται μέσω γραφικής απεικόνισης των σφαλμάτων, ενώ δύναται να χρησιμοποιηθούν και κλασικοί έλεγχοι με επέκταση σε δεδομένα Panel. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάζεται διάγραμμα με τα ίδια τα σφάλματα στον κάθετο άξονα και τις προβλεπόμενες τιμές στην εξαρτημένη μεταβλητή στον οριζόντιο. Εάν παρατηρείται σταθερή διασπορά των σφαλμάτων, θεωρείται πως αυτά είναι ομοσκεδαστικά. Σε αντίθετη περίπτωση, εάν δηλαδή παρατηρείται κάποιο μοτίβο στο διάγραμμα, λέγεται πως υπάρχει ετεροσκεδαστικότητα.

Σαν έλεγχος για την παραβίαση της ομοσκεδαστικότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτός του White (1980). Ο συγκεκριμένος έλεγχος είναι ένας γενικός έλεγχος και σε αντίθεση με τον, επίσης συχνά χρησιμοποιούμενο Breusch-Pagan (1979), δεν υποθέτει πως η διακύμανση είναι συγκεκριμένα γραμμική συνάρτηση των ερμηνευτικών μεταβλητών, ούτε και απαιτεί κανονικότητα των διαταρακτικών όρων. Ειδικά σε πλαίσια Panel Data, η κανονικότητα είναι κάτι το εξαιρετικά σπάνιο και δεν απαιτείται από τις μεθόδους εκτίμησης.

Έστω υπόδειγμα παλινδρόμησης με δύο ερμηνευτικές μεταβλητές. Έπειτα από την εκτίμηση του υποδείγματος, τα κατάλοιπα αυτού τετραγωνίζονται, σχηματίζεται η βοηθητική παλινδρόμηση:

$$\hat{u}_{it}^2 = a_0 + a_1 z_{it}^1 + a_2 z_{it}^2 + a_3 (z_{it}^1)^2 + a_4 (z_{it}^2)^2 + a_5 (z_{it}^1 z_{it}^2) + \eta_t$$

και εκτιμάται ο συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$ . Η στατιστική ελέγχου είναι τύπου Lagrange Multiplier και υπολογίζεται ως  $NTR^2$ . Αυτή ακολουθεί ασυμπτωτικά την κατανομή  $\chi^2$  με  $p$  βαθμούς ελευθερίας, όπου  $p$  ο αριθμός των παλινδρομητών της παραπάνω εξίσωσης (Χρήστου, 2011). Ειδικότερα, με  $K$  ερμηνευτικές μεταβλητές στο αρχικό υπόδειγμα, ισχύει:

$$p = \frac{(K + 1)(K + 2)}{2} - 1$$

### **Αυτοσυσχέτιση**

Οι τεχνικές εκτίμησης που αναλύθηκαν έως τώρα είχαν κοινή την υπόθεση των χρονικά ασυσχέτιστων σφαλμάτων. Μάλιστα, επισημάνθηκε ότι η συγκεκριμένη υπόθεση αποτελεί και υπόθεση κλειδί για τη συνέπεια ορισμένων υποδειγμάτων. Το να αγνοηθεί η συσχέτιση αυτού

του τύπου ενώ υπάρχει, συνεπάγεται συνεπή αλλά αναποτελεσματική εκτίμηση. Φυσικά, τα σφάλματα δύναται να ακολουθούν απλές διαδικασίες όπως AR(1) ή MA(1), αλλά και διαδικασίες πιο σύνθετες (Baltagi B. H., *Econometric Analysis of Panel Data*, 2021). Στην προηγούμενη Ενότητα αναφέρθηκε η ύπαρξη αυτοσυσχέτισης στα σφάλματα ιδιοσυγκρασίας και τονίστηκε, πως ειδικά στα μοντέλα σύνθετου σφάλματος υπάρχει αυτοσυσχέτιση, η οποία δεν εξασθενεί με την πάροδο του χρόνου. Σαν αποτέλεσμα, τα ζητήματα του ελέγχου για ατομικές επιδράσεις στα σφάλματα και του ελέγχου για χρονική συσχέτιση είναι στενά συνδεδεμένα.

Έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία διάφορων τύπων έλεγχου για αυτοσυσχέτιση σε υποδείγματα με Panel. Οι απλοί (οριακοί) έλεγχοι, πραγματοποιούν έλεγχο για την απόκλιση από τη υπόθεση των σφαιρικών σφαλμάτων για ένα από τα δύο αίτια, δηλαδή είτε λόγω ατομικών επιδράσεων, είτε λόγω σειριακής συσχέτισης στα σφάλματα ιδιοσυγκρασίας. Εάν υπάρχει κάποια από τις δύο καταστάσεις, απορρίπτουν τη μηδενική υπόθεση αρκετά συχνά (Millo & Croissant, 2018). Με τους από κοινού ελέγχους (joint tests) ελέγχονται οι υποθέσεις (μη) ύπαρξης επιδράσεων και χρονικής συσχέτισης. Ένας έλεγχος αυτής της κατηγορίας, που χρησιμοποιείται συχνά, είναι αυτός των Baltagi και Li (1995; 1991). Υπάρχει, τέλος, η κατηγορία των υπό συνθήκη ελέγχων (conditional tests), μέσω των οποίων ελέγχεται η παρουσία χρονικής συσχέτισης στα κατάλοιπα, δεδομένης της ύπαρξης ατομικών επιδράσεων (Millo & Croissant, 2018).

Είναι εφικτό να βασιστεί κανείς στον τρόπο εκτίμησης των υποδειγμάτων Pooled OLS, Random Effects και Fixed Effects, για την εφαρμογή πιο παραδοσιακών ελέγχων για αυτοσυσχέτιση. Στο υπόδειγμα τυχαίων επιδράσεων, υπό τη μηδενική υπόθεση της ομοσκεδαστικότητας και χρονικής ανεξαρτησίας των σφαλμάτων ιδιοσυγκρασίας, τα σφάλματα του υποδείγματος έπειτα από τη μερική αφαίρεση του μέσου όρου, θα πρέπει να είναι επίσης σφαιρικά. Εφόσον οι επιδράσεις απαλείφονται στη διαδικασία αφαίρεσης του μέσου όρου, εάν απομένει χρονική συσχέτιση, αυτή θα οφείλεται στα σφάλματα ιδιοσυγκρασίας (Millo & Croissant, 2018). Για το υπόδειγμα των σταθερών επιδράσεων, έχει αναφερθεί πως, εάν τα σφάλματα στο κανονικό μοντέλο είναι ασυσχέτιστα χρονικά, τα σφάλματα Fixed Effects  $\ddot{u}_{it}$  είναι αρνητικά εξαρτημένα. Η εξάρτηση αυτή φθίνει με τον χρόνο, οπότε αυτού του είδους ο έλεγχος απαιτεί μεγάλο  $T$  (Millo & Croissant, 2018; Wooldridge, 2010).

Οι ιδιαιτερότητες αυτές των υποδειγμάτων, καθιστούν εφικτή τη χρήση ελέγχων που συνήθως συναντώνται στα πλαίσια χρονολογικών σειρών, όπως ο έλεγχος Lagrange Multiplier των Breusch (1978) και Godfrey (1978). Ο συγκεκριμένος έλεγχος, όταν χρησιμοποιείται για έλεγχο σε κατάλοιπα παλινδρόμησης με χρονολογικές σειρές, αξιοποιεί τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης, τα οποία υποτίθεται ότι ακολουθούν αυτοπαλινδρομη διαδικασία AR(p):

$$u_t = \rho_1 u_{t-1} + \dots + \rho_p u_{t-p} + \eta_t.$$

Εκτιμάται έτσι η παλινδρόμηση:

$$u_{it} = a_0 + a_1 X_{t,1} + \dots + a_K X_{t,K} + \rho_1 u_{t-1} + \dots + \rho_p u_{t-p} + \eta_t$$

και ελέγχεται η μηδενική υπόθεση:

$$H_0: \rho_1 = \dots = \rho_p = 0.$$

Η στατιστική ελέγχου που χρησιμοποιείται είναι η:

$$LM = nR^2$$

όπου  $n$  ο αριθμός των παρατηρήσεων. Για μεγάλο δείγμα,  $LM \sim \chi_p^2$ . Αντίστοιχα για δεδομένα Panel, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα κατάλληλα σφάλματα ιδιοσυγκρασίας από το μοντέλο που ενδιαφέρει (Millo & Croissant, 2018).

### **Σημαντικότητα Επιδράσεων**

Στην έρευνα αυτή χρησιμοποιείται ο εκτιμητής σταθερών επιδράσεων και έτσι, κρίνεται απαραίτητο να συμπεριληφθεί η επεξήγηση του ελέγχου για τη σημαντικότητα των σταθερών επιδράσεων. Σκοπός είναι να ελεγχθεί από κοινού η σημαντικότητα των  $(N - 1)$  ατομικών επιδράσεων  $c_i$  και αυτό πραγματοποιείται με ένα F-test με τις κάτωθι υποθέσεις (Χρήστου, 2011):

$$H_0: c_1 = c_2 = \dots = c_N = 0$$

$$H_1: c_i \neq 0 \text{ για τουλάχιστον ένα } i.$$

Η στατιστική  $F$  του ελέγχου δίνεται από τον τύπο:

$$F_{(N-1), NT-N-K} = \frac{SSE_{Pooled} - SSE_{FE}/(N-1)}{SSE_{FE}/(NT-N-K)}$$

όπου  $K$  ο αριθμός των εξωγενών μεταβλητών χωρίς τον σταθερό όρο εδώ. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι, στον παρονομαστή το άθροισμα τετραγώνων των καταλοίπων του Within εκτιμητή διαιρείται με  $NT - N - K$  αντί για  $NT - K$ . Αυτό συμβαίνει διότι, όπως εξηγήθηκε στην αμέσως προηγούμενη ενότητα, οι παρατηρήσεις στην εξίσωση εκτίμησης εκφράζονται ως αποκλίσεις από τους  $N$  μέσους. Αυτό δεν συμβαίνει με τον εκτιμητή LSDV (Χρήστου, 2011).

### **Ανθεκτικοί Πίνακες Διακυμάνσεων-Συνδιακυμάνσεων**

Η ανεξάρτητη και ομοιόμορφη κατανομή των σφαλμάτων σπανίως μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη, στα μη πειραματικά πλαίσια της εμπειρικής εφαρμογής οικονομετρικών τεχνικών.

Στην αποκαλούμενη «ανθεκτική» προσέγγιση στην εξαγωγή συμπερασμάτων από υποδείγματα, χρησιμοποιούνται διαφορετικοί εκτιμητές της διακύμανσης των εκτιμήσεων των συντελεστών του υποδείγματος, προς αποφυγή των συνεπειών της ύπαρξης ετεροσκεδαστικότητας και αυτοσυσχέτισης στα σφάλματα. Παρατηρείται μάλιστα, ότι τακτικά χρησιμοποιούνται ανθεκτικοί πίνακες διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων, χωρίς να έχουν χρησιμοποιηθεί στις κλασικές εκτιμήσεις έλεγχοι για τυχόν απόκλιση από τη σφαιρικότητα, αφού το φαινόμενο αυτό είναι τόσο συχνό (Millo & Croissant, 2018).

Η συσχέτιση των σφαλμάτων σε μοντέλα Panel Data, συχνά προέρχεται από θέματα συσταδοποίησης (αγγλ. Clustering). Η διάσταση της οικονομικής μονάδας, καθώς και αυτή του χρόνου, ορίζουν φυσικές συστάδες, δηλαδή ομάδες παρατηρήσεων, οι οποίες έχουν κοινά χαρακτηριστικά (Millo & Croissant, 2018). Κάτι τέτοιο δύναται να υπάρχει και σε διαστρωματικά δεδομένα, όμως, στα δεδομένα Panel αποτελεί ιδιαίτερα βασικό ζήτημα. Ακριβώς επειδή είναι τόσο βασικό θέμα, έχει οδηγήσει στη δημιουργία διαφόρων εκτιμητών διακύμανσης για τις πιο συχνές περιπτώσεις, δηλαδή συσχέτιση εντός των μονάδων (είτε σταθερή είτε φθίνουσας στο χρόνο), εντός της ίδιας περιόδου, είτε συσχέτιση μεταξύ διαφορετικών μονάδων διαχρονικά (cross correlation) (Millo & Croissant, 2018).

Ο ανθεκτικός σε ετεροσκεδαστικότητα πίνακας διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων του White έχει επεκταθεί σε οικονομετρικά Panel από τον Arellano (1987). Οι παρατηρήσεις δύναται να ομαδοποιηθούν (σε συστάδες) με βάση τη μονάδα, όπως συνηθίζεται σε short Panels, αφού βασίζεται σε ασυμπτωτικές ιδιότητες του  $N$ , ή με βάση την περίοδο, που βασίζεται σε ασυμπτωτικές ιδιότητες με το μέγεθος του χρόνου  $T$  και άρα κρίνεται καταλληλότερο για Panel με μεγάλο  $T$  (Millo & Croissant, 2018). Η συσταδοποίηση βάσει μονάδας προσφέρει ανθεκτικότητα απέναντι στην ετεροσκεδαστικότητα ανά μονάδα και τη χρονική συσχέτιση, ενώ, συμμετρικά, η συσταδοποίηση βάσει περιόδου καθιστά τη συμπερασματολογία ανθεκτική απέναντι σε αλληλεξάρτηση των μονάδων και την ετεροσκεδαστικότητα ανά περίοδο. Ο (αρχικός) εκτιμητής Arellano έχει τη μορφή:

$$V_{CX} = (X'X)^{-1} \sum_{i=1}^N X_i' \varepsilon_i \varepsilon_i' X_i (X'X)^{-1}$$

Η συσταδοποίηση ανά περίοδο, όπως εξηγήθηκε, είναι συμμετρική της αντίστοιχης μεθόδου στην άλλη διάσταση. Έτσι, η εκδοχή του εκτιμητή με συσταδοποίηση βάσει περιόδου έχει ως εξής (Millo & Croissant, 2018):

$$V_{CT} = (X'X)^{-1} \sum_{t=1}^T X_t' \varepsilon_t \varepsilon_t' X_t (X'X)^{-1}$$



Έχουν επίσης αναπτυχθεί μέθοδοι διπλής συσταδοποίησης (αγγλ. double clustering), αρχικό κίνητρο για τις οποίες αποτέλεσε η ανάγκη αντιμετώπισης επίμονων διαταρράξεων ταυτόχρονα με εξάρτηση μεταξύ μονάδων ή χωρική συσχέτιση. Η μέθοδοι αυτές έχουν ασθενείς υποθέσεις για τη γεννήτορα διαδικασία των δεδομένων και είναι βασισμένες στον συνδυασμό ασυμπτωτικών ιδιοτήτων και των δύο εκδοχών συσταδοποίησης (Millo & Croissant, 2018). Ο ελάχιστος αριθμός συστάδων από τις δύο διαστάσεις του Panel, θα πρέπει να τείνει στο άπειρο. Πέραν αυτής της συνθήκης, επιτρέπεται διαρθρωτική συσχέτιση οποιουδήποτε τύπου εντός μονάδας ή και περιόδου, αλλά δεν επιτρέπεται σειριακή συσχέτιση ανάμεσα σε παρατηρήσεις που ανήκουν σε διαφορετικές μονάδες (Millo & Croissant, 2018).

Οι Driscoll και Kraay (1998), προσαρμόζοντας τον εκτιμητή Newey-West σε δεδομένα Panel, όπου επιτρέπεται η ύπαρξη χρονικής συσχέτισης στα κατάλοιπα που ανήκουν στην ίδια μονάδα, η συσχέτιση των καταλοίπων διαφορετικών μονάδων σε διαφορετικές περιόδους, αλλά και η συσχέτιση μεταξύ μονάδων στην ίδια χρονική περίοδο. Ο εκτιμητής τους συμβολίζεται με τα γράμματα «scc» (spatial correlation consistent) και ορίζεται ως ο εκτιμητής του Arellano στην εκδοχή της συσταδοποίησης ανά περίοδο συν ένα άθροισμα από υστερήσεις όρων συνδιακύμανσης (Millo & Croissant, 2018):

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_{\text{SCC},L} &= \mathbf{V}_{\text{CT}} + \sum_{l=1}^L \omega_l \left[ \sum_{t=1}^T \mathbf{X}'_t \hat{\mathbf{u}}_t \hat{\mathbf{u}}_{t-l} \mathbf{X}_{t-1} + \sum_{t=1}^T [\mathbf{X}'_t \hat{\mathbf{u}}_t \hat{\mathbf{u}}_{t-l} \mathbf{X}_{t-1}]' \right] \\ &= \mathbf{V}_{\text{CT}} + \sum_{l=1}^L \omega_l [\mathbf{V}_{\text{CT},l} + \mathbf{V}'_{\text{CT},l}] \end{aligned}$$

όπου  $L$  ο μέγιστος αριθμός υστερήσεων. Ο εκτιμητής αυτός απαιτεί η χρονική συσχέτιση και η εξάρτηση μεταξύ των μονάδων να εξασθενεί με γοργό ρυθμό όσο αυξάνει η διάσταση του χρόνου  $T$ , η οποία κατά συνέπεια πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη. Οι συγγραφείς θέτουν ένα πρακτικό όριο στις 20 περιόδους, ενώ το ο αριθμός των μονάδων  $N$  είναι αδιάφορος (Millo & Croissant, 2018).

Για τους λόγους που αναφέρθηκαν εκτιμητής Driscoll-Kraay είναι, ένας από τους πιο ανθεκτικούς εκτιμητές απέναντι σε πληθώρα πιθανών παραβιάσεων υποθέσεων των υποδειγμάτων σε Panel Data. Η απόδοσή τους είναι επιπλέον αρκετά υψηλή σε σύγκριση με άλλες δημοφιλείς επιλογές για τον ίδιο σκοπό. Οι εκτιμητές Panel Corrected Standard Errors (PCSE) των Beck και Katz (1995) χρησιμοποιούνται επίσης αρκετά συχνά για την αντιμετώπιση ίδιων προβλημάτων. Οι εκτιμητές αυτοί, επιτρέπουν, εκτός την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ των μονάδων στα κατάλοιπα ίδιας περιόδου, ετεροσκεδαστικότητα και χρονική συσχέτιση τύπου AR(1) στα σφάλματα. Ενώ η απόδοση του εκτιμητή αυτού είναι καλή για μεγάλο  $T$ , δεν ισχύει το ίδιο για περιπτώσεις όπου το  $N$  είναι μεγάλο συγκριτικά με το  $T$  ή εάν το κλάσμα  $T/N$  είναι μικρό. Μία άλλη εναλλακτική είναι η χρήση της μεθόδου Feasible

GLS των Parks-Kmenta (1967; 1986), η οποία είναι μη εφικτή για  $N > T$ , ενώ επιπλέον, τα τυπικά σφάλματα που παράγονται με αυτή τη μέθοδο είναι πολύ μικρά, σε σημείο που αγγίζει την αισιοδοξία για τη σημαντικότητα των συντελεστών (Hoechle, 2007).

### 3.7 Ανακεφαλαίωση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν έννοιες απαραίτητες για τη διεξαγωγή έρευνας με δεδομένα Panel. Αρχικά δόθηκε η έννοια των δεδομένων Panel, εξηγήθηκε η ιδιαιτερότητά τους, οι βασικές τους κατηγορίες και παρατέθηκαν τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση τους. Εξηγήθηκε το φαινόμενο της αλληλεξάρτησης μεταξύ των οικονομικών μονάδων ενός Panel και αναφέρθηκαν στατιστικές ελέγχου που συναντώνται συχνά στη βιβλιογραφία. Εν συνεχεία αναλύθηκε η έννοια της στασιμότητας, τονίστηκε η σημασία της και έγινε περιγραφή ελέγχων σε πλαίσια χρονολογικών σειρών, καθώς και οι αντίστοιχοι σε Panel. Τέλος, εξετάστηκαν αναλυτικά οι πιο παραδοσιακές μέθοδοι εκτίμησης γραμμικών μοντέλων με δεδομένα Panel, στατιστικοί έλεγχοι των υποθέσεων αυτών που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη διατριβή και αναφέρθηκαν τρόποι για ανθεκτική συμπερασματολογία, για περιπτώσεις απόκλισης από τις υποθέσεις αυτές.

Τα δεδομένα Panel ορίζονται ως ο συνδυασμός διαστρωματικών στοιχείων με στοιχεία χρονολογικών σειρών. Για τις δύο αυτές διαστάσεις, χρησιμοποιούνται αντίστοιχα τα σύμβολα  $N$  για τον αριθμό των υπό εξέταση οικονομικών μονάδων και  $T$  για τον αριθμό των χρονικών περιόδων. Συνδυάζοντας τους δύο τύπους στοιχείων και άρα μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας, αυτού του τύπου τα δεδομένα παρέχουν δυνατότητες και πλεονεκτήματα, που δεν είναι εφικτά σε εφαρμογές με αποκλειστικά διαστρωματικά στοιχεία ή στην ανάλυση χρονολογικών σειρών. Η επιπρόσθετη πληροφορία συνεπάγεται εκτός από περισσότερους βαθμούς ελευθερίας για μοντέλα και αποτελεσματικότερη εκτίμηση, καθώς και τη τρόπους αντιμετώπισης της ετερογένειας ανάμεσα σε διαφορετικές οικονομικές μονάδες, όπως χώρες και έτσι του πιθανού προβλήματος ενδογένειας από εξάρτηση σημαντικών μεταβλητών σταθερών στον χρόνο.

Η αλληλεξάρτηση μεταξύ των οικονομικών μονάδων έχει αποτελέσει σημαντικό ζήτημα στον κλάδο των δεδομένων Panel τα τελευταία χρόνια, καθώς καθιστά την εκτίμηση ασυνεπή και δύναται να οδηγήσει σε λανθασμένη συμπερασματολογία και σαν αποτέλεσμα απαιτεί ειδική διαχείριση. Λόγω της επίδρασής της, έχουν αναπτυχθεί διάφορες στατιστικές ελέγχου για τον εντοπισμό της. Σε αυτές ανήκουν ο έλεγχος LM των Breusch και Pagan, η τροποποιημένη εκδοχή αυτού από τους Baltagi και Kao, η Scaled εκδοχή του, καθώς και ο έλεγχος CD του Pesaran, ο οποίος συναντάται συχνά σε εμπειρικές εφαρμογές. Επειδή το ζήτημα είναι τόσο κρίσιμο, έχουν αναπτυχθεί, εκτός από μεθόδους για ορθότερη

συμπερασματολογία στα κλασικά μοντέλα, τεχνικές εκτίμησης ειδικά για τις περιπτώσεις ύπαρξης αυτού του φαινομένου.

Μία από τις βασικότερες έννοιες στην ανάλυση χρονολογικών σειρών είναι αυτή της στασιμότητας, καθώς επηρεάζει άμεσα την αποτελεσματικότητα της εκτίμησης υποδειγμάτων. Μια διαδικασία αποκαλείται στάσιμη όταν έχει σταθερό μέσο και διακύμανση, ενώ οι συνδιακυμάνσεις για δύο χρονικές περιόδους εξαρτώνται μόνο από τη μεταξύ τους απόσταση. Ο όρος μοναδιαία ρίζα, συχνά χρησιμοποιείται σαν συνώνυμο της μη στασιμότητας και αναφέρεται σε συντελεστή αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος ίσο με τη μονάδα, πράγμα που συνεπάγεται μεγάλη αυτοσυσχέτιση και άρα αποτελεί ένδειξη ότι μια σειρά δεν ακολουθεί στάσιμη διαδικασία. Για τον λόγο αυτό, η στασιμότητα ελέγχεται μέσω ελέγχων μοναδιαίας ρίζας. Ο πιο γνωστός από αυτούς είναι ο Augmented Dickey-Fuller. Οι έλεγχοι στασιμότητας ενδιαφέρουν και στα πλαίσια δεδομένων Panel, με τους ελέγχους τύπου Fisher και τον Cross-Sectional Im Pesaran Shin του Pesaran ανάμεσα σε αυτούς που συναντώνται συχνότερα στην βιβλιογραφία.

Στις πιο κλασικές μεθόδους εκτίμησης με δεδομένα Panel, περιλαμβάνονται η μέθοδος ομαδοποιημένων ελαχίστων τετραγώνων, οι εκτιμητές τυχαίων και σταθερών επιδράσεων και ο εκτιμητής πρώτων διαφορών. Οι μέθοδοι Fixed και Random Effects είναι οι πιο διάσημες σε εφαρμογές με δεδομένα Panel και η βασική διαφορά τους έγκειται το εάν οι ατομικές ετερογένειες συσχετίζονται με της εξωγενείς μεταβλητές. Η λογική πίσω από τον εκτιμητή First Difference είναι παρόμοια με αυτή του υποδείγματος σταθερών επιδράσεων και άρα συχνά οι δύο, παρά το γεγονός ότι πρέπει να δίνουν παραπλήσιες εκτιμήσεις, έρχονται αντιμέτωποι όσον αφορά τις υποθέσεις τους και συγκεκριμένα, αυτή των χρονικά ασυσχέτιστων σφαλμάτων.

Η παραβίαση των βασικών υποθέσεων των μοντέλων αυτών αποτελεί πολύ συχνό φαινόμενο και έτσι, έχουν αναπτυχθεί, με την πάροδο του χρόνου, διάφοροι εκτιμητές για ανθεκτικούς πίνακες διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων, προκειμένου να επιτυγχάνεται ορθότερη εξαγωγή συμπερασμάτων. Πλην του κλασικού εκτιμητή White, οι πιο γνωστές μέθοδοι βασίζονται στη συσταδοποίηση των παρατηρήσεων ανά μονάδα ή ανά περίοδο ή ακόμη βάσει και των δύο διαστάσεων. Ο εκτιμητής του πίνακα διακύμανσης των Driscoll και Kray, προσφέρει ανθεκτικότητα απέναντι στην ετεροσκεδαστικότητα, την αλληλεξάρτηση μεταξύ των μονάδων και επιπλέον απέναντι σε διάφορους τύπους αυτοσυσχέτισης.



## Κεφάλαιο 4

### Εμπειρική Εφαρμογή

#### 4.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο αυτό αφορά το τεχνικό μέρος της διατριβής, δηλαδή τη μεθοδολογία και τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν, τα αντίστοιχα δεδομένα και φυσικά την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Αρχικά, παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή της μελέτης και αφορούν την κατανάλωση (προϊόντων) πετρελαίου και φυσικού αερίου, τις αντίστοιχες τιμές των πόρων αυτών στην Ευρώπη, την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, καθώς και τη μέση θερμοκρασία των χωρών. Αυτά, μετά τη συλλογή τους έχουν μετατραπεί σε μορφή Panel για 23 χώρες της Ευρώπης, της Ευρωπαϊκής Συμφωνίας Ελεύθερου Εμπορίου (EFTA) και της Ευρωπαϊκή Πολιτικής Γειτονιάς (ENP), για την περίοδο 1992-2019.

Η έρευνα ακολουθεί τα ενδεδειγμένα βήματα για μελέτη με δεδομένα Panel. Πριν από οποιαδήποτε εκτίμηση υποδείγματος, ελέγχονται οι μεταβλητές για αλληλεξάρτηση μεταξύ μονάδων και για στασιμότητα. Σαν έλεγχος για το πρώτο φαινόμενο χρησιμοποιείται ο CD του Pesaran. Για εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με τη στασιμότητα των μεταβλητών, χρησιμοποιούνται δύο έλεγχοι, η επιλογή των οποίων βασίζεται στα αποτελέσματα του προηγούμενου ελέγχου. Αυτοί είναι ο έλεγχος Augmented Dickey-Fuller τύπου Fisher και ο Cross-Sectional Im Pesaran Shin (CIPS). Οι αποφάσεις για τους ελέγχους λαμβάνονται με επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στη συνέχεια, εξηγείται η κατασκευή των υποδειγμάτων για την κατανάλωση πετρελαίου και φυσικού αερίου και, λόγω των ίδιων των δεδομένων, όπως εξηγείται, η εκτίμηση γίνεται με δύο τεχνικές, που έχουν παραπλήσιο σκεπτικό. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται οι εκτιμητές σταθερών επιδράσεων (Fixed Effects) και πρώτων διαφορών (First Differences). Έπειτα από την εκτίμηση, γίνεται σύγκριση των τεχνικών και των αποτελεσμάτων τους, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων τόσο από τις ίδιες τις εκτιμήσεις, όσο και από τις ομοιότητες και τις διαφορές αυτών.

Τέλος, παρέχονται διαγνωστικοί έλεγχοι για απόκλιση από τις υποθέσεις στα εκτιμημένα υποδείγματα. Ειδικότερα, ελέγχονται τα κατάλοιπα για ετεροσκεδαστικότητα, χρονική εξάρτηση και συσχέτιση μεταξύ των μονάδων. Για τη διασφάλιση ορθότερης συμπερασματολογίας μέσω των εκτιμητών, γίνεται χρήση ανθεκτικού πίνακα διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων Driscoll-Kraay, ο οποίος παρέχει ανθεκτικότητα απέναντι στην

ετεροσκεδαστικότητα, τη χρονική συσχέτιση και τη διαστρωματική αλληλεξάρτηση των σφαλμάτων.

#### 4.2 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την κατανάλωση των βασικών πόρων για ενέργεια απασχολούν τους επιστήμονες εδώ και δεκαετίες. Όμως, σχετικές έρευνες γίνονται συχνότερα έχοντας σαν μεταβλητή την ενέργεια γενικότερα, παρά τους ξεχωριστούς πόρους προς κατανάλωση. Επιπλέον, παρατηρείται σημαντική έλλειψη μελετών που αφορούν την κατανάλωση πετρελαίου σε ευρωπαϊκές χώρες, ενώ είναι ακόμη σπανιότερες εκείνες που πραγματεύονται τους προσδιοριστικούς παράγοντες της ζήτησης του φυσικού αερίου. Σε αυτήν την Ενότητα, αναφέρονται ορισμένες έρευνες που έχουν δημοσιευτεί και σχετίζονται με το αντικείμενο της διατριβής αυτής.

Οι περισσότερες έρευνες στο αντικείμενο, έχουν γίνει με πληθώρα τεχνικών ανάλυσης χρονολογικών σειρών, παρά στα πλαίσια εκτίμησης υποδειγμάτων με δεδομένα Panel. Μία εργασία της πρώτης κατηγορίας είναι αυτή των Dees et al (2007), οι οποίοι πραγματοποιούν έρευνα με μοντέλο Error Correction (ECM) για 10 χώρες (ξεχωριστά) εμπορικούς εταίρους της Ευρωζώνης, με χρονολογικές σειρές από τριμηνιαία δεδομένα από το 1984 έως το 2002. Στην εργασία τους, δημιουργούνται διαφορετικά μοντέλα, για τη ζήτηση, την προσφορά, αλλά και για την τιμή. Με εξαρτημένη μεταβλητή τη ζήτηση για αργό πετρέλαιο, οι ανεξάρτητες τιμές του υποδείγματος είναι το εισόδημα και η τιμή, η οποία έχει προσαρμοστεί όχι μόνο με τον ΔTK, αλλά και με την ισοτιμία. Για όλες τις χώρες, η βραχυχρόνια ελαστικότητα της τιμής είναι πολύ κοντά στο μηδέν, έχοντας αρνητικό πρόσημο. Η ελαστικότητα του εισοδήματος είναι, για κάθε χώρα, θετική και μικρότερη της μονάδας τόσο βραχυχρόνια όσο και μακροχρόνια, ενώ ο όρος διόρθωσης σφάλματος είναι επίσης στατιστικά σημαντικός.

Ο Tsirimokos (2011) ερευνά την ελαστικότητα της κατανάλωσης πετρελαίου σε 10 χώρες μέλη της IEA με χρονολογικές σειρές της περιόδου 1980-2009. Κάνοντας χρήση πολλαπλής παλινδρόμησης με υπόδειγμα εμπνευσμένο από το μοντέλο μερικής προσαρμογής του Nerlove με ερμηνευτικές μεταβλητές το εισόδημα και την κατανάλωση, καταλήγει στο συμπέρασμα πως, βραχυχρόνια, η κατανάλωση είναι ανελαστική ως προς το εισόδημα και την τιμή, ενώ τονίζει την ιδιαίτερη ανελαστικότητα ως προς την τελευταία. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει πως, οι χώρες χρειάζονται χρόνο για να προσαρμοστούν στις μεταβολές του εισοδήματος και της τιμής.

Στην ίδια κατηγορία ανήκει η μελέτη των De Vita, Endresen και Hunt (2006), στην οποία στόχος είναι η εκτίμηση των ελαστικοτήτων του εισοδήματος, της τιμής και της θερμοκρασίας του αέρα για τη Ναμίμπια, για τη ζήτηση ενέργειας γενικά, αλλά και ανά τύπο ενέργειας (πόρο).

Τα δεδομένα αφορούν την περίοδο 1980-2002 και ακολουθείται μεθοδολογία Autoregressive Distributed Lag (ARDL) Bounds. Παρατηρείται από τους συγγραφείς, ότι οι ελαστικότητες διαφέρουν για τα διάφορα καύσιμα, αλλά γενικά η αύξηση του εισοδήματος αυξάνει την κατανάλωση, ενώ η αύξηση της τιμής και της θερμοκρασίας έχουν αρνητική επίδραση σε αυτή.

Όπως αναφέρθηκε, στη βιβλιογραφία δεν παρατηρείται συχνά η χρήση των κλασικών μεθόδων εκτίμησης με Panel. Για αυτό, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το έργο των Gately και Huntington (2002), στο οποίο γίνεται χρήση όμοιας μεθόδου με την παρούσα διατριβή. Συγκεκριμένα, στην εργασία τους χρησιμοποιείται η τεχνική εκτίμησης Fixed Effects, με εξαρτημένη μεταβλητή την κατανάλωση πετρελαίου και ερμηνευτικές μεταβλητές το εισόδημα και την τιμή. Τα ετήσια δεδομένα της έρευνας αφορούν 96 χώρες, οι οποίες χωρίζονται σε χώρες-μέλη του OECD και μη, για την περίοδο 1971-1997. Για τις χώρες μέλη του OECD, η εκτίμηση της ελαστικότητας του εισοδήματος είναι 0.55, ενώ της ελαστικότητας τιμής -0.6. Οι αντίστοιχες τιμές για τις υπόλοιπες χώρες είναι 0.95 και -0.12.

Έχουν επιπλέον δημοσιευθεί έρευνες, στις οποίες ερευνώνται σχέσεις συνολοκλήρωσης ανάμεσα στις μεταβλητές, για τη δημιουργία κατάλληλου υποδείγματος με δεδομένα Panel. Οι Narayan και Smith (2007) εκτιμούν υπόδειγμα για τη ζήτηση πετρελαίου με ετήσια δεδομένα για μορφή Panel, για 12 χώρες της Μέσης Ανατολής και για την περίοδο 1971-2002. Χρησιμοποιούν εκτίμηση με Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS), καθώς, σύμφωνα με τους συγγραφείς, με την τεχνική αυτή λαμβάνονται υπ' όψη η ενδογένεια, η αυτοσυσχέτιση των σφαλμάτων και επίσης εκτιμώνται συνεπώς οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών σε μικρά δείγματα. Εκτιμώντας ξεχωριστά υποδείγματα για κάθε χώρα, με ανεξάρτητες μεταβλητές το εισόδημα και την τιμή, προκύπτει ότι η μακροχρόνια ελαστικότητα εισοδήματος και της τιμής κυμαίνονται από 0.727 έως 1.816 και από -0.0002 έως -0.071 αντίστοιχα.

Οι Narayan και Wong (2009) επίσης ερευνούν σχέσεις αιτιότητας και συνολοκλήρωσης με την κατανάλωση πετρελαίου με Panel από έξι πολιτείες της Αυστραλίας για τα έτη 1985-2006. Οι συγγραφείς, χρησιμοποιούν τη μέθοδο Engle-Granger Two-Step Method, ελέγχοντας αρχικά για στασιμότητα με έλεγχο IPS και εν συνεχεία για συνολοκλήρωση με τον έλεγχο Pedroni. Εφόσον τα αποτελέσματα παρέχουν απόδειξη για την ύπαρξη σχέσης συνολοκλήρωσης, εκτιμάται υπόδειγμα, με εξαρτημένη μεταβλητή την κατανάλωση πετρελαίου. Η εκτίμηση γίνεται με Fully-Modified OLS, ούτως ώστε να εκτιμηθεί η μακροχρόνια σχέση. Τέλος, γίνεται έλεγχος αιτιότητας μέσω Vector Error Correction Model. Από τα βήματα που περιγράφηκαν, προκύπτει πως το εισόδημα έχει σημαντική επίδραση στην κατανάλωση πετρελαίου μακροχρόνια, αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο με την τιμή. Επιπλέον, εντοπίζεται αμφίδρομη αιτιότητα ανάμεσα στο εισόδημα και την κατανάλωση. Η συγκεκριμένη διατριβή έχει ορισμένα κοινά στοιχεία με τη δημοσίευση των Narayan και Wong. Ειδικότερα, γίνεται και στις δύο

έρευνες προσαρμογή της (περιφερειακής) τιμής του πόρου με χρήση του δείκτη τιμών καταναλωτή, ενώ επιπλέον χρησιμοποιείται σαν βάση για τα υποδείγματα η σχέση  $D(Q) = f(Y, P)$ , δηλαδή ότι η ζήτηση είναι συνάρτηση του εισοδήματος και της τιμής.

Η ζήτηση για φυσικό αέριο έχει διερευνηθεί αρκετά λιγότερο με οικονομετρικές μεθόδους και η έλλειψη συμπερασμάτων σχετικά με τις ελαστικότητες του εισοδήματος και της τιμής στη βιβλιογραφία γίνεται εύκολα εμφανής. Μία από τις σπάνιες έρευνες με αντικείμενο την κατανάλωση αερίου, αυτή των Ozturk και Al-Mulali (2015), η οποία έχει σκοπό την εύρεση της κατεύθυνσης αιτιότητας ανάμεσα στην κατανάλωση του φυσικού αερίου και το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν. Χρησιμοποιώντας Panel με δεδομένα της περιόδου 1980-2012 για τις χώρες που ανήκουν στο Συμβούλιο Συνεργασίας του Κόλπου (GCC), οι συγγραφείς πραγματοποιούν έλεγχο συνολοκλήρωσης ανάμεσα στο ΑΕΠ και στην κατανάλωση φυσικού αερίου. Χάρη σε αυτό το αποτέλεσμα, τους δίνεται η δυνατότητα για εκτίμηση με DOLS και με FMOLS, με εξαρτημένη μεταβλητή το ΑΕΠ (σε αντίθεση με μελέτες που προαναφέρθηκαν). Συμπεραίνεται πως η κατανάλωση αερίου επηρεάζει θετικά το εισόδημα των χωρών του GCC (μακροχρόνια), ενώ επιπλέον πραγματοποιείται έλεγχος αιτιότητα κατά Granger, από τον οποίο προκύπτει πως τα δύο μεγέθη έχουν αμφίδρομη σχέση αιτιότητας.

#### 4.3 Πηγές, Χειρισμός και Παρουσίαση Δεδομένων

Πριν από οποιαδήποτε ανάλυση, οφείλουν πρώτα να παρουσιαστούν και να εξηγηθούν τα δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή της έρευνας, ούτως ώστε να υπάρξει καλύτερη κατανόηση τόσο της διαδικασίας, όσο και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτή. Ακριβώς για αυτόν τον σκοπό, στην Ενότητα αυτή αρχικά αναφέρονται τα δεδομένα της μελέτης και δίνονται οι πηγές προέλευσής τους. Στη συνέχεια εξηγούνται τα βήματα που μεσολάβησαν μέχρι αυτά να λάβουν τη μορφή Panel Data και ο μετέπειτα μετασχηματισμός.

Για την έρευνα χρησιμοποιούνται ετήσια δεδομένα για την κατανάλωση πετρελαίου (COIL) και φυσικού αερίου (CGAS), καθώς και την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (PREN), που παρέχονται από το σετ δεδομένων World Energy Balances της IEA (IEA, 2021). Για μεταβλητή του εισοδήματος χρησιμοποιείται το πραγματικό ετήσιο ΑΕΠ σε δολάρια 2010, το οποίο λαμβάνεται από την βάση World Development Indicators (WDI) της World Bank. Από την ίδια βάση ελήφθησαν δεδομένα για τον ΔTK και τον πληθυσμό (World Bank). Η τιμή των υπό διερεύνηση πόρων δεν θα μπορούσε να λείπει από την ανάλυση. Οι περιφερειακές ονομαστικές τιμές του πετρελαίου (PBRE) και φυσικού αερίου (PGEU) προέρχονται από το dataset Commodity Price Data – Pink Sheet της World Bank (World Bank, Commodity Markets). Τέλος, παρέχονται δεδομένα για τη μέση θερμοκρασία κάθε χώρας (ATMP) από τη βάση Climate Change Knowledge Portal (CCKP) της World Bank (World Bank, Climate



Change Knowledge Portal). Τα ετήσια δεδομένα για όλες τις μεταβλητές αφορούν τα έτη 1992-2019, για 23 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, EFTA και ENP. Οι χώρες αυτές είναι οι: Αυστρία, Βέλγιο, Τσεχία, Ελβετία, Γερμανία, Δανία, Ισπανία, Εσθονία, Φινλανδία, Γαλλία, Αγγλία, Ελλάδα, Ουγγαρία, Ιρλανδία, Ιταλία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Λετονία, Ολλανδία, Πολωνία, Σλοβακία, Σλοβενία, Σουηδία. Λόγω του όγκου των μεταβλητών και της πολλαπλότητας των πηγών, παρατίθενται στον Πίνακα 4.1, οι μεταβλητές που περιγράφηκαν, με τον συμβολισμό τους, την επεξήγησή τους και την πηγή προέλευσης των δεδομένων.

**Πίνακας 4.1: Συμβολισμός Μεταβλητών**

Μεταβλητή	Επεξήγηση	Πηγή
COIL	Κατανάλωση Πετρελαίου	IEA - International Energy Balances
CGAS	Κατανάλωση Φυσ. Αερίου	IEA - International Energy Balances
PREN	Παραγωγή Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές	IEA - International Energy Balances
GDP	Πραγματικό ΑΕΠ (2010 \$)	World Bank - World Development Indicators (WDI)
PBRE	Τιμή Πετρελαίου Brent	World Bank - Commodity Price Data
PGEU	Τιμή Φυσ. Αερίου (Ευρώπη)	World Bank - Commodity Price Data
ATMP	Μέση Θερμοκρασία	World Bank - Climate Change Knowledge Portal (CCKP)

Τα δεδομένα δεν πάρθηκαν από τις τοποθεσίες αυτές στην ιδανική μορφή για την έρευνα. Χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του τελικού σετ δεδομένων SQL και πιο συγκεκριμένα το σύστημα διαχείρισης MySQL, αλλά μέχρι το σημείο αυτό, μεσολάβησαν διάφορα βήματα για κάθε μεταβλητή. Τα δεδομένα για την κατανάλωση πετρελαίου, φυσικού αερίου και την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, βρίσκονται σε μορφή wide, και ανάμεσα σε άλλες μεταβλητές και για άλλους πόρους. Για τον λόγο αυτόν, έπρεπε, μετά την εισαγωγή των δεδομένων σε αρχικό πίνακα, να γίνει διαδικασία unpivoting σε δεύτερο χρόνο. Η περίπτωση των δεδομένων από τη βάση WDI είναι όμοια. Οι τιμές των δύο πόρων, σαν κοινές για εύρος χωρών, παρέχονται σε μορφή ξεχωριστών χρονοσειρών, μαζί με τιμές λοιπών πόρων για διάφορες περιφέρειες και άρα εισήχθησαν στο σχήμα σε αυτή τη μορφή. Η ετήσια μέση θερμοκρασία κάθε χώρας παρέχεται από τη βάση CCKP σε μορφή ξεχωριστών χρονολογικών σειρών. Έτσι, ήταν απαραίτητη η μία προς μία λήψη των χρονολογικών σειρών αυτών, οι οποίες εν συνεχεία τοποθετήθηκαν σε κοινό αρχείο για εισαγωγή σε πίνακα εντός σχήματος SQL.

Με τα δεδομένα εντός πινάκων σε σχήμα SQL, η εξαγωγή των δεδομένων γίνεται με χρήση ερωτηματολογίου (query)<sup>1</sup>. Το σετ δεδομένων που προκύπτει εισάγεται στην R και εκεί

<sup>1</sup> Σημειώνεται πως, μετά την εξαγωγή, υπήρχαν συνολικά 7 ελλειπείς τιμές για τη μεταβλητή GDP, Αυτές καλύφθηκαν με χρήση τεχνικής εκθετικής εξομάλυνσης για πρόβλεψη πίσω στον χρόνο (backcasting).

εκτελούνται ορισμένες μετατροπές στις μεταβλητές. Αρχικά, η κατανάλωση πετρελαίου, η κατανάλωση φυσικού αερίου, το πραγματικό ΑΕΠ και η παραγωγή πράσινης ενέργειας διαιρούνται με τον πληθυσμό, για να προκύψουν τα αντίστοιχα κατά κεφαλήν μεγέθη. Οι τιμές του πετρελαίου και φυσικού αερίου προσαρμόζονται με τον Δείκτη Τιμών Καταναλωτή κάθε χώρας, ούτως ώστε να διαφοροποιηθούν πραγματικές τιμές για κάθε χώρα, όπως γίνεται στην εργασία των Narayan-Wong (2009). Τέλος, παίρνονται οι λογάριθμοι των μεταβλητών, προκειμένου να εκτιμηθούν σε επόμενο βήμα οι ελαστικότητες που απασχολούν στη μελέτη. Εφεξής, τα ονόματα των μεταβλητών που δόθηκαν θα αναφέρονται στις αντίστοιχες μεταβλητές έπειτα από τα βήματα που περιγράφηκαν.

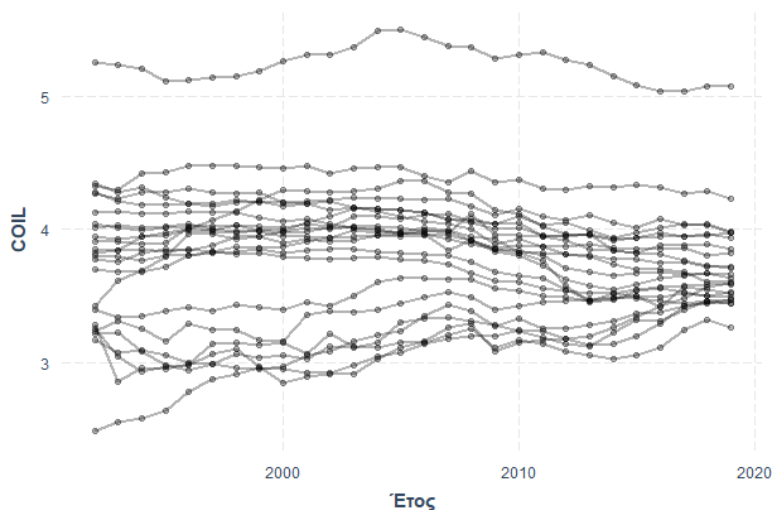
**Πίνακας 4.2: Στοιχεία Περιγραφικής Στατιστικής**

	COIL	CGAS	GDP	PBRE	PGEU	PREN	ATMP
<b>Observations (NT)</b>	644	644	644	644	644	644	644
<b>Mean</b>	3.7921	2.7239	10.2564	3.8834	1.7968	2.5449	2.1240
<b>Median</b>	3.8468	2.8339	10.4567	3.8888	1.7484	2.5082	2.2252
<b>Max</b>	5.5012	4.3220	11.6260	6.1360	4.1146	4.4935	2.7226
<b>Min</b>	2.4911	-4.1999	8.4089	2.6525	0.8581	0.0426	0.0296
<b>Std. Dev.</b>	0.5039	0.9501	0.6987	0.5455	0.4596	0.9240	0.4307
<b>Skewness</b>	0.5792	-2.2120	-0.5038	-0.0128	0.3149	0.0769	-1.7154
<b>Kurtosis</b>	4.2571	13.9486	2.5815	2.3131	2.8387	2.5321	6.5862
<b>Jarque-Bera</b>	78.4107	3741.7373	31.9395	12.6785	11.3384	6.5090	660.9416
<b>Probability</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0035	0.0386	0.0000

Στον Πίνακα 4.2 παρέχονται στοιχεία περιγραφικής στατιστικής για τις μεταβλητές που απασχολούν στη συγκεκριμένη μελέτη, μετά τη μετατροπή τους σε λογαρίθμους. Ειδικότερα, παρουσιάζονται ο αριθμός των παρατηρήσεων (644 για κάθε μεταβλητή) τα μέτρα θέσης μέσος όρος, διάμεσος, μέγιστο (maximum) και ελάχιστο (minimum), καθώς και τα μέτρα διασποράς τυπική απόκλιση, ασυμμετρία, κύρτωση, ενώ τέλος δίνεται επιπλέον η στατιστική Jarque-Bera για έλεγχο κανονικότητας, μαζί με το αντίστοιχο p-value. Μπορούν να γίνουν μερικές γρήγορες παρατηρήσεις σχετικά με τα μέτρα αυτά. Οι μέσοι όροι και ο διάμεσος για κάθε μεταβλητή είναι παραπλήσιοι. Η κατανάλωση φυσικού αερίου και η μέση θερμοκρασία εμφανίζουν αρκετά μεγαλύτερη ασυμμετρία από τις υπόλοιπες μεταβλητές, με την πρώτη να έχει επίσης μεγάλη κύρτωση. Καμία από τις μεταβλητές δεν δείχνει να είναι κατανομημένη κανονικά, με τα p-value του ελέγχου Jarque-Bera να είναι πολύ χαμηλό. Σημειώνεται όμως, πως το αντίστοιχο p-value για την παραγωγή πράσινης ενέργειας, είναι 0.0386 και άρα η μηδενική υπόθεση της κανονικότητας απορρίπτεται για επίπεδο εμπιστοσύνης 5%, αλλά όχι για 1%.

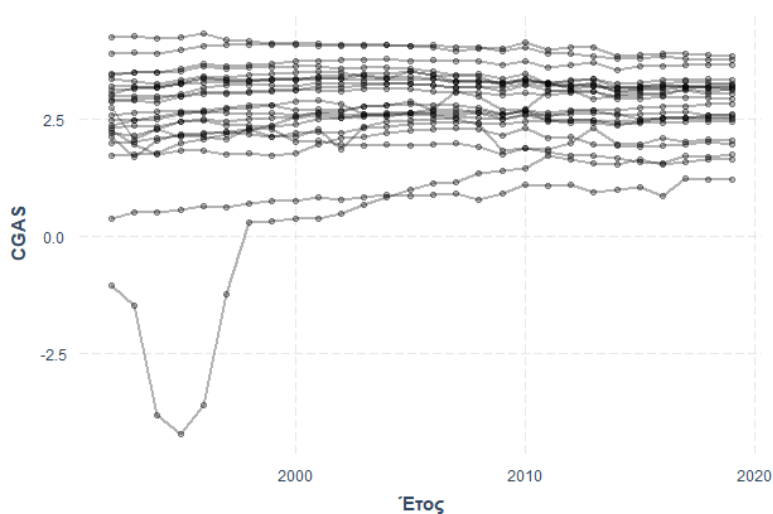
Στο Γράφημα 4.1 απεικονίζονται οι τιμές της μεταβλητής COIL, δηλαδή της κατανάλωσης πετρελαίου. Με μία ματιά δύναται να εξαχθούν μερικά βασικά συμπεράσματα αναφορικά με τη χρήση πετρελαίου στις υπό διερεύνηση χώρες. Σε ορισμένες χώρες παρατηρείται υψηλότερη κατανάλωση πετρελαίου σε σύγκριση με άλλες. Επιπλέον, οι χρονολογικές σειρές για τη

μεταβλητή αυτή εμφανίζουν διαφορές στην τάση, με αρκετές εξ αυτών να κινούνται ανοδικά, σε αντίθεση με κάποιες άλλες που ακολουθούν πτωτική πορεία. Λόγω της τάσης αυτής, η μεταβλητή δείχνει μη στάσιμη.



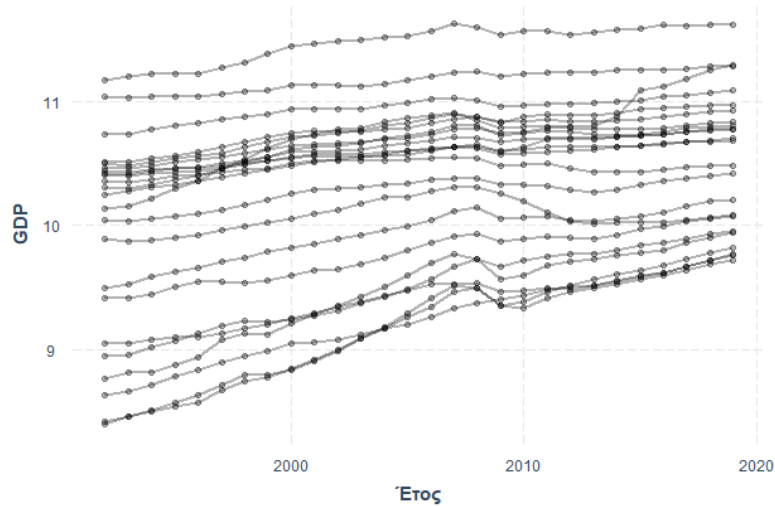
**Διάγραμμα 4.1: Απεικόνιση δεδομένων κατανάλωσης πετρελαίου**

Στο Διάγραμμα 4.2 παρουσιάζονται οι τιμές των δεδομένων για την κατανάλωση φυσικού αερίου (CGAS), σε λογαρίθμους. Συγκριτικά με την περίπτωση του πετρελαίου, στο φυσικό αέριο παρατηρείται μεγαλύτερη ομοιομορφία στο επίπεδο κατανάλωσης. Η τιμές των χρονολογικών σειρών που απαρτίζουν τη μεταβλητή στο συγκεκριμένο Panel δεν φαίνεται να διατηρούνται σταθερές, με τις περισσότερες σειρές να εμφανίζουν κάποια μικρή τάση, ενώ σε ορισμένες αυτή είναι μεγαλύτερη. Ενδιαφέρον παρουσιάζει μία απότομη μείωση της κατανάλωσης στα μέσα της δεκαετίας του '90 για λίγες χώρες, ενώ είναι πολύ πιο εμφανής για μία και συγκεκριμένα για την Ελλάδα.



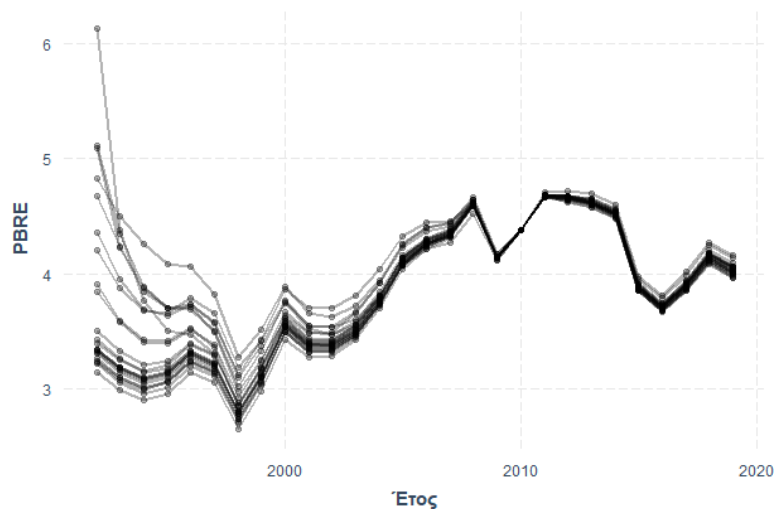
**Διάγραμμα 4.2: Απεικόνιση δεδομένων κατανάλωσης φυσικού αερίου**

Τα αντίστοιχα δεδομένα για την τιμή του ΑΕΠ στις 23 χώρες του δείγματος παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 4.3. Όπως και στην κατανάλωση πετρελαίου, έτσι και εδώ, φαίνεται πως οι διάφορες χώρες έχουν ανομοιομορφία ως προς το επίπεδο παραγωγής τους. Αυτό φαίνεται στο Διάγραμμα, από το γεγονός ότι ορισμένες χρονολογικές σειρές βρίσκονται πάνω από άλλες. Σε γενικές γραμμές, το ΑΕΠ δείχνει να ακολουθεί ανοδική τάση.



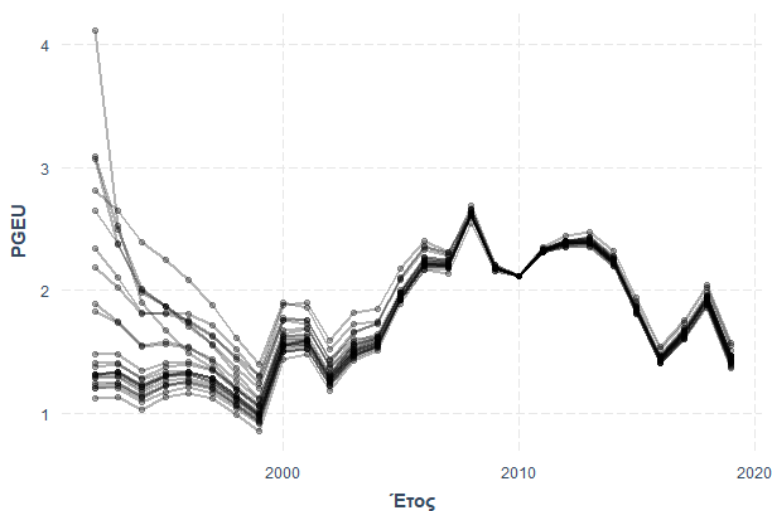
**Διάγραμμα 4.3: Απεικόνιση δεδομένων για πραγματικό ΑΕΠ**

Στο Διάγραμμα 4.4 απεικονίζεται η τιμή του πετρελαίου Brent, προσαρμοσμένη με τον ξεχωριστό ΔΤΚ της κάθε χώρας. Από τον ορισμό της μεταβλητής προκύπτει, ότι θα είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους οι σειρές, εάν οι ΔΤΚ των χωρών είναι κοντά, κάτι που πράγματι συμβαίνει μετά το έτος 2000. Από εκείνο το σημείο οι σειρές σχεδόν ταυτίζονται, ενώ σε προηγούμενα έτη παρατηρείται ανομοιομορφία των ΔΤΚ.



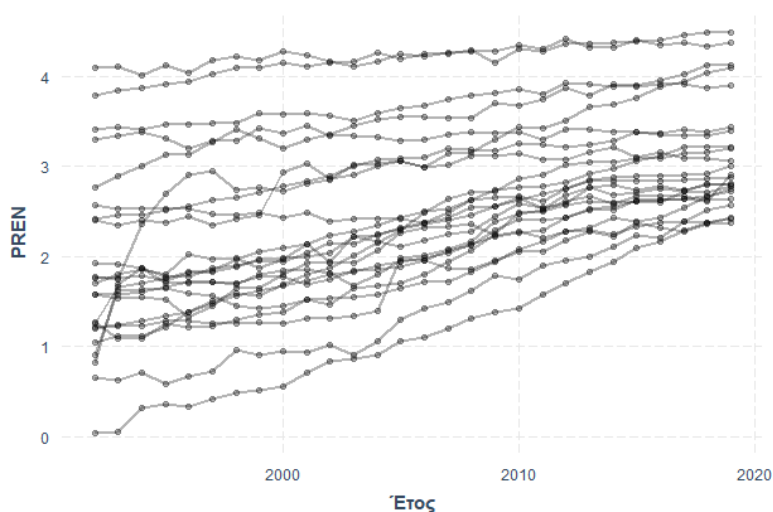
**Διάγραμμα 4.4: Απεικόνιση τιμής πετρελαίου Brent**

Στο Διάγραμμα 4.5 φαίνονται οι αντίστοιχες τιμές με την τιμή του ευρωπαϊκού φυσικού αερίου, επίσης προσαρμοσμένες με τον ατομικό ΔΤΚ των χωρών. Στο σημείο αυτό παρατηρείται κάτι πολύ ενδιαφέρον. Η κίνηση της τιμής του φυσικού αερίου είναι παρόμοια με αυτή της τιμής του πετρελαίου, σε σημείο που δείχνουν σχεδόν πανομοιότυπες. Όπως και στο προηγούμενο γράφημα, το πόσο κοντά είναι οι σειρές μεταξύ τους, έχει να κάνει με τις τιμές του ΔΤΚ.



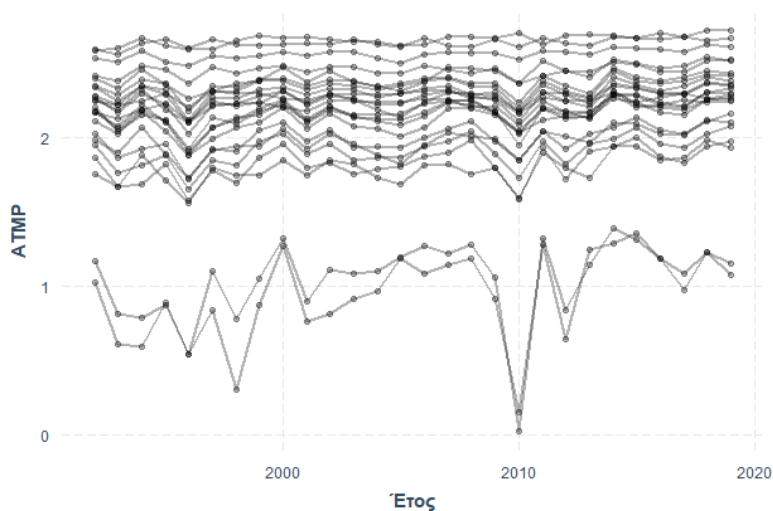
**Διάγραμμα 4.5: Απεικόνιση τιμής ευρωπαϊκού φυσικού αερίου**

Το Διάγραμμα 4.6 δίνει γραφική απεικόνιση των δεδομένων για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Γίνεται άμεσα εμφανές ότι όλες οι χρονολογικές σειρές παρουσιάζουν ανοδική τάση, μερικές εντονότερη από άλλες. Η εικόνα αυτή ήταν η αναμενόμενη, αφού τις τελευταίες δεκαετίες οι χώρες καταβάλουν σημαντική προσπάθεια για την κάλυψη αναγκών τους από πράσινη ενέργεια σε μεγαλύτερο βαθμό.



**Διάγραμμα 4.6: Απεικόνιση δεδομένων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές**

Μέσω του Διαγράμματος 4.7 παρέχεται απεικόνιση της μέσης θερμοκρασίας των χωρών του δείγματος διαχρονικά. Παρατηρείται ήπια ανοδική τάση της μέσης θερμοκρασίας, κάτι το οποίο συζητείται εδώ και χρόνια, αφού οι επιστήμονες δίνουν μάχη, για να βρουν τρόπους αντιμετώπισης αυτού του φαινομένου. Επιπρόσθετα, σημειώνεται πως απότομες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, είτε ανοδικές είτε καθοδικές, είναι κοινές στις περισσότερες χώρες, αν και το βεληνεκές αυτών μπορεί να διαφέρει.



**Διάγραμμα 4.7: Απεικόνιση μέσης θερμοκρασίας**

#### 4.4 Συσχέτιση Οικονομικών Μονάδων και Έλεγχοι Στασιμότητας

Σαν πρώτο βήμα της έρευνας, γίνεται διερεύνηση των μεταβλητών για συσχέτιση μεταξύ των μονάδων και εν συνεχεία πραγματοποιούνται έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας για την εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με τη στασιμότητα των μεταβλητών. Μία πρώτη εικόνα σχετικά με τη στασιμότητα έχει δοθεί μέσω της γραφικής απεικόνισης των μεταβλητών εντός του δείγματος. Στη συγκεκριμένη Ενότητα πραγματεύεται τα δύο αυτά ζητήματα για τις μεταβλητές που απασχολούν στην εργασία αυτή και αναλύονται τα αποτελέσματα των ελέγχων.

Έχει εξηγηθεί στο Κεφάλαιο 3, πως η αλληλεξάρτηση μεταξύ των μονάδων (cross-sectional dependence) αποτελεί κομβικό σημείο στη διεξαγωγή μιας έρευνας. Ακριβώς επειδή επηρεάζει σημαντικά τόσο τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων, όσο και τους προκαταρκτικούς ελέγχους της μελέτης, είναι κρίσιμη η διερεύνηση του φαινομένου αυτού για τις μεταβλητές που περιλαμβάνονται στην εργασία αυτή, πριν αυτές να ελεγχθούν για στασιμότητα. Ο έλεγχος που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί για εντοπισμό αλληλεξάρτησης των μονάδων, είναι ο CD του Pesaran, καθώς είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος στη βιβλιογραφία και θεωρητικά αποδίδει καλύτερα δεδομένων των διαστάσεων του Panel. Πιο συγκεκριμένα, ο έλεγχος CD είναι έμπιστος για διάφορες περιπτώσεις μεγεθών  $N, T$ , ενώ για παράδειγμα, μια άλλη

δημοφιλής επιλογή, ο έλεγχος LM των Breusch-Pagan, θα απαιτούσε μικρότερο  $N$  για να δώσει πιο έμπιστα αποτελέσματα.

**Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα Ελέγχων Cross-Sectional Dependence**

Επίπεδα							
	COIL	CGAS	GDP	PBRE	PGEU	PREN	ATMP
CD statistic	14.611	22.206	76.018	74.328	70.051	71.695	60.299
p-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Πρώτες Διαφορές							
	$\Delta$ COIL	$\Delta$ CGAS	$\Delta$ GDP	$\Delta$ PBRE	$\Delta$ PGEU	$\Delta$ PREN	$\Delta$ ATMP
CD statistic	18.248	28.982	51.637	78.975	78.456	3.253	55.164
p-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000

Τα αποτελέσματα του ελέγχου παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3. Γίνεται άμεσα προφανές ότι για όλες τις μεταβλητές απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση της μη ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ των μονάδων. Πιο αναλυτικά, οι τιμές της στατιστικής ελέγχου CD είναι πολύ υψηλές, και αυτό αντικατοπτρίζεται στο p-value, με το τελευταίο να είναι 0.0000 για κάθε μεταβλητή σε επίπεδα. Το ίδιο συμβαίνει και σε πρώτες διαφορές. Συμπεραίνεται πως το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι υπαρκτό στις χρονοσειρές από τις οποίες απαρτίζονται τα Panel για κάθε μεταβλητή. Αυτό το συμπέρασμα ήταν αναμενόμενο, καθώς οι χώρες της έρευνας είναι στενά συνδεδεμένες. Οι περισσότερες ανήκουν στην Ευρωζώνη ή και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, βρίσκονται κοντά χωρικά, ενώ μεταξύ των περισσότερων υπάρχουν στενές εμπορικές σχέσεις και, σε πολλά ζητήματα, ακολουθούν κοινή πολιτική. Κατά συνέπεια, για στο επόμενο βήμα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί έλεγχος ή έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας με κάποια ανθεκτικότητα απέναντι στη συσχέτιση των μονάδων.

Για τον έλεγχο στασιμότητας των μεταβλητών, επιλέγονται δύο έλεγχοι. Αυτοί είναι ο έλεγχος Augmented Dickey-Fuller τύπου Fisher, ο οποίος συνδυάζει τα p-value των ατομικών ελέγχων για κάθε χρονολογική σειρά του Panel, καθώς και ο έλεγχος Cross-Sectional Im Pesaran Shin (CIPS). Ο πρώτος παρέχει αναλυτικότερα αποτελέσματα και μερική προστασία έναντι του φαινομένου cross-sectional dependence. Ο έλεγχος CIPS είναι έλεγχος δεύτερης γενιάς για μοναδιαία ρίζα και αποτελεί την πιο συχνή επιλογή όταν υπάρχει αυτό το φαινόμενο.

Μέσα από τον έλεγχο τύπου Fisher, προσφέρεται σαν ενδιάμεσο στάδιο ο κλασικός έλεγχος ADF για κάθε χρονολογική σειρά ξεχωριστά, με επιλογή αριθμού χρονικών υστερήσεων (lag) μέσω κριτηρίου πληροφόρησης και έτσι, ουσιαστικά προσφέρεται εικόνα για τη στασιμότητα κάθε σειράς εντός του Panel. Για αυτό, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για κάθε μεταβλητή σε επίπεδα (levels) πριν αυτά δοθούν σε πίνακα συγκεντρωτικά για επίπεδα και πρώτες διαφορές. Χρησιμοποιείται το κριτήριο πληροφόρησης Modified Schwarz (mSIC) για την επιλογή βέλτιστου αριθμού χρονικών υστερήσεων με ανώτατο όριο τις δύο υστερήσεις. Τα



αποτελέσματα που ακολουθούν προέρχονται από το πρόγραμμα ανάλυσης EViews, καθώς το πακέτο προσφέρει αναλυτική εικόνα για την κάθε σειρά.

Στον Πίνακα 4.4 παρέχονται τα αναλυτικά αποτελέσματα του ελέγχου για τη μεταβλητή COIL, δηλαδή για την κατανάλωση πετρελαίου. Η στατιστική Z έχει τιμή 3.3582 και πολύ μεγάλο p-value ίσο με 0.9996, εάν ο έλεγχος επιτρέπει σε κάθε μονάδα ατομικό σταθερό όρο. Κοιτώντας τα ατομικά αποτελέσματα, μόνο σε σειρά δείχνει να απορρίπτεται η υπόθεση της μοναδιαίας ρίζας. Εάν επιτραπεί επιπρόσθετα ατομική τάση, το p-value είναι 0.0904 και άρα δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση της μοναδιαίας ρίζας σε όλες τις χρονολογικές σειρές ταυτοχρόνως σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 5\%$ , θα γινόταν όμως αποδεκτή εάν το επίπεδο σημαντικότητας ήταν 10%. Φαίνεται ότι στον δεύτερο έλεγχο, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται για 4 χώρες, δηλαδή αυτές οι χώρες δείχνουν να είναι στάσιμες γύρω από τάση. Αυτό δείχνει ότι η κατανάλωση πετρελαίου σε αυτές τις χώρες έχει μικρές αποκλίσεις γύρω από τάση.

**Πίνακας 4.4: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για κατανάλωση πετρελαίου**

Series: COIL					Series: COIL				
Sample: 1992 2019					Sample: 1992 2019				
Exogenous variables: Individual effects					Exogenous variables: Individual effects, individual linear trends				
Method		Statistic	Prob.**		Method		Statistic	Prob.**	
ADF - Fisher Chi-square		37.4881	0.8101		ADF - Fisher Chi-square		66.0893	0.0276	
ADF - Choi Z-stat		3.35818	0.9996		ADF - Choi Z-stat		-1.33846	0.0904	
** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.					** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.				
Intermediate ADF test results COIL					Intermediate ADF test results COIL				
Cross					Cross				
section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs	section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs
1	0.5303	0	2	27	1	0.8036	0	2	27
2	0.7478	0	2	27	2	0.0071	1	2	26
3	1.0000	2	2	25	3	0.9652	1	2	26
4	0.5378	0	2	27	4	0.6400	0	2	27
5	0.8946	1	2	26	5	0.8025	1	2	26
6	0.9843	0	2	27	6	0.7017	0	2	27
7	0.6618	1	2	26	7	0.3084	1	2	26
8	0.5284	0	2	27	8	0.3002	0	2	27
9	0.6907	0	2	27	9	0.1958	0	2	27
10	0.9932	0	2	27	10	0.8192	0	2	27
11	0.8838	1	2	26	11	0.4179	1	2	26
12	0.5591	1	2	26	12	0.4909	1	2	26
13	0.9329	0	2	27	13	0.5461	1	2	26
14	0.4261	2	2	25	14	0.7374	0	2	27
15	0.9910	0	2	27	15	0.8049	0	2	27
16	0.9423	0	2	27	16	0.1622	0	2	27
17	0.5312	1	2	26	17	0.7908	1	2	26
18	0.7381	1	2	26	18	0.0417	1	2	26
19	0.3211	0	2	27	19	0.7662	0	2	27
20	0.4862	2	2	25	20	0.0775	1	2	26
21	0.0334	0	2	27	21	0.0117	0	2	27
22	0.0004	0	2	27	22	0.0158	0	2	27
23	0.9946	0	2	27	23	0.0385	2	2	25



Στον πίνακα 4.5 παρέχονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την κατανάλωση φυσικού αερίου. Το p-value του ελέγχου με ατομικό σταθερό όρο είναι χαμηλό με τιμή 0.004 και άρα απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 5% η μηδενική υπόθεση, έναντι της εναλλακτικής, ότι δηλαδή υπάρχει τουλάχιστον μία στάσιμη σειρά για τη μεταβλητή. Φαίνεται ότι αυτό οφείλεται σε πέντε χώρες. Στην εκδοχή του ελέγχου με ατομική τάση, το p-value είναι 0.0005. Φαίνεται ότι ορισμένες σειρές δηλαδή είναι στάσιμες γύρω από την τάση τους. Οι χώρες αυτές είναι και πάλι λιγοστές, με μόνο πέντε να έχουν p-value μικρότερο του 0.05 στον ατομικό τους έλεγχο. Έχει ενδιαφέρον το γεγονός ότι αυτές οι χώρες δεν ταυτίζονται με τις αντίστοιχες του ελέγχου με ατομικό σταθερό όρο.

**Πίνακας 4.5: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για κατανάλωση φυσικού αερίου**

Series: CGAS					Series: CGAS				
Sample: 1992 2019					Sample: 1992 2019				
Exogenous variables: Individual effects					Exogenous variables: Individual effects, individual linear trends				
Method		Statistic	Prob.**		Method		Statistic	Prob.**	
ADF - Fisher Chi-square		82.8883	0.0007		ADF - Fisher Chi-square		83.1809	0.0006	
ADF - Choi Z-stat		-2.65293	0.004		ADF - Choi Z-stat		-3.31964	0.0005	
** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.					** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.				
Intermediate ADF test results CGAS					Intermediate ADF test results CGAS				
Cross					Cross				
section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs	section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs
1	0.1162	0	2	27	1	0.8446	1	2	26
2	0.0440	0	2	27	2	0.3147	1	2	26
3	0.0018	2	2	25	3	0.3800	2	2	25
4	0.2339	0	2	27	4	0.4343	0	2	27
5	0.0081	0	2	27	5	0.0615	0	2	27
6	0.1945	0	2	27	6	0.0074	0	2	27
7	0.0670	0	2	27	7	0.8553	0	2	27
8	0.0437	0	2	27	8	0.1450	0	2	27
9	0.5433	0	2	27	9	0.0488	0	2	27
10	0.4546	0	2	27	10	0.4566	0	2	27
11	0.9573	1	2	26	11	0.3520	1	2	26
12	0.0020	2	2	25	12	0.0546	1	2	26
13	0.0971	0	2	27	13	0.1650	0	2	27
14	0.2173	0	2	27	14	0.5029	0	2	27
15	0.5869	0	2	27	15	0.5985	0	2	27
16	0.9050	2	2	25	16	0.0119	1	2	26
17	0.9064	0	2	27	17	0.5120	1	2	26
18	0.3592	0	2	27	18	0.5251	0	2	27
19	0.6527	0	2	27	19	0.0153	0	2	27
20	0.3616	0	2	27	20	0.2754	0	2	27
21	0.5940	0	2	27	21	0.4196	0	2	27
22	0.6341	0	2	27	22	0.5618	0	2	27
23	0.6656	1	2	26	23	0.0052	0	2	27

Στον Πίνακα 4.6 δίνονται τα αναλυτικά αποτελέσματα του ελέγχου για τη μεταβλητή GDP, με άλλα λόγια για το ΑΕΠ των χωρών του δείγματος. Σε έλεγχο με ατομικό σταθερό όρο, το p-value που αντιστοιχεί στο στατιστικό Z του ελέγχου είναι 0.1189 και άρα η μηδενική υπόθεση της μοναδιαίας ρίζας για κάθε μονάδα  $i$  γίνεται δεκτή σε όλα τα συμβατικά επίπεδα σημαντικότητας. Μία χρονολογική σειρά φαίνεται να έχει p-value μικρότερο του 0.05. Στον

έλεγχο με τάση το αντίστοιχο p-value είναι πολύ υψηλό, ίσο με 0.9997 και έτσι δεν απορρίπτεται η  $H_0$  της ύπαρξης στάσιμων χρονολογικών σειρών γύρω από τάση για κάποιες χώρες. Υπάρχει μία σειρά, για την οποία απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση της μοναδιαίας ρίζας σε επίπεδο μονάδας. Πρόκειται για τη Γερμανία. Μέσα από αυτό το αποτέλεσμα διαφαίνεται η συνέπεια, που έχει δείξει το Γερμανικό κράτος στην οικονομική του ανάπτυξη, καθώς η χρονολογική σειρά του πραγματικού ΑΕΠ της Γερμανίας ακολουθεί ανοδική τάση με μικρές αποκλίσεις γύρω από αυτή.

**Πίνακας 4.6: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για πραγματικό ΑΕΠ**

Series: GDP					Series: GDP				
Sample: 1992 2019					Sample: 1992 2019				
Exogenous variables: Individual effects					Exogenous variables: Individual effects, individual linear trends				
Method		Statistic	Prob.**		Method		Statistic	Prob.**	
ADF - Fisher Chi-square		54.0486	0.1940		ADF - Fisher Chi-square		22.5901	0.9985	
ADF - Choi Z-stat		-1.1805	0.1189		ADF - Choi Z-stat		3.4018	0.9997	
** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.					** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.				
Intermediate ADF test results GDP					Intermediate ADF test results GDP				
Cross					Cross				
section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs	section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs
1	0.1808	1	2	26	1	0.8281	2	2	25
2	0.4212	0	2	27	2	0.9203	0	2	27
3	0.8823	0	2	27	3	0.5886	0	2	27
4	0.6980	1	2	26	4	0.8012	0	2	27
5	0.9459	2	2	25	5	0.0156	0	2	27
6	0.1485	1	2	26	6	0.6534	0	2	27
7	0.0956	1	2	26	7	0.2072	1	2	26
8	0.5784	1	2	26	8	0.8793	0	2	27
9	0.0640	1	2	26	9	0.9245	0	2	27
10	0.2389	1	2	26	10	0.8686	0	2	27
11	0.1531	1	2	26	11	0.8170	0	2	27
12	0.0354	1	2	26	12	0.1826	1	2	26
13	0.8718	1	2	26	13	0.9054	0	2	27
14	0.6261	1	2	26	14	0.8497	0	2	27
15	0.0826	1	2	26	15	0.8077	0	2	27
16	0.6530	0	2	27	16	0.7975	0	2	27
17	0.3608	1	2	26	17	0.9132	0	2	27
18	0.4826	2	2	25	18	0.9192	2	2	25
19	0.1882	1	2	26	19	0.8270	0	2	27
20	0.5431	1	2	26	20	0.6819	0	2	27
21	0.6600	0	2	27	21	0.8785	0	2	27
22	0.3220	1	2	26	22	0.8119	0	2	27
23	0.5463	0	2	27	23	0.9281	0	2	27

Στον πίνακα 4.7 εμφανίζονται τα αποτελέσματα του ίδιου ελέγχου τύπου Fisher για την τιμή του πετρελαίου, η οποία υπενθυμίζεται, πως είναι προσαρμοσμένη με τον ΔΤΚ κάθε χώρας του δείγματος. Η τιμή της στατιστικής Z του Choi είναι μικρή και συγκεκριμένα  $-0.4968$  με p-value ίσο με 0.1189. Έτσι, η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται σε κανένα επίπεδο σημαντικότητας. Μόνο για μία χώρα το p-value είναι μικρότερο του 0.05. Στην εκδοχή του ελέγχου με ατομική τάση, το p-value είναι μικρότερο του 0.05 για επίσης μία χώρα, διαφορετική από αυτή της προηγούμενης εκδοχής. Δεν είναι αρκετό αυτό για να αλλάξει το

αποτέλεσμα του ελέγχου γενικότερα, αφού η στατιστική ελέγχου έχει τιμή 0.6161 με μεγάλο p-value 0.7311 και άρα η μηδενική υπόθεση της μοναδιαίας ρίζας με τάση σε όλες τις μονάδες δεν απορρίπτεται.

**Πίνακας 4.7: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για τιμή πετρελαίου Brent**

Series: PBRE					Series: PBRE				
Sample: 1992 2019					Sample: 1992 2019				
Exogenous variables: Individual effects					Exogenous variables: Individual effects, individual linear trends				
Method		Statistic	Prob.**		Method		Statistic	Prob.**	
ADF - Fisher Chi-square		46.0367	0.4707		ADF - Fisher Chi-square		42.9060	0.6026	
ADF - Choi Z-stat		-0.4968	0.3097		ADF - Choi Z-stat		0.6161	0.7311	
** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.					** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.				
Intermediate ADF test results PBRE					Intermediate ADF test results PBRE				
Cross					Cross				
section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs	section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs
1	0.6222	0	2	27	1	0.7932	0	2	27
2	0.6169	0	2	27	2	0.7933	0	2	27
3	0.6769	0	2	27	3	0.7603	0	2	27
4	0.5745	0	2	27	4	0.5821	0	2	27
5	0.6397	0	2	27	5	0.7805	0	2	27
6	0.6190	0	2	27	6	0.7584	0	2	27
7	0.6113	0	2	27	7	0.7090	0	2	27
8	0.0954	0	2	27	8	0.0917	0	2	27
9	0.6293	0	2	27	9	0.7880	0	2	27
10	0.6354	0	2	27	10	0.7764	0	2	27
11	0.6126	0	2	27	11	0.7999	0	2	27
12	0.6019	0	2	27	12	0.5421	0	2	27
13	0.1737	0	2	27	13	0.3586	0	2	27
14	0.6165	0	2	27	14	0.6913	0	2	27
15	0.6308	0	2	27	15	0.7264	0	2	27
16	0.0031	0	2	27	16	0.0007	0	2	27
17	0.6131	0	2	27	17	0.7748	0	2	27
18	0.0779	0	2	27	18	0.0686	0	2	27
19	0.6162	0	2	27	19	0.7661	0	2	27
20	0.3097	0	2	27	20	0.2849	0	2	27
21	0.4098	0	2	27	21	0.4352	0	2	27
22	0.3952	0	2	27	22	0.3519	0	2	27
23	0.6493	0	2	27	23	0.7838	0	2	27

Τα αποτελέσματα για την τιμή του φυσικού αερίου (PGEU) δίνονται στον Πίνακα 4.8. Όταν στον έλεγχο επιτρέπονται ατομικοί σταθεροί όροι, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητα  $\alpha = 5\%$ , καθώς η στατιστική Z έχει τιμή  $-2.0040$  και p-value ίσο με  $0.0225$ . Από τα αναλυτικά αποτελέσματα, φαίνεται ότι αυτό συμβαίνει λόγω μίας και μόνο χώρας, στην οποία το ατομικό p-value είναι πολύ χαμηλό, με τιμή  $0.0007$ . Η ίδια μονάδα εμφανίζει επίσης χαμηλό p-value =  $0.0023$  στην εκδοχή του ελέγχου με ατομική τάση, αλλά στην περίπτωση αυτή, η το p-value για τον συνολικό έλεγχο είναι  $0.9970$ . Κατά συνέπεια, η μηδενική υπόθεση γίνεται δεκτή σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 5\%$  (καθώς και σε κάθε συμβατικό επίπεδο). Σημειώνεται ότι, η διαφορά ανάμεσα στις τιμές για κάθε χώρα, αντικατοπτρίζει τις διαφορές του Δείκτη Τιμών Καταναλωτή. Άρα, αυτό που συμβαίνει είναι ότι η τιμή του αερίου για τη συγκεκριμένη χώρα έχει προσαρμοστεί έτσι, ώστε να θεωρείται

από τον συγκεκριμένο έλεγχο στάσιμη με σταθερό όρο. Η τάση της θα πρέπει να είναι μηδενική.

**Πίνακας 4.8: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για τιμή φυσικού αερίου**

Series: PGEU					Series: PGEU				
Sample: 1992 2019					Sample: 1992 2019				
Exogenous variables: Individual effects					Exogenous variables: Individual effects, individual linear trends				
Method	Statistic		Prob.**		Method	Statistic		Prob.**	
ADF - Fisher Chi-square	60.0678		0.0797		ADF - Fisher Chi-square	28.6915		0.9787	
ADF - Choi Z-stat	-2.0040		0.0225		ADF - Choi Z-stat	2.7509		0.9970	
** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.					** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.				
Intermediate ADF test results PGEU					Intermediate ADF test results PGEU				
Cross					Cross				
section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs	section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs
1	0.4978	0	2	27	1	0.8921	0	2	27
2	0.4895	0	2	27	2	0.8909	0	2	27
3	0.5120	0	2	27	3	0.8714	0	2	27
4	0.4681	0	2	27	4	0.7736	0	2	27
5	0.5020	0	2	27	5	0.8851	0	2	27
6	0.4692	0	2	27	6	0.8629	0	2	27
7	0.4634	0	2	27	7	0.8376	0	2	27
8	0.0687	0	2	27	8	0.2140	0	2	27
9	0.4868	0	2	27	9	0.8864	0	2	27
10	0.4866	0	2	27	10	0.8793	0	2	27
11	0.4933	0	2	27	11	0.8927	0	2	27
12	0.4285	0	2	27	12	0.7142	0	2	27
13	0.2401	0	2	27	13	0.5278	0	2	27
14	0.4434	0	2	27	14	0.8211	0	2	27
15	0.4849	0	2	27	15	0.8493	0	2	27
16	0.0007	0	2	27	16	0.0023	0	2	27
17	0.4791	0	2	27	17	0.8798	0	2	27
18	0.0507	0	2	27	18	0.1682	0	2	27
19	0.4799	0	2	27	19	0.8719	0	2	27
20	0.2312	0	2	27	20	0.4790	0	2	27
21	0.3152	0	2	27	21	0.6322	0	2	27
22	0.2819	0	2	27	22	0.5517	0	2	27
23	0.5064	0	2	27	23	0.8882	0	2	27

Αποτελέσματα του ελέγχου για τη μεταβλητή PREN που αντιστοιχεί στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.9. Στην πρώτη εκδοχή του ελέγχου, με άλλα λόγια εάν συμπεριληφθούν ξεχωριστοί σταθεροί όροι, η στατιστική Z έχει τιμή 3.71596 και το p-value είναι 0.9999, οπότε η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται. Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι για μία και μοναδική χώρα απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση της μοναδιαίας ρίζας. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι στην εκδοχή του ελέγχου τα αποτελέσματα είναι πολύ διαφορετικά. Η στατιστική Z έχει τιμή -3.64507 και πολύ χαμηλό p-value 0.0001. Απορρίπτεται δηλαδή η μηδενική υπόθεση της μοναδιαίας ρίζας με ατομικό σταθερό όρο και τάση για όλες τις σειρές. Κοιτώντας τα αναλυτικά αποτελέσματα για κάθε σειρά, φαίνεται ότι είναι μερικές οι μονάδες, για τις οποίες απορρίπτεται η υπόθεση μοναδιαίας ρίζας σε ατομικό επίπεδο. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει πως ένας αριθμός χωρών δείχνει αρκετή συνέπεια στην αποτελεσματικότερη χρήση των ανανεώσιμων πηγών για παραγωγή ενέργειας,

καθώς η αντίστοιχη χρονολογική σειρά ακολουθεί τάση (ανοδική όπως παρουσιάστηκε στα γραφήματα της Ενότητας 3) από την οποία σε γενικές γραμμές δεν αποκλίνει για πολύ.

**Πίνακας 4.9: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές**

Series: PREN					Series: PREN				
Sample: 1992 2019					Sample: 1992 2019				
Exogenous variables: Individual effects					Exogenous variables: Individual effects, individual linear trends				
Method		Statistic	Prob.**		Method		Statistic	Prob.**	
ADF - Fisher Chi-square		30.1794	0.9654		ADF - Fisher Chi-square		121.2400	0.0000	
ADF - Choi Z-stat		3.7160	0.9999		ADF - Choi Z-stat		-3.6451	0.0001	
** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.					** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.				
Intermediate ADF test results PREN					Intermediate ADF test results PREN				
Cross section					Cross section				
Prob.	Lag	Max Lag	Obs		Prob.	Lag	Max Lag	Obs	
1	0.7575	0	2	27	1	0.4655	0	2	27
2	0.9629	0	2	27	2	0.2843	0	2	27
3	0.0132	0	2	27	3	0.0092	2	2	25
4	0.9926	0	2	27	4	0.0791	0	2	27
5	0.7394	0	2	27	5	0.9890	0	2	27
6	0.5182	0	2	27	6	0.9098	0	2	27
7	0.8797	1	2	26	7	0.0735	0	2	27
8	0.1371	1	2	26	8	0.0260	2	2	25
9	0.4130	1	2	26	9	0.3812	1	2	26
10	0.8528	0	2	27	10	0.5063	0	2	27
11	1.0000	2	2	25	11	0.5714	0	2	27
12	0.9265	0	2	27	12	0.2986	0	2	27
13	0.8869	0	2	27	13	0.7779	0	2	27
14	0.9930	0	2	27	14	0.2501	0	2	27
15	0.8799	0	2	27	15	0.7635	0	2	27
16	0.1235	0	2	27	16	0.0000	0	2	27
17	0.9572	0	2	27	17	0.5155	0	2	27
18	0.5790	0	2	27	18	0.0350	0	2	27
19	0.6378	0	2	27	19	0.4690	0	2	27
20	0.9938	1	2	26	20	0.1776	1	2	26
21	0.1515	0	2	27	21	0.0008	0	2	27
22	0.5401	0	2	27	22	0.7997	0	2	27
23	0.7035	1	2	26	23	0.0114	0	2	27

Τα αποτελέσματα για την τελευταία μεταβλητή, αυτή που αντιστοιχεί στη μέση θερμοκρασία, παρατηρείται ότι, για την πρώτη εκδοχή του ελέγχου, με ατομικό σταθερό όρο, η στατιστική Z έχει την τιμή  $-1.38537$ . Το p-value είναι 0.083, μεγαλύτερο από 0.05, οπότε δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 5\%$ . Από τα ενδιάμεσα αποτελέσματα, φαίνεται πως μόνο για μία χώρα απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση της μοναδιαίας ρίζας σε επίπεδο μονάδας. Όταν στο υπόδειγμα περιλαμβάνεται και ατομική τάση, τα αποτελέσματα αλλάζουν δραστικά. Η στατιστική Z παίρνει την τιμή  $-9.7741$  και το p-value που της αντιστοιχεί είναι 0.0000. Συνεπώς, απορρίπτεται η  $H_0$ . Από τα ενδιάμεσα αποτελέσματα παρατηρείται πως η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται για μεγάλο αριθμό χωρών. Αυτό δείχνει πως πράγματι, για πολλές χώρες του δείγματος, η μέση θερμοκρασία έχει αυξητική τάση και ανεβαίνει με ρυθμό που φαίνεται να είναι σταθερός.

**Πίνακας 4.10: Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Fisher) για μέση θερμοκρασία**

Series: ATMP				Series: ATMP					
Sample: 1992 2019				Sample: 1992 2019					
Exogenous variables: Individual effects				Exogenous variables: Individual effects, individual linear trends					
Method	Statistic	Prob.**		Method	Statistic	Prob.**			
ADF - Fisher Chi-square	51.7406	0.2597		ADF - Fisher Chi-square	205.1530	0.0000			
ADF - Choi Z-stat	-1.3854	0.0830		ADF - Choi Z-stat	-9.7741	0.0000			
** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.				** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi-square distribution. All other tests assume asymptotic normality.					
Intermediate ADF test results ATMP					Intermediate ADF test results ATMP				
Cross					Cross				
section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs	section	Prob.	Lag	Max Lag	Obs
1	0.5153	2	2	25	1	0.0042	0	2	27
2	0.5062	2	2	25	2	0.0006	0	2	27
3	0.8330	2	2	25	3	0.4104	2	2	25
4	0.5166	2	2	25	4	0.0058	0	2	27
5	0.5179	2	2	25	5	0.0018	0	2	27
6	0.3692	2	2	25	6	0.0011	0	2	27
7	0.1780	2	2	25	7	0.0002	0	2	27
8	0.1431	1	2	26	8	0.0006	0	2	27
9	0.2533	2	2	25	9	0.0570	1	2	26
10	0.8099	2	2	25	10	0.6988	2	2	25
11	0.2064	2	2	25	11	0.4873	2	2	25
12	0.6559	2	2	25	12	0.0118	0	2	27
13	0.1205	0	2	27	13	0.0149	0	2	27
14	0.0417	1	2	26	14	0.1508	1	2	26
15	0.8204	2	2	25	15	0.0015	0	2	27
16	0.2579	1	2	26	16	0.0056	0	2	27
17	0.5622	2	2	25	17	0.0009	0	2	27
18	0.2097	1	2	26	18	0.0025	0	2	27
19	0.4591	2	2	25	19	0.3929	2	2	25
20	0.5385	2	2	25	20	0.0127	0	2	27
21	0.1049	0	2	27	21	0.0185	0	2	27
22	0.5421	2	2	25	22	0.0048	0	2	27
23	0.2176	2	2	25	23	0.3422	2	2	25

Παρατίθενται τα ίδια αποτελέσματα, πιο συνοπτικά, στον Πίνακα 4.11, μαζί με τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις πρώτες διαφορές των μεταβλητών. Για συνέπεια, σε πρώτες διαφορές ο έλεγχος γίνεται για ατομικό σταθερό όρο και χωρίς ατομικούς όρους. Σε πρώτες διαφορές, παρατηρείται ότι η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και για τις δύο εκδοχές του ελέγχου, αφού οι στατιστικές ελέγχου Z παίρνουν μεγάλες τιμές και τα p-value είναι ανεξαιρέτως 0.0000.

**Πίνακας 4.11: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ελέγχου ADF (Τύπου Fisher)**

Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller Τύπου Fisher									
	Ατομική Παράμετρος	Stat.	COIL	CGAS	GDP	PBRE	PGEU	PREN	ATMP
Επίπεδα	Σταθερός Όρος-Εκτροπή, Τάση	Choi Z-stat	-1.3385	-3.3196	3.4018	0.6161	2.7509	3.4247	-9.7741
		p-value	0.0904	0.0005	0.9997	0.7311	0.9970	0.9997	0.0000
	Σταθερός Όρος - Εκτροπή	Choi Z-stat	3.3582	-2.6529	1.1805	-0.4968	-2.0040	-1.8384	-1.8854
		p-value	0.9996	0.0040	0.1189	0.3097	0.0225	0.0904	0.0830
Πρώτες Διαφορές	Σταθερός Όρος - Εκτροπή	Choi Z-stat	-7.7017	-10.9009	-7.2217	-14.3196	-15.2399	-14.9107	-23.3428
		p-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	-	Choi Z-stat	-9.3879	-14.5305	-5.5595	-18.5007	-19.4220	-9.3898	-28.3759
		p-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

**Πίνακας 4.12: Αποτελέσματα ελέγχου Cross-Sectional IPS**

Έλεγχος Cross-Sectional Im Pesaran Shin (CIPS)									
	Ατομική Παράμετρος	Stat.	COIL	CGAS	GDP	PBRE	PGEU	PREN	ATMP
Επίπεδα	Σταθερός Όρος-Εκτροπή, Τάση	CIPS stat	-0.56121	-3.5498	-2.6625	-3.3471	-3.4249	-2.5645	-6.056
		p-value	>0.1	<0.01	0.0715	<0.01	<0.01	>0.1	<0.01
	Σταθερός Όρος - Εκτροπή	CIPS stat	-2.6123	1.6737	-2.2018	-2.872	-2.9392	-2.3046	-2.6404
		p-value	>0.1	>0.1	0.0480	<0.01	<0.01	0.0242	<0.01
Πρώτες Διαφορές	Σταθερός Όρος - Εκτροπή	CIPS stat	-3.3302	-4.9570	-2.8834	-3.8347	-3.8745	-4.0457	-6.0560
		p-value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	-	CIPS stat	-3.7839	-4.5515	-2.6404	-3.9634	-3.9448	-3.7806	-6.1841
		p-value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Στον Πίνακα 4.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου CIPS για κάθε μεταβλητή σε επίπεδα και σε πρώτες διαφορές. Παρατηρείται ότι, τα αποτελέσματα σε επίπεδα, διαφέρουν με τα αντίστοιχα του ελέγχου ADF τύπου Fisher. Η μεταβλητή CGAS τώρα δείχνει να περιέχει στάσιμες σειρές μόνο γύρω από τάση, ενώ στην περίπτωση του ελέγχου συνδυαστικών p-value, περιείχε στάσιμες σειρές και όταν το υπόδειγμα περιείχε μόνο ατομικό σταθερό όρο, χωρίς τάση. Η κατανάλωση πετρελαίου έχει παραπλήσια αποτελέσματα με αυτά του προηγούμενου ελέγχου, καθώς εμφανίζει μικρές στατιστικές ελέγχου CIPS και το p-value είναι μεγαλύτερο του 0.01 και για τις δύο εκδοχές του ελέγχου. Το ΑΕΠ φαίνεται να είναι στάσιμο για κάποιες χώρες με ξεχωριστούς σταθερούς όρους, όμως, όταν περιληφθεί ατομική τάση, το p-value είναι 0.0715 και άρα δεν απορρίπτεται η υπόθεση της μοναδιαίας ρίζας σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 5\%$ .

Για την τιμή του πετρελαίου, φαίνεται από τον έλεγχο πως περιλαμβάνονται χώρες που κρίνονται, σε όλα τα συμβατικά επίπεδα εμπιστοσύνης, στάσιμες γύρω από ατομικό σταθερό όρο και γύρω από ατομική τάση. Το ίδιο συμβαίνει και με την τιμή του φυσικού αερίου. Όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, αυτή δείχνει να περιέχει σειρές στάσιμες γύρω από τάση σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 5\%$ , αφού το p-value είναι 0.0242. Για τη μέση θερμοκρασία των χωρών, το p-value είναι μικρότερο του 0.01 και άρα υπάρχει ένδειξη ότι περιέχονται στάσιμες σειρές τόσο με παρουσία ατομικού σταθερού όρου, όσο και γύρω από τάση ξεχωριστή για κάθε χώρα. Σε πρώτες διαφορές πάντως, φαίνεται και είναι μεγαλύτερες (κατά απόλυτη τιμή) οι τιμές της στατιστικής ελέγχου CIPS, οι οποίες συνοδεύονται από p-value μικρότερα του 0.01<sup>2</sup> για κάθε μεταβλητή, ομοιάζοντας έτσι στα αποτελέσματα του ελέγχου τύπου Fisher για τις πρώτες διαφορές των μεταβλητών.

<sup>2</sup> Ο συγκεκριμένος έλεγχος εκτελέστηκε σε R. Η τιμή δίνεται εδώ όπως ακριβώς εμφανίζεται στα αποτελέσματα του πακέτου, καθώς για τιμές μικρότερες του 0.01 αυτό αναφέρει απλώς «<0.01». Το ίδιο συμβαίνει για p-value μεγαλύτερα του 0.1.

#### 4.5 Υποδείγματα, Εκτιμήσεις και Διαγνωστικοί Έλεγχοι

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σκοπός της έρευνας είναι η διερεύνηση των προσδιοριστικών παραγόντων της κατανάλωσης πηγών ενέργειας πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Στην Ενότητα αυτή εξηγείται η επιλογή των μεταβλητών που απαρτίζουν το υπόδειγμα, πραγματοποιείται η εκτίμηση των υποδειγμάτων αυτών, ερμηνεύονται τα αποτελέσματα και παρέχονται οι σχετικοί διαγνωστικοί έλεγχοι. Υπολογίζονται, για τους δύο αυτούς πόρους, ξεχωριστά υποδείγματα, με δύο διαφορετικούς εκτιμητές και συγκεκριμένα τον εκτιμητή σταθερών επιδράσεων (Within) και τον εκτιμητή πρώτων διαφορών (First-Differences).

Αρχικά, είναι απαραίτητο να αναφερθεί, πως σύμφωνα με την οικονομική θεωρία η κατανάλωση είναι συνάρτηση του εισοδήματος και της τιμής. Κατά συνέπεια, δεν θα μπορούσαν να λείπουν αυτές οι δύο από τις ανεξάρτητες μεταβλητές σε υπόδειγμα για την κατανάλωση και έτσι, η τιμή του κάθε πόρου περιλαμβάνεται στα μοντέλα της έρευνας. Επιπλέον, επισημάνθηκε στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, πως βασική λύση για την αναγκαστική μείωση της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων είναι η μεγαλύτερη και αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στο ίδιο Κεφάλαιο, τονίσθηκε ο ρόλος του πετρελαίου και του φυσικού αερίου στη θέρμανση. Για τους λόγους αυτούς, κρίνεται κατάλληλη η συμπερίληψη της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές καθώς και της μέσης θερμοκρασίας κάθε χώρας στις ερμηνευτικές μεταβλητές.

Λόγω της σχέσης των μεταβλητών με τις εξαρτημένες μεταβλητές των μοντέλων που κατασκευάζονται, κάποια αποτελέσματα πρέπει να θεωρούνται αναμενόμενα εκ των προτέρων. Από οικονομική θεωρία, η προσδοκία είναι η αύξηση του εισοδήματος να προκαλεί αύξηση της κατανάλωσης των πόρων, ενώ η αύξηση της τιμής τους να έχει αντίθετο αποτέλεσμα. Λόγω της σπουδαιότητας των ορυκτών αυτών καυσίμων, η ζήτησή τους αναμένεται να είναι ανελαστική, δηλαδή οι συντελεστές στα υποδείγματα να είναι κάτω της μονάδας κατά απόλυτη τιμή και ειδικά οι συντελεστές για την τιμή, αναμένονται ιδιαίτερα χαμηλοί. Αντίστοιχα, εφόσον σκοπός της αυξανόμενης χρήσης ανανεώσιμων πηγών είναι η μείωση χρήσης ορυκτών πόρων, ο συντελεστής που αντιστοιχεί στην πράσινη ενέργεια αναμένεται αρνητικός. Αρνητική επίδραση στην κατανάλωση θεωρητικά θα πρέπει να έχει και η μέση θερμοκρασία, αφού οι υπό διερεύνηση πόροι χρησιμοποιούνται για θέρμανση.

Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί πως προκύπτει περιορισμός στη χρήση των ανεξάρτητων μεταβλητών λόγω της πορείας που ακολουθούν οι χρονολογικές σειρές των τιμών. Ειδικότερα, παρατηρείται ότι οι τιμές του πετρελαίου Brent και του φυσικού αερίου στην Ευρώπη ακολουθούν κίνηση τόσο όμοια, που η συμπερίληψή τους στο ίδιο μοντέλο καταλήγει σε πρόβλημα συγγραμικότητας. Μέσα από τα Διαγράμματα 4.4 και 4.5, που εξετάστηκαν, φαίνεται ακριβώς αυτή η μεγάλη ομοιότητα των χρονολογικών σειρών. Κατά



συνέπεια, δεν δύναται να συμπεριληφθούν ταυτόχρονα σε ίδιο υπόδειγμα και άρα δεν εξετάζεται η υποκαταστασιμότητά τους μέσω σταυροειδούς ελαστικότητας.

Οι εκτιμητές Fixed Effects και First-Differences ουσιαστικά εκτελούν το ίδιο έργο. Όταν  $T \geq 3$  οι δύο διαδικασίες εκτίμησης διαφέρουν. Οι εκτιμήσεις των  $\beta$  συγκλίνουν κατά πιθανότητα στις πραγματικές τιμές όταν  $N$  τείνει στο άπειρο, ενώ έχουν ήδη αναφερθεί ιδιότητές τους στο Κεφάλαιο 3, για μεγαλύτερες διαστάσεις χρονολογικής χρόνου. Γενικά, όταν διαφέρουν οι εκτιμήσεις τους, παρουσιάζονται από κοινού. Σε ενδεχόμενο φαινομενικής παλινδρόμησης, ο FD εκτιμητής είναι προτιμότερος, αλλά, όπως εξηγήθηκε στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, το φαινόμενο αυτό αντιμετωπίζεται με διπλά ασυμπτωτικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, η προτίμηση σε έναν από τους δύο εκτιμητές βασίζεται στην απουσία εξάρτησης στα σφάλματα. Ο Wooldridge (2010) επισημαίνει πως, εάν το μοντέλο είναι ορθά εξειδικευμένο και οι εκτιμήσεις των συντελεστών με τις δύο τεχνικές εμφανίζουν διαφορές που δεν δύναται να αποδοθούν σε σφάλμα δειγματοληψίας (δηλαδή έχουν μεγάλη απόκλιση) τότε αίτιο είναι κατά πάσα πιθανότητα η έλλειψη αυστηρής εξωγένειας. Όμως, για μεγάλες τιμές του  $T$ , ο εκτιμητής FE επηρεάζεται λιγότερο από πιθανή απουσία αυστηρής εξωγένειας. Η σχέση των εκτιμητών υποδεικνύει και μια ιδιότητα του Fixed Effects, η οποία συχνά αγνοείται: ο εκτιμητής Fixed Effects, είναι βραχυχρόνιος εκτιμητής. Αφού οι εκτιμητές έχουν αυτή τη σχέση, ο ένας αποτελεί εμμέσως έλεγχο ορθότητας για τον άλλο. Έτσι, παρουσιάζονται και οι δύο εκτιμήσεις.

Κρίνεται επίσης ορθό να δικαιολογηθεί η προτίμηση των παραπάνω τεχνικών έναντι του Random Effects. Όπως επισημάνθηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο, η βασική διαφορά ανάμεσα στα μοντέλα σταθερών και τυχαίων επιδράσεων είναι το εάν επιτρέπεται οι ατομικές επιδράσεις να συσχετίζονται με τις ερμηνευτικές μεταβλητές. Όταν οι μονάδες αφορούν χώρες, η ατομική ετερογένεια περιλαμβάνει κυρίως χαρακτηριστικά γεωγραφίας. Στην προκειμένη περίπτωση, μία από τις ερμηνευτικές μεταβλητές είναι η μέση θερμοκρασία, που εξ ορισμού σχετίζεται με το κλίμα. Επιπρόσθετα, προτιμάται ο FE έναντι του RE, λόγω ευκολίας υπολογισμού, εφόσον  $T > N$ . Ένας ακόμη παράγοντας που επηρέασε την απόφαση αυτή, είναι η τυχαιότητα του δείγματος. Στόχος ήταν η εκμετάλλευση της μεγάλης διάστασης του χρόνου, ούτως ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ιδιότητες που βασίζονται σε μεγάλη χρονική διάσταση, αλλά και να είναι εφικτή η χρήση εκτιμητή Driscoll-Kraay. Το δείγμα δηλαδή, δεν είναι τυχαία επιλογή από της χώρες της ΕΕ, ΕFTA και ΕΝΠ. Εξάλλου, όσο μεγαλώνει το  $T$  συγκριτικά με το  $N$ , οι εκτιμήσεις FE και RE τείνουν στα ίδια νούμερα.

### **Κατανάλωση Πετρελαίου**

Για την κατανάλωση πετρελαίου, εκτιμάται υπόδειγμα με ερμηνευτικές μεταβλητές το πραγματικό ΑΕΠ (GDP), την τιμή του πετρελαίου τύπου Brent (PBRE), την παραγωγή

ανανεώσιμης ενέργειας (PREN) και τη μέση θερμοκρασία (ATMP). Εκτιμάται αρχικά το υπόδειγμα σταθερών επιδράσεων:

$$COIL_{it} = c + c_i + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 PBRE_{it} + \beta_3 PREN_{it} + \beta_4 ATMP_{it} + u_{it}$$

Η εκτίμηση των συντελεστών κλίσης του υποδείγματος δίνεται στον Πίνακα 4.13:

**Πίνακας 4.13 : Αποτελέσματα εκτίμησης υποδείγματος κατανάλωσης πετρελαίου με Fixed Effects**

Εκτίμηση Fixed Effects					
Dep. Variable:	Coefficient	Std. Error	t-statistic	p-value	Sig.
COIL					
GDP	0.5991	0.0612	9.7888	0.0000	***
PBRE	-0.0653	0.0220	-2.9620	0.0032	***
CREN	-0.1847	0.0260	-7.0508	0.0000	***
ATMP	-0.2150	0.0925	-2.3245	0.0204	***
F-statistic	36.0607			R-squared	0.3674
p-value (F-stat)	0.0000			Adj. R-squared	0.3408

Οι εκτιμήσεις του υποδείγματος δείχνουν λογικές. Η ελαστικότητα της κατανάλωσης του πετρελαίου ως προς το εισόδημα εκτιμάται ότι είναι 0.5991, δηλαδή 59.91%, πράγμα που σημαίνει ότι η κατανάλωση του πετρελαίου είναι ανελαστική ως προς το εισόδημα. Με άλλα λόγια, εκτιμάται ότι μία αύξηση του ΑΕΠ οδηγεί σε θετική, αλλά μικρότερη μεταβολή της κατανάλωσης. Ο συντελεστής της τιμής στο εκτιμημένο υπόδειγμα είναι  $-0.0653$ . Αν και ήταν αναμενόμενη μία χαμηλή αρνητική ελαστικότητα ως προς την τιμή, η ελαστικότητα αυτή τελικά εκτιμάται αρκετά χαμηλή, με τον συντελεστή όχι μόνο μικρότερο της μονάδας, αλλά και πολύ κοντά στο μηδέν. Η ζήτηση, λοιπόν, του πετρελαίου ως προς την τιμή είναι ανελαστική, σύμφωνα με την εκτίμηση αυτή. Ο συντελεστής της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας είναι, επίσης όπως θα περίμενε κανείς, αρνητικός και χαμηλότερος της μονάδας, με τιμή  $-0.1847$  και άρα η αύξηση της παραγωγής πράσινης ενέργειας μειώνει την κατανάλωση πετρελαίου. Τέλος ο συντελεστής κλίσης για τη μέση θερμοκρασία είναι επίσης χαμηλός και αρνητικός, με τιμή  $-0.2150$ . Η ερμηνεία είναι ότι στα πιο κρύα έτη, καταναλώνεται περισσότερο πετρέλαιο. Πιθανότητα δηλαδή, αφορά κυρίως τον ρόλο του πετρελαίου στη θέρμανση. Στον Πίνακα, οι αστερίσκοι \*, \*\*, \*\*\* συμβολίζουν σημαντικότητα σε επίπεδα σημαντικότητας 10%, 5% και 1% αντιστοίχως.

Όσον αφορά τη σημαντικότητα των μεταβλητών και του μοντέλου εξ ολοκλήρου, όλες οι μεταβλητές κρίνονται στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, έχοντας μεγάλα

t-statistic κατά απόλυτη τιμή. Οι μεταβλητές GDP, PBRE και PREN είναι σημαντικές σε όλα τα συμβατικά επίπεδα σημαντικότητας, ενώ για τη μεταβλητή ATMP απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση ότι ο συντελεστής της είναι μηδέν, σε επίπεδο σημαντικότητας 10%, 5%, αλλά όχι 1%, αφού το p-value είναι 0.0204. Σημειώνεται ξανά, πως τα αποτελέσματα επηρεάζονται από το γεγονός ότι έχει χρησιμοποιηθεί ανθεκτικός πίνακας διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων Driscoll-Kraay, για τον οποίο η μέγιστη χρονική υστέρηση υπολογίζεται ως  $\left[4 \left(\frac{T}{100}\right)^{2/9}\right] = 3$ . Η τιμή του στατιστικού F είναι 36.0607 και το αντίστοιχο p-value είναι 0.0000. Άρα το υπόδειγμα είναι στατιστικά σημαντικό σε όλα τα συμβατικά επίπεδα σημαντικότητας.

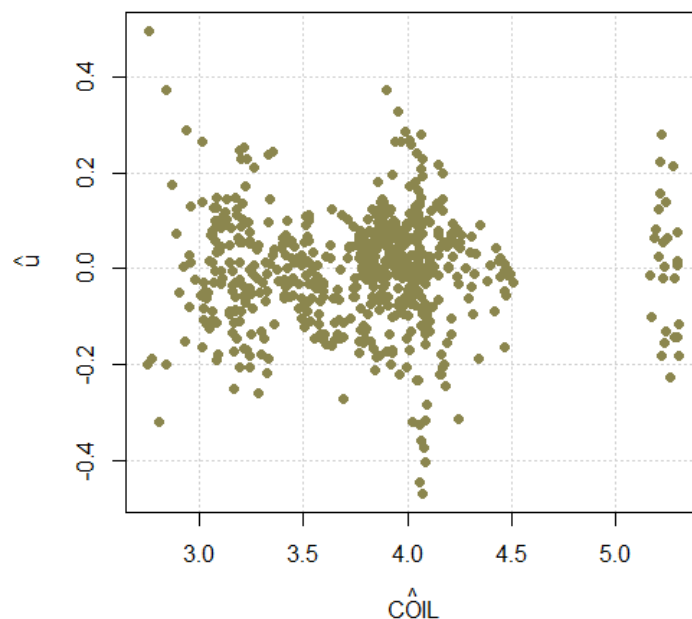
**Πίνακας 4.14: Αποτελέσματα διαγνωστικών ελέγχων για την εκτίμηση υποδείγματος κατανάλωσης πετρελαίου με Fixed Effects**

Διαγνωστικοί Έλεγχοι Fixed Effects			
Έλεγχος Ετεροσκεδαστικότητας White		Έλεγχος Αυτοσυσχέτισης Breusch-Godfrey/Wooldridge	
LM statistic	190.5773	LM statistic	401.1200
df	14		
p-value	0.0000	p-value	0.0000
Έλεγχος Αλληλεξάρτησης Οντοτήτων Pesaran CD		Έλεγχος F για Σημαντικότητα Σταθερών Επιδράσεων	
CD statistic	12.2643	F statistic	1419.3000
		df1	22
		df2	617
p-value	0.0000	p-value	0.0000

Παρατίθενται στον Πίνακα 4.14 τα αποτελέσματα των διαγνωστικών ελέγχων για το εκτιμημένο με σταθερές επιδράσεις μοντέλο. Ο έλεγχος του White για ετεροσκεδαστικότητα, δίνει στατιστική ελέγχου Lagrange Multiplier με τιμή 190.5773 και p-value = 0.0000. Απορρίπτεται έτσι η μηδενική υπόθεση της ομοσκεδαστικότητας. Το αποτέλεσμα του ελέγχου Breusch-Godfrey για χρονική συσχέτιση των καταλοίπων δείχνουν ότι απορρίπτεται η  $H_0$  των ασυσχέτιστων σφαλμάτων, αφού η τιμή της στατιστικής ελέγχου είναι 401.12, με αντίστοιχο p-value = 0.0000 και άρα υπάρχει σειριακή συσχέτιση στα σφάλματα. Στον έλεγχο CD του Pesaran για συσχέτιση των μονάδων αναφορικά με τα σφάλματα, το CD statistic έχει τιμή 12.264 και το αντίστοιχο p-value είναι επίσης ίσο με 0.0000. Απορρίπτεται και εδώ η μηδενική υπόθεση μη ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ των μονάδων. Τέλος, εξετάζεται η σημαντικότητα των σταθερών επιδράσεων του μοντέλου με F-test, το οποίο δίνει εξαιρετικά μεγάλη τιμή στατιστικού 1419.3, με την οποία απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση της στατιστικής μη σημαντικότητας των σταθερών επιδράσεων. Με άλλα λόγια, οι σταθερές επιδράσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

Το Διάγραμμα 4.8 έχει δημιουργηθεί με σκοπό τη γραφική διερεύνηση για ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας. Δίνονται σε αυτό τα σφάλματα του υποδείγματος στον κάθετο άξονα

με τις εκτιμημένες τιμές στον οριζόντιο. Η διασπορά των σφαλμάτων γενικά δεν δείχνει να είναι σταθερή, αν και η μορφή της ετεροσκεδαστικότητας δεν είναι ξεκάθαρη. Φαίνεται, πάντως, η διασπορά να είναι μεγαλύτερη για τις μικρότερες τιμές (κοντά στο 3), τις τιμές κοντά στο 4 και τις ακραίες τιμές μεγαλύτερες του 5. Ομοιάζει δηλαδή το σχήμα με την κλασική περίπτωση ετεροσκεδαστικότητας σε σχήμα κλειψύδρας, αλλά επιπλέον εμφανίζεται μεγαλύτερη διασπορά και στις πιο κεντρικές παρατηρήσεις του διαγράμματος. Η γραφική διερεύνηση φαίνεται να επαληθεύει το αποτέλεσμα του ελέγχου με το κριτήριο White, για το οποίο η στατιστική ελέγχου πολλαπλασιαστή Lagrange έχει πολύ μεγάλη τιμή και η μηδενική υπόθεση της ομοσκεδαστικότητας των διαταρακτικών όρων απορρίπτεται σε κάθε συμβατικό επίπεδο σημαντικότητας.



**Διάγραμμα 4.8: Σφάλματα Fixed Effects για κατανάλωση πετρελαίου και εκτιμώμενες τιμές**

Εκτιμάται το αντίστοιχο μοντέλο με τον εκτιμητή πρώτων διαφορών (FD). Λαμβάνονται δηλαδή, οι πρώτες διαφορές των μεταβλητών, ενώ ταυτόχρονα εξαλείφονται οι σταθερές επιδράσεις και ο σταθερός όρος από το υπόδειγμα. Το προς εκτίμηση υπόδειγμα έχει τελικά τη μορφή:

$$\Delta COIL_{it} = \beta_1 \Delta GDP_{it} + \beta_2 \Delta PBRE_{it} + \beta_3 \Delta PREN_{it} + \beta_4 \Delta ATMP_{it} + e_{it}$$

και εκτιμάται με τη μέθοδο των ομαδοποιημένων ελαχίστων τετραγώνων. Τα αποτελέσματα της εκτίμησης για το υπόδειγμα με την τεχνική αυτή παρατίθενται αναλυτικά στον Πίνακα 4.15 παρακάτω.

**Πίνακας 4.15: Αποτελέσματα εκτίμησης υποδείγματος κατανάλωσης πετρελαίου με πρώτες διαφορές**

Εκτίμηση First-Differences					
Dep. Variable:	Coefficient	Std. Error	t-statistic	p-value	Sig.
COIL					
GDP	0.6075	0.0670	9.0715	0.0000	***
PBRE	0.0064	0.0129	0.4928	0.6223	
PREN	-0.1414	0.0518	-2.7324	0.0065	***
ATMP	-0.0608	0.0078	-7.7617	0.0000	***
F-statistic	34.6598			R-squared	0.2452
p-value (F-stat)	0.0000			Adj. R	0.2415

Η ελαστικότητα της ζήτησης ως προς το εισόδημα εκτιμάται πως είναι 0.6075, ή αλλιώς 60.75%, εκτίμηση πολύ κοντά στην προηγούμενη. Ο συντελεστής αυτός δηλώνει ανελαστική ως προς το εισόδημα ζήτηση του πετρελαίου. Η εκτίμηση της ελαστικότητας ως προς την τιμή προκαλεί εντύπωση, καθώς έχει θετικό πρόσημο και συγκεκριμένα έχει την τιμή 0.0064. Φυσικά, η τιμή αυτή είναι πολύ μικρή, ενώ έχει μικρό t-statistic και αντιστοίχως πολύ μεγάλο p-value, οπότε δεν κρίνεται στατιστικά σημαντική σε κανένα από τα συνήθως χρησιμοποιούμενα επίπεδα εμπιστοσύνης. Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έχει συντελεστή  $-0.1414$ , επίσης παραπλήσια με την εκτίμηση του υποδείγματος Fixed Effects και δείχνει ότι η αύξηση της πράσινης ενέργειας οδηγεί σε μικρότερη ποσοστιαία μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου, αποτέλεσμα το οποίο δεν θα πρέπει να προκαλεί εντύπωση. Ο συντελεστής της μέσης θερμοκρασίας είναι  $-0.0608$  και δείχνει ότι σε χρονιές που δείχνουν πτώση της θερμοκρασίας, αυξάνεται ελαφρώς η χρήση του πετρελαίου. Η επίδραση όμως, θεωρείται μικρότερη από ότι στο προηγούμενο μοντέλο και μάλιστα ο συγκεκριμένος συντελεστής έχει τη μεγαλύτερη απόκλιση, συγκρίνοντας τους εκτιμημένους συντελεστές των δύο τεχνικών, η οποία όμως και πάλι δεν είναι μεγάλη.

Σχετικά με τη σημαντικότητα των μεταβλητών, σε αντίθεση με τον εντός εκτιμητή που χρησιμοποιήθηκε πιο πάνω, δεν κρίνονται και οι τέσσερις μεταβλητές στατιστικά σημαντικές. Το ΑΕΠ, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και η μέση θερμοκρασία έχουν αρκετά μεγάλα t-statistic κατά απόλυτη τιμή και εξαιρετικά μικρά p-value, οπότε κρίνονται στατιστικά σημαντικές σε κάθε συμβατικό επίπεδο σημαντικότητας. Όπως προαναφέρθηκε, δεν ισχύει το ίδιο για τη μεταβλητή PBRE, την τιμή δηλαδή του πετρελαίου, η οποία έχει p-value ίσο με 0.6223 και άρα δεν θεωρείται στατιστικά σημαντική. Το υπόδειγμα συνολικά κρίνεται πως

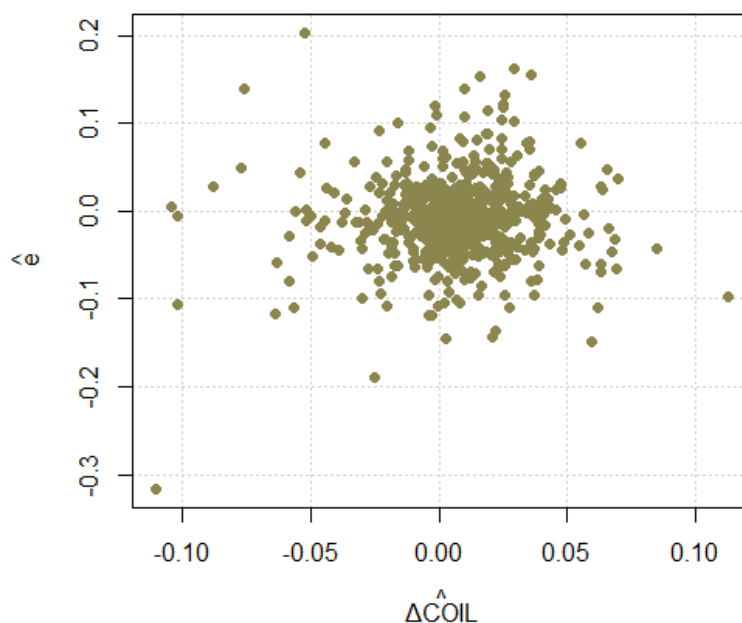
είναι στατιστικά σημαντικό, αφού  $F - statistic = 34.6598$  με αντίστοιχο p-value ίσο με 0.0000.

**Πίνακας 4.16: Διαγνωστικοί έλεγχοι υποδείγματος πρώτων διαφορών για την κατανάλωση πετρελαίου**

Διαγνωστικοί Έλεγχοι First-Differences			
Έλεγχος Ετεροσκεδαστικότητας White		Έλεγχος Αυτοσυσχέτισης Breusch-Godfrey/Wooldridge	
LM statistic	275.0260	LM statistic	59.3480
df	14		
p-value	<b>0.0000</b>	p-value	<b>0.0005</b>
Έλεγχος Αλληλεξάρτησης Οντοτήτων Pesaran CD			
CD statistic			6.4326
p-value			<b>0.0000</b>

Στον Πίνακα 4.16 συνοψίζονται τα αποτελέσματα των διαγνωστικών ελέγχων για το εκτιμημένο μοντέλο με πρώτες διαφορές. Παρατηρείται, πως και εδώ απορρίπτονται οι μηδενικές υποθέσεις όλων των διαγνωστικών ελέγχων σε όλα τα συμβατικά επίπεδα σημαντικότητας. Αναλυτικότερα, πρώτα διεξάγεται έλεγχος ετεροσκεδαστικότητας White, η μηδενική υπόθεση του οποίου απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=5\%$  (αλλά και στα υπόλοιπα συμβατικά επίπεδα σημαντικότητας), αφού το p-value του ελέγχου είναι ίσο με 0. Ελέγχονται επίσης τα σφάλματα για χρονική συσχέτιση με τον έλεγχο Breusch-Godfrey. Η στατιστική ελέγχου έχει την μεγάλη τιμή 59.348 και η μηδενική υπόθεση των χρονικά ασυσχέτιστων σφαλμάτων απορρίπτεται αφού  $p\text{-value} = 0.005$ . Τέλος, γίνεται έλεγχος για αλληλεξάρτηση των σφαλμάτων ανάμεσα στις μονάδες. Η στατιστική ελέγχου έχει την τιμή 6.4326 και το αντίστοιχο p-value είναι μηδέν σε τέσσερα δεκαδικά ψηφία. Έτσι, απορρίπτεται και η υπόθεση ότι τα σφάλματα είναι ασυσχέτιστα μεταξύ των μονάδων. Λόγω των αρνητικών αποτελεσμάτων των διαγνωστικών ελέγχων, θα πρέπει να εκτιμηθεί ανθεκτικός πίνακας διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων και για αυτό το μοντέλο.

Το Διάγραμμα 4.9 χρησιμοποιείται, όπως το αντίστοιχο για το υπόδειγμα Fixed Effects, για εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με τη σταθερότητα της διασποράς των σφαλμάτων. Η διασπορά και εδώ δεν φαίνεται να είναι σταθερή. Δεν είναι όμως προφανές κάποιο μοτίβο για ετεροσκεδαστικότητα. Πάντως, τα σφάλματα στην αριστερή μεριά του γραφήματος, δηλαδή αυτά που αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες αρνητικές εκτιμώμενες τιμές, παρατηρείται πως έχουν ιδιαίτερα μεγάλη διακύμανση. Η εικόνα που δίνεται από το Διάγραμμα, φαίνεται έτσι να είναι σύμφωνη με το αποτέλεσμα του ελέγχου που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.16.



**Διάγραμμα 4.9: Σφάλματα υποδείγματος πρώτων διαφορών για κατανάλωση πετρελαίου και εκτιμώμενες τιμές**

Εφόσον έχουν παρουσιαστεί τα αποτελέσματα των δύο εκτιμητών, πρέπει να συζητηθεί η μεταξύ τους σχέση. Αρχικά η εκτίμηση του συντελεστή του πραγματικού ΑΕΠ (GDP) σχεδόν ταυτίζεται, με τις εκτιμήσεις να είναι 0.5991 και 0.6075 στα υποδείγματα τυχαίων επιδράσεων και πρώτων διαφορών αντιστοίχως. Οι εκτιμήσεις των συντελεστών για την τιμή του πετρελαίου (PBRE) και την παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές (PREN) είναι επίσης κοντά. Η διαφορά που αξίζει να αναφερθεί είναι στον συντελεστή κλίσης της μέσης θερμοκρασίας (ATMP), η οποία όμως και πάλι δεν κρίνεται πολύ μεγάλη. Σύμφωνα με τα όσα αναφέρει ο Wooldridge, δεν φαίνεται να υπάρχει λόγος ανησυχίας για ύπαρξη ενδογένειας στο μοντέλο. Η διαφορά στη σημαντικότητα των μεταβλητών στο υπόδειγμα, έγκειται στη μη σημαντικότητα της τιμής στο υπόδειγμα First Differences. Επιπρόσθετα στο Διάγραμμα 4.9, παρουσιάζονται στον κάθετο άξονα τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης και στον οριζόντιο οι εκτιμώμενες τιμές, ούτως ώστε να διερευνηθεί το υπόδειγμα για ετεροσκεδαστικότητα γραφικά.

### **Κατανάλωση Φυσικού Αερίου**

Ομοίως με την περίπτωση του πετρελαίου, για την κατανάλωση φυσικού αερίου εκτιμάται υπόδειγμα με ερμηνευτικές μεταβλητές το πραγματικό ΑΕΠ (GDP), την τιμή του ευρωπαϊκού φυσικού αερίου (PGEU), την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας (PREN) και τη μέση θερμοκρασία (ATMP). Εκτιμάται σε πρώτη φάση το υπόδειγμα σταθερών επιδράσεων:

$$CGAS_{it} = c + c_i + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 PGEU_{it} + \beta_3 PREN_{it} + \beta_4 ATMP_{it} + u_{it}$$

και εξετάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης.

**Πίνακας 4.17: Αποτελέσματα εκτίμησης υποδείγματος κατανάλωσης φυσικού αερίου με Fixed Effects**

Εκτίμηση Fixed Effects					
Dep. Variable:	Coefficient	Std. Error	t-statistic	p-value	Sig.
<b>CGAS</b>					
GDP	0.5371	0.1108	4.8485	0.0000	***
PGEU	0.0784	0.0282	2.7822	0.0056	***
CREN	-0.1401	0.0436	-3.2123	0.0014	***
ATMP	-0.2412	0.0928	-2.5986	0.0096	**
F-statistic	7.2616			R-squared	0.0525
p-value (F-stat)	0.0004			Adj. R-squared	0.0126

Στον Πίνακα 4.17 Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τη εκτίμησης του υποδείγματος τυχαίων επιδράσεων. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής του ΑΕΠ είναι 0.5371, δηλαδή εκτιμάται, ότι για αύξηση του εισοδήματος κατά 100% η κατανάλωση αυξάνεται κατά 53.71%. Αντίστοιχα ο συντελεστής της τιμής του αερίου (PGEU), μπορεί να προκαλέσει έκπληξη, όντας ίσος με 0.0784, δηλαδή θετικός. Η εξήγηση που μπορεί να δοθεί, είναι ότι, επειδή οι τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου ακολουθούν όμοια κίνηση, η άνοδος της τιμής του πετρελαίου, η οποία συνεπάγεται άνοδο της αντίστοιχης του αερίου, οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης φυσικού αερίου. Έτσι, το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται να υποδηλώνει σε έναν βαθμό σχέση υποκατάστασης ανάμεσα στους δύο πόρους. Ο συντελεστής της μεταβλητής PREN είναι αρνητικός, έχοντας την τιμή  $-0.1401$ , δηλώνοντας πως η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έχει αρνητικό αντίκτυπο και στην κατανάλωση φυσικού αερίου, παρά το γεγονός ότι το τελευταίο θεωρείται ένα πολύ πιο καθαρό καύσιμο από το πετρέλαιο. Η μεταβλητή ATMP που αντιστοιχεί στη μέση θερμοκρασία έχει και εκείνη αρνητικό συντελεστή, κάτι αναμενόμενο, αφού μία από τις κύριες χρήσεις του φυσικού αερίου είναι για θέρμανση.

Το υπόδειγμα είναι στατιστικά σημαντικό, έχοντας τη μεγάλη τιμή στατιστικού F 36.4282, και p-value 0.0000. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι όλες σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 5\%$ , διότι τα αντίστοιχα  $p - value$  είναι όλα κάτω του 0.05. Πιο συγκεκριμένα όμως, το p-value της μεταβλητής GDP είναι 0.0000 και έτσι αυτή κρίνεται σημαντική για κάθε συμβατικό επίπεδο σημαντικότητας. Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει με τη μεταβλητή PREN. Για τη μεταβλητή PGEU, το p-value είναι 0.007 και έτσι είναι και αυτή σημαντική για όλα τα συνηθισμένα επίπεδα εμπιστοσύνης. Η μεταβλητή ATMP έχει p-value



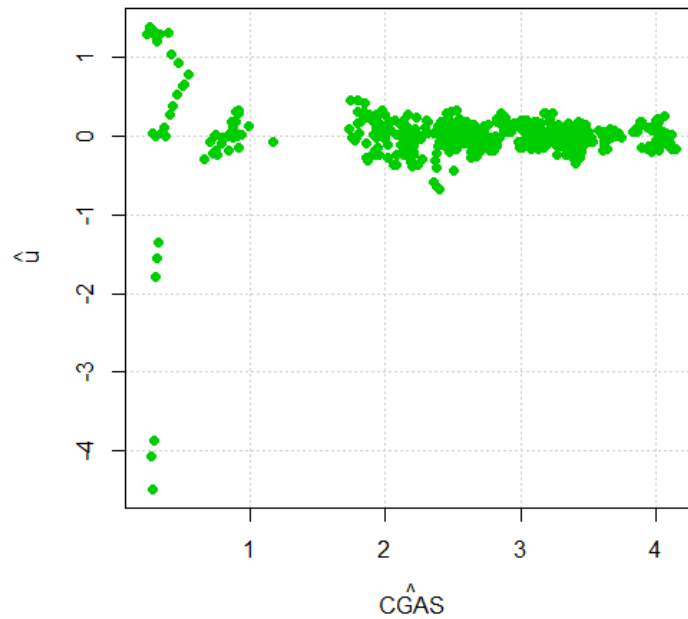
ίσο με 0.0109 και έτσι, κρίνεται επίσης σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 5\%$ , σημειώνεται όμως, πως δεν είναι σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης  $\alpha = 5\%$ .

**Πίνακας 4.18: Αποτελέσματα διαγνωστικών ελέγχων εκτίμησης υποδείγματος κατανάλωσης φυσικού αερίου με Fixed Effects**

Διαγνωστικοί Έλεγχοι Fixed Effects			
Έλεγχος Ετεροσκεδαστικότητας White		Έλεγχος Αυτοσυσχέτισης Breusch-Godfrey/Wooldridge	
LM statistic	47.5424	LM statistic	518.6100
df	14		
p-value	<b>0.0000</b>	p-value	<b>0.0000</b>
Έλεγχος Αλληλεξάρτησης Οντοτήτων Pesaran CD		Έλεγχος F για Σημαντικότητα Σταθερών Επιδράσεων	
CD statistic	15.5370	F statistic	110.5000
		df1	22
		df2	617
p-value	<b>0.0000</b>	p-value	<b>0.0000</b>

Τα αποτελέσματα των διαγνωστικών ελέγχων του μοντέλου Fixed Effects για την κατανάλωση φυσικού αερίου συνοψίζονται στον Πίνακα 4.18. Η στατιστική ελέγχου White έχει τιμή 47.5424 και p-value 0.0000 και άρα απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση των ομοσκεδαστικών σφαλμάτων. Στον έλεγχο Breusch-Godfrey/Wooldridge, η στατιστική ελέγχου είναι ίση με 401.12 και το αντίστοιχο p-value είναι ίσο με 0. Έτσι, απορρίπτεται η  $H_0$  των χρονικά ανεξάρτητων σφαλμάτων. Άρα, εκτός από ετεροσκεδαστικότητα, τα σφάλματα εμφανίζουν και αυτοσυσχέτιση. Επιπλέον, ο έλεγχος Pesaran's CD έχει τιμή στατιστικής ελέγχου 12.2643 με p-value επίσης ίσο με μηδέν σε τέσσερα δεκαδικά ψηφία, που αποτελεί απόδειξη για ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ των σφαλμάτων των μονάδων. Όπως και στο αντίστοιχο υπόδειγμα για το πετρέλαιο, έτσι και για αυτό γίνεται έλεγχος σημαντικότητας των σταθερών επιδράσεων. Η μηδενική υπόθεση των μη σημαντικών ατομικών επιδράσεων απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 5\%$ , λόγω της μεγάλης τιμής του στατιστικού F 1419.3 με p-value ίσο με μηδέν.

Όπως και για τα προηγούμενα υποδείγματα, έτσι και εδώ, παρέχεται γραφική απεικόνιση των σφαλμάτων με τις αντίστοιχες εκτιμώμενες τιμές. Το Διάγραμμα 4.10 παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Τα σφάλματα δεν φαίνεται να εμφανίζουν μεγάλες διαφορές στη διακύμανση, όσον αφορά εκτιμήσεις μεγαλύτερες από 0.5. Όμως, τα πράγματα είναι πολύ διαφορετικά για τις μικρότερες εκτιμήσεις. Στο αριστερό μέρος του γραφήματος, παρατηρείται άμεσα πως τα κατάλοιπα έχουν διασπορά αρκετά μεγαλύτερη από ότι εμφανίζουν για το υπόλοιπο εύρος τιμών. Αυτό έχει να κάνει με ακραίες τιμές. Για κάποιους λόγους, η κατανάλωση του φυσικού αερίου δέχτηκε μεγάλη διατάραξη, η οποία δεν δείχνει να ερμηνεύεται ικανοποιητικά από τις μεταβλητές του υποδείγματος.



**Διάγραμμα 4.10: Σφάλματα υποδείγματος Fixed Effects για κατανάλωση φυσικού αερίου και εκτιμώμενες τιμές**

Μετά το υπόδειγμα σταθερών επιδράσεων, χρησιμοποιείται επιπλέον, όπως και στην περίπτωση του πετρελαίου, ο εκτιμητής First-Differences. Για την εκτίμηση με πρώτες διαφορές, μετασχηματίζεται και εκτιμάται το παραπάνω υπόδειγμα στη μορφή:

$$\Delta CGAS_{it} = \beta_1 \Delta GDP_{it} + \beta_2 \Delta PGEU_{it} + \beta_3 \Delta PREN_{it} + \beta_4 \Delta ATMP_{it} + e_{it}$$

και εκτιμάται με ομαδοποιημένα ελάχιστα τετράγωνα.

**Πίνακας 4.19: Αποτελέσματα εκτίμησης υποδείγματος κατανάλωσης φυσικού αερίου με πρώτες διαφορές**

Εκτίμηση First-Differences					
Dep. Variable:	Coefficient	Std. Error	t-statistic	p-value	Sig.
<b>CGAS</b>					
GDP	0.6929	0.2164	3.2025	0.0014	***
PGEU	0.0556	0.0398	1.3975	0.1628	
PREN	-0.0554	0.0536	-1.0341	0.3015	
ATMP	-0.2087	0.0309	-6.7607	0.0000	***
F-statistic	19.5275			R-squared	0.0516
p-value (F-stat)	0.0000			Adj. R-squared	0.0470

Στον Πίνακα 4.19 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης με την τεχνική των πρώτων διαφορών. Παρατηρείται ότι ζήτηση για αέριο εκτιμάται και πάλι ανελαστική ως προς

το εισόδημα, αφού ο συντελεστής, που αντιστοιχεί στην ελαστικότητα είναι μικρότερος της μονάδας, αυτή τη φορά ίσος με 0.6929. Η ελαστικότητα ως προς την τιμή εκτιμάται, όπως και πριν, θετική, με τιμή 0.0556. Η μεταβλητή PREN έχει συντελεστή κλίσης  $-0.0554$ , ενώ ο συντελεστής της μεταβλητής ATMP εκτιμάται  $-0.2087$ . Οι τιμές των πρώτων και των δύο τελευταίων συντελεστών είναι σύμφωνες με την κοινή λογική και τη θεωρία, ενώ η εξήγηση για τη θετική τιμή του συντελεστή της μεταβλητής PGEU έχει δοθεί στο προηγούμενο υπόδειγμα.

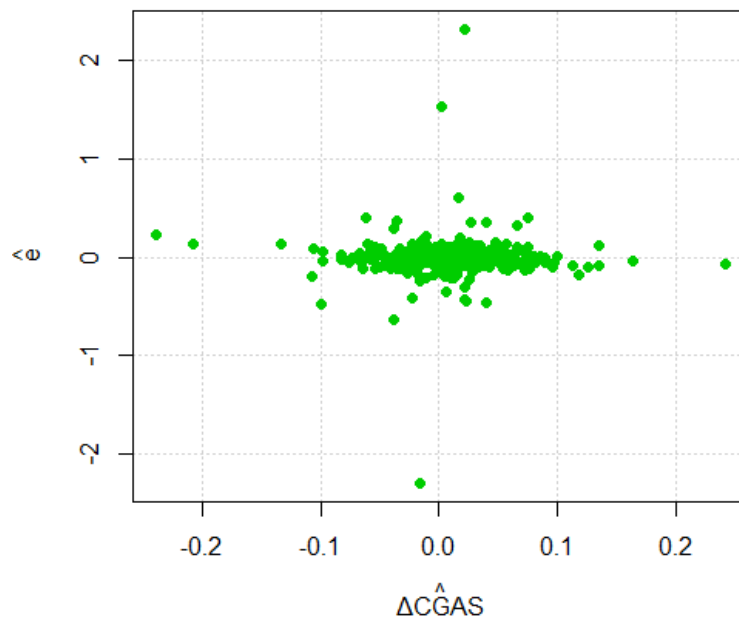
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σημαντικότητα των μεταβλητών σύμφωνα με την εκτίμηση First-Differences. Το ΑΕΠ είναι σημαντικό σε επίπεδο εμπιστοσύνης  $\alpha = 5\%$ , έχοντας p-value ίσο με 0.0014. Αντίθετα, οι δύο επόμενες μεταβλητές, PGEU και PREN, έχουν αρκετά μεγάλα p-value ίσα με 0.1628 και 0.3015 αντίστοιχα. Έτσι, δεν κρίνονται στατιστικά σημαντικές. Με άλλα λόγια, δεν θεωρείται πως η τιμή του φυσικού αερίου και η παραγωγή πράσινης ενέργειας συμβάλλουν σημαντικά στην ερμηνεία της μεταβλητότητας της κατανάλωσης φυσικού αερίου. Η μέση θερμοκρασία έχει εξαιρετικό υψηλό (σε απόλυτη τιμή) t-statistic και με p-value ίσο με 0.0000, είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 5\%$ . Η στατιστική F για τον έλεγχο της σημαντικότητας του μοντέλου έχει την τιμή 19.5275 και το p-value αυτής είναι 0.0000. Άρα το υπόδειγμα είναι στατιστικά σημαντικό στο ίδιο επίπεδο σημαντικότητας (και κάθε συμβατικό επίπεδο).

**Πίνακας 4.20: Αποτελέσματα διαγνωστικών ελέγχων για εκτίμηση υποδείγματος κατανάλωσης φυσικού αερίου με πρώτες διαφορές**

Διαγνωστικοί Έλεγχοι First-Differences			
Έλεγχος Ετεροσκεδαστικότητας White		Έλεγχος Αυτοσυσχέτισης Breusch-Godfrey/Wooldridge	
LM statistic	2.5698	LM statistic	145.0800
df	14		
p-value	<b>0.9996</b>	p-value	<b>0.0000</b>
Έλεγχος Αλληλεξάρτησης Οντοτήτων Pesaran CD			
CD statistic			18.0017
p-value			<b>0.0000</b>

Δίνονται επίσης οι διαγνωστικοί έλεγχοι για το υπόδειγμα στον Πίνακα 4.20. Η τιμή της στατιστικής ελέγχου LM του White είναι 2.5698 και το αντίστοιχο p-value είναι 0.9996. Άρα δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση του ελέγχου για ομοσκεδαστικότητα των σφαλμάτων. Η αντίστοιχη τιμή της στατιστικής του ελέγχου χρονικής εξάρτησης των σφαλμάτων Breusch-Godfrey είναι 59.348 με p-value ίσο με 0.0005. Συνεπώς απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση της ανεξαρτησίας των καταλοίπων. Τέλος, ο έλεγχος CD του Pesaran έχει στατιστική ελέγχου ίση με 6.4326 και το p-value για τον έλεγχο είναι 0.0000, οπότε συμπεραίνεται πως στα σφάλματα υπάρχει και εξάρτηση μεταξύ των μονάδων.

Στο Διάγραμμα 4.11, απεικονίζονται τα σφάλματα που προέκυψαν από την εκτίμηση του υποδείγματος με την τεχνική των πρώτων διαφορών, με τις αντίστοιχες εκτιμώμενες τιμές. Είναι και πάλι παρατηρήσιμες κάποιες τιμές, για τις οποίες τα σφάλματα είναι ιδιαίτερα μεγάλα, κυρίως στο κέντρο του διαγράμματος. Δηλαδή, δεδομένων ορισμένων τιμών των εξαρτημένων μεταβλητών, εκτιμήθηκε πως η μεταβολή της κατανάλωσης θα ήταν κοντά στο μηδέν, αλλά στην πραγματικότητα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη. Υπάρχουν λοιπόν παρατηρήσεις, για τις οποίες η διασπορά είναι μεγαλύτερη. Πέραν αυτών των λίγων τιμών όμως, δεν παρατηρείται κάποιο μοτίβο για τη διασπορά των καταλοίπων.



**Διάγραμμα 4.11: Σφάλματα υποδείγματος πρώτων διαφορών για κατανάλωση φυσικού αερίου και εκτιμώμενες τιμές**

Όσον αφορά τη σύγκριση των εκτιμήσεων των συντελεστών  $\beta$  ανάμεσα στους δύο εκτιμητές, οι συντελεστές των μεταβλητών PGEU και ATMP είναι εξαιρετικά κοντά. Η διαφορά των εκτιμήσεων για τον συντελεστή της PREN είναι επίσης μικρή. Η διαφορά των εκτιμήσεων του συντελεστή του ΑΕΠ (μεταβλητή GDP) είναι λίγο μεγαλύτερη από ότι τις προαναφερθείσες, αλλά και πάλι εντός λογικών πλαισίων. Εν κατακλείδι, με αυτές τις διαφορές ανάμεσα στους εκτιμητές δεν δείχνει να υπάρχει πρόβλημα ενδογένειας και γενικότερα λανθασμένη εξειδίκευση του υποδείγματος. Η μεγάλη διαφορά των δύο τεχνικών στην περίπτωση ερμηνείας της μεταβλητότητας στην κατανάλωση φυσικού αερίου, είναι η σημαντικότητα των μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα, οι δύο μεταβλητές που θεωρούνται μη σημαντικές σύμφωνα με τον εκτιμητή First-Differences, κρίνονται σημαντικές στον εκτιμητή Within.

#### 4.6 Συμπεράσματα

Στη μελέτη που περιγράφηκε αναλυτικά στις προηγούμενες Ενότητες, χρησιμοποιήθηκαν δύο από τις πιο παραδοσιακές τεχνικές εκτίμησης με Panel Data. Η επιλογή των εκτιμητών ήταν σκόπιμη, καθώς τα αποτελέσματα του ενός χρησίμευσαν εμμέσως σαν έλεγχος για τον άλλον. Αυτοί συνδυάστηκαν, για την ορθότερη συμπερασματολογία, με τον ανθεκτικό εκτιμητή πίνακα διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων Driscoll-Kraay. Η Ενότητα αυτή αφιερώνεται στον σχολιασμό και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των εκτιμήσεων.

Τα περισσότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις εκτιμήσεις υποδειγμάτων είναι τα αναμενόμενα. Η ελαστικότητα ως προς το εισόδημα και για τα δύο ορυκτά καύσιμα εκτιμήθηκε θετική και μικρότερη της μονάδας. Οι πόροι αυτοί παίζουν τόσο σημαντικό ρόλο στην καθημερινότητα που το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται αρκετά λογικό. Οι κάτοικοι μιας χώρας είναι λογικό να κάνουν λιγότερη οικονομία και εντατικότερη χρήση ποσοτήτων φυσικού αερίου και προϊόντων πετρελαίου όσο βελτιώνεται το βιοτικό τους επίπεδο. Επιπλέον, μια οικονομία όσο αναπτύσσεται και οι υποδομές τις βελτιώνονται, καταναλώνει περισσότερη ενέργεια, αν και, όπως εξηγήθηκε στο Κεφάλαιο 2, τις τελευταίες δεκαετίες ( με τις οποίες συμπίπτουν τα δεδομένα της έρευνας), η κοινή πορεία της οικονομικής μεγέθυνσης και της χρήσης ενέργειας έχει μειωθεί. Η ελαστικότητα του εισοδήματος είναι πολύ κοντά σε αυτή που εκτιμάται για τις χώρες του ΟΟΣΑ από τους Gately και Huntington (2002), των οποίων η εργασία αναφέρεται και στην Ενότητα 2 του Κεφαλαίου. Στην εργασία αυτή, οι ερευνητές εκτιμούν την ελαστικότητα της ζήτησης πετρελαίου ως προς το εισόδημα σε 0.6, ενώ στη μελέτη αυτής της διατριβής εκτιμάται 0.5961 και 0.6075 αντίστοιχα με τους δύο εκτιμητές.

Η ελαστικότητα ως προς την τιμή εκτιμάται, σε αυτήν την έρευνα, ότι είναι πολύ χαμηλή και, φυσικά, αρνητική, τουλάχιστον όσον αφορά το πετρέλαιο. Με βάση τα αποτελέσματα που αντιστοιχούν στον εκτιμητή First-Differences, η μεταβλητή δεν είναι καν στατιστικά σημαντική και άρα θεωρείται πως η επιρροή της τιμής στην κατανάλωση είναι μηδενική. Η εκτίμηση της ελαστικότητας ως προς την τιμή από τον εκτιμητή σταθερών επιδράσεων είναι πιο κοντά στην αντίστοιχη των τους Gately και Huntington για χώρες εκτός ΟΟΣΑ (-0.12).

Η παραγωγή (ηλεκτρικής) ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές είναι λογικό να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην κατανάλωση και των δύο πόρων, αφού αποτελεί εναλλακτική λύση για πολλές, αλλά όχι όλες τις εφαρμογές. Είναι αναμενόμενο λοιπόν, μία αύξηση της παραγωγής ενέργειας από τέτοιες πηγές να οδηγεί σε μικρότερη ποσοστιαία μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αυτό δείχνει δύο πράγματα. Πρώτον, ότι πράγματι είναι σωστό το σκεπτικό της αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές, αφού επαληθεύεται εμπειρικά. Δείχνει όμως, ότι δεν είναι καθόλου άμεση η υποκατάσταση της μίας πηγής με την άλλη, καθώς δεν δύναται να γίνει γρήγορα μεταβολή από την ανάληψη πετρελαίου και αερίου για διάφορες χρήσεις, σε κατανάλωση ανανεώσιμης ενέργειας. Μια

τέτοια διαδικασία θα είναι πολυετής, καθώς θα πρέπει να αλλάξει πολύ η τεχνολογία σε όλους τους τομείς, στους οποίους χρησιμοποιούνται τα ορυκτά καύσιμα.

Επίσης, σύμφωνα με τη θεωρία είναι τα ευρήματα που αφορούν την αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης και των δύο πόρων υπό συνθήκες χαμηλότερης θερμοκρασίας. Πιθανότατα αυτό οφείλεται στη χρήση των δύο ορυκτών καυσίμων για θέρμανση, όπως εξηγήθηκε στις Ενότητες 4 και 5 του Κεφαλαίου 1. Ειδικότερα για το φυσικό αέριο, η οικιακή κατανάλωση, στην οποία περιλαμβάνεται η χρήση για θέρμανση, αποτελεί μεγάλο ποσοστό της συνολικής του κατανάλωσης. Φυσικά, ο μικρότερος της μονάδας συντελεστής, όπως εκτιμάται, υποδεικνύει πως, τουλάχιστον βραχυχρόνια, η μείωση της θερμοκρασίας συνεπάγεται μεν εντατικότερη χρήση ορυκτών καυσίμων, αλλά η αντίστοιχη ποσοστιαία μεταβολή αυτή στην κατανάλωση είναι αρκετά μικρότερη. Αντιστρόφως, όταν η μέση θερμοκρασία σημειώνει αύξηση, σημειώνεται μικρότερη κατανάλωση των πόρων.

Ενδεχομένως τη μεγαλύτερη έκπληξη από τα αποτελέσματα να αποτέλεσε η θετική επίδραση της τιμής του φυσικού αερίου στην κατανάλωση του πόρου. Αν και η επίδραση αυτή δείχνει να είναι ελάχιστη, πράγματι, από τη μεθοδολογία, θα περίμενε κανείς αρνητική επίδραση της τιμής στην κατανάλωση. Η λογική ερμηνεία αυτού του φαινομένου είναι ότι, εξαιτίας της ιδιαίτερης σχέσης των τιμών του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, δηλαδή λόγω του γεγονότος ότι, τουλάχιστον εντός δείγματος, αυτές ανεβαίνουν και πέφτουν μαζί έχοντας όμοια κίνηση, η άνοδος της τιμής του πετρελαίου και άρα του φυσικού αερίου, συμπίπτει με την αύξηση της κατανάλωσης του φυσικού αερίου. Σχετική παρατήρηση έχει γίνει σε άρθρο της Federal Reserve Bank of St. Louis με τίτλο «Oil and gas prices move together like rockets and feathers» (2022), για τις τιμές του πετρελαίου WTI και του φυσικού αερίου στην Αμερική, στο οποίο τονίζεται η ταυτόχρονη και με ίδια κατεύθυνση κίνηση των τιμών των δύο πόρων. Ο θετικός συντελεστής, έτσι, φαίνεται να δείχνει και κάποια υποκαταστασιμότητα του πετρελαίου με το φυσικό αέριο, βραχυχρόνια και σε πολύ μικρό βαθμό. Οι υψηλότερες τιμές του πόρου, αποτελούν επίσης κίνητρο για επενδύσεις στον κλάδο της παραγωγής και διανομής του πόρου. Σαν αποτέλεσμα, αυξάνεται η προσφορά φυσικού αερίου και με την επέκταση των δικτύων διανομής, διευκολύνεται η είσοδος νέων συνδρομητών στην αγορά αερίου, αυξάνοντας έτσι την κατανάλωση του πόρου.

#### **4.7 Ανακεφαλαίωση**

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει το τεχνικό μέρος της μελέτης. Πριν την παρουσίαση των βημάτων για τη διεξαγωγή της έρευνας, πραγματοποιήθηκε σύντομη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας πάνω στο αντικείμενο. Παρουσιάστηκαν τα δεδομένα και εξηγήθηκε ο χειρισμός τους και οι μετασχηματισμοί στους οποίους υποβλήθηκαν. Με τα δεδομένα έτοιμα

για ανάλυση, πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι για εξάρτηση μεταξύ μονάδων και για μοναδιαία ρίζα, ενώ μετά ακολούθησε η εκτίμηση των υποδειγμάτων και συζητήθηκαν αναλυτικά συμπεράσματα από τις εκτιμήσεις αυτές.

Αρχικά, αναφέρθηκαν οι πηγές προέλευσης των δεδομένων, που χρησιμοποιήθηκαν, οι οποίες είναι διάφορες βάσεις της World Bank και η IEA. Εξηγήθηκε σύντομα η διαδικασία εισαγωγής τους σε σχήμα βάσης δεδομένων και η εξαγωγή τους σε σετ δεδομένων προς μετασχηματισμό. Τα δεδομένα επιδέχθηκαν μετασχηματισμούς και πιο συγκεκριμένα, μετατράπηκαν οι μεταβλητές της κατανάλωσης και της παραγωγής σε κατά κεφαλήν μεγέθη, προσαρμόστηκαν οι κοινές τιμές του πετρελαίου και φυσικού αερίου με βάση τον ΔΤΚ κάθε χώρας, ενώ επίσης οι μεταβλητές μετατράπηκαν στους λογαρίθμους τους. Έπειτα, τα τελικά δεδομένα παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν στην τελική τους μορφή μέσα από γραφήματα, αλλά και στοιχεία περιγραφικής στατιστικής.

Σαν πρώτο βήμα της μελέτης πραγματοποιήθηκε έλεγχος CD του Pesaran για εύρεση εξάρτησης ανάμεσα στις οικονομικές μονάδες της έρευνας, δηλαδή τις χώρες του δείγματος. Τα αποτελέσματα παρέχουν απόδειξη για ύπαρξη εξάρτησης ανάμεσα στις χώρες. Κατά συνέπεια, επιλέγονται δύο έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας για εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με τη στασιμότητα των σειρών του Panel. Αυτοί είναι οι Augmented Dickey Fuller τύπου Fisher Cross-Sectional Im Pesaran Shin. Τα αποτελέσματα των ελέγχων εμφανίζουν διαφορές μεταξύ τους, αλλά γενικότερα συμφωνούν στο ότι δείχνουν να υπάρχουν κάποιες στάσιμες σειρές μέσα στα Panel για κάθε μεταβλητή.

Σε επόμενο βήμα έγινε η εκτίμηση ξεχωριστών υποδειγμάτων για την κατανάλωση προϊόντων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί εκτιμητές για κάθε υπόδειγμα και ειδικότερα, αυτοί είναι ο εντός εκτιμητής (Fixed Effects) και ο εκτιμητής πρώτων διαφορών (First-Differences). Η σύγκριση των εκτιμήσεων μεταξύ τους αποτελεί εμμέσως έλεγχο ανθεκτικότητας και για τους δύο. Αυτοί συνδυάστηκαν με τα τυπικά σφάλματα Driscoll-Kraay για πιο ανθεκτική συμπερασματολογία, ενώ επίσης έγιναν διαγνωστικοί έλεγχοι για ετεροσκεδαστικότητα, αυτοσυσχέτιση και διαστρωματική εξάρτηση, καθώς και για τη σημαντικότητα των σταθερών επιδράσεων.

Οι εκτιμήσεις δείχνουν πως η κατανάλωση και των δύο πόρων είναι ανελαστική ως προς το εισόδημα και ως προς την τιμή, με τον συντελεστή του εισοδήματος να είναι θετικός και σε όλα τα μοντέλα σημαντικός σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 5\%$ . Οι εκτιμήσεις για τον συντελεστή της τιμής και η σημαντικότητά της στα υποδείγματα, αντιθέτως, εμφανίζουν διαφορές. Ο συντελεστής είναι αρνητικός και σημαντικός με βάση τον εκτιμητή Fixed Effects, αλλά βάσει First-Differences, είναι πολύ μικρός (μηδέν σε δύο δεκαδικά ψηφία) και μη σημαντικός σε κάθε συμβατικό επίπεδο σημαντικότητας. Τη μεγαλύτερη έκπληξη προκαλεί το γεγονός ότι ο συντελεστής της τιμής του φυσικού αερίου είναι θετικός και με τους δύο

εκτιμητές, πράγμα που δικαιολογείται επειδή η τιμή του αερίου, για την περίοδο του δείγματος τουλάχιστον, ακολουθεί πορεία όμοια με αυτή του πετρελαίου. Ο συντελεστής αυτός όμως είναι πολύ μικρός και βάσει εκτιμητή πρώτων διαφορών, μη σημαντικός. Η αύξηση της θερμοκρασίας και της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές επηρεάζει αρνητικά την κατανάλωση και των δύο πόρων, σύμφωνα και με τους δύο εκτιμητές.



## Βιβλιογραφία

- Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη». (1993). Αθήνα: Κουμουνδουρέας.
- Ζαΐρης, Π. Ε. (2010). *Στατιστική Μεθοδολογία - Αναθεωρημένη Έκδοση* (2η εκδ.). Αθήνα: Εκδόσεις Κριτική.
- Κάτος, Α. Β. (2004). *ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΑ: Θεωρία και Εφαρμογές*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις "ΖΥΓΟΣ" Ιωάννης Γ. Μάρκου.
- Κατσέλη, Λ. Τ., & Μαγουλά, Χ. Μ. (2005). *Μακροοικονομική Ανάλυση και Ελληνική Οικονομία* (Β' εκδ.). (Χ. Σταυρόπουλος, Επιμ.) Αθήνα, Ελλάδα: τυπωθήτω - ΓΙΩΡΓΟΣ ΔΑΡΔΑΝΟΣ.
- Παπαβασιλείου, Κ. (2014, Νοέμβριος 11). *Μη Συμβατικοί Υδρογονάνθρακες*. Ανάκτηση Μάιος 17, 2021, από Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιανατολικής Ευρώπης (IENE) | 19ο Εθνικό Συνέδριο Ενέργειας: <https://www.iene.gr/energy-development2014/articlefiles/session6/PAPAVASILEIOU.pdf>
- Χρήστου, Γ. Κ. (2011). *Εισαγωγή στην Οικονομετρία*. Αθήνα: GUTENBERG.
- Abel, A. B., Bernanke, B. S., & Croushore, D. (2010). *Μακροοικονομική - Νέα Αναθεωρημένη Έκδοση*. (Μ. Μίνογλου, Επιμ., & Γ. Λαντούρης, Μεταφρ.) Αθήνα: Εκδόσεις Κριτική.
- Agiakloglou, C., & Newbold, P. (1992). Empirical Evidence on Dickey – Fuller – Type Tests. *Journal Of Time Series Analysis*, 13(6), 471-483.
- Akarsu, G., & Korusu, N. (2019, June 17). What are the Main Determinants of Renewable Energy Consumption? A Panel Threshold Regression Approach. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19, 1-22.
- Arellano, M. (1987). Computing robust standard errors for within-groups estimators. *Oxford bulletin of Economics and Statistics*, 49(4), 431-434.
- Baltagi, B. H. (2021). *Econometric Analysis of Panel Data* (6 ed.). Springer.
- Baltagi, B. H., & Li, Q. (1991). A joint test for serial correlation and random individual effects. *Statistics & Probability Letters*, 11(3), 277-280.
- Baltagi, B. H., & Li, Q. (1995). Testing AR (1) against MA (1) disturbances in an error component model. *Journal of Econometrics*, 68(1), 133-151.
- Baltagi, B. H., Feng, Q., & Kao, C. (2012). A Lagrange multiplier test for cross-sectional dependence in a fixed effects panel data model. *Journal of Econometrics*(170), 164-177.
- BBC. (2013, May 12). *Japan extracts gas from methane hydrate in world first*. Retrieved April 15, 2021, from BBC: <https://www.bbc.com/news/business-21752441>

- Beck, N., & Katz, J. N. (1995). What to do (and not to do) with time-series cross-section. *American political science review*, 89(3), 634-647.
- Biomass Energy. (2012). *Πηγές Προέλευσης της Βιομάζας*. Ανάκτηση Μάιος 15, 2021, από Biomass Energy: <https://web.archive.org/web/20120115051347/http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/16-biomass-resources>
- Blaug, M. (2021, December 22). *economics*. Retrieved January 25, 2022, from Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/topic/economics>
- Board of Governors of the Federal Reserve System. (2012, January 25). *Federal Reserve issues FOMC statement of longer-run goals and policy strategy*. Retrieved November 21, 2021, from Federal Reserve: <https://www.federalreserve.gov/newsevents/pressreleases/monetary20120125.htm>
- BP. (2021). *Statistical Review of World Energy*. Retrieved June 10, 2021, from Oil Reserves Definitions: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-oil-reserve-definitions.pdf>
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1978). Testing for autocorrelation in dynamic linear models. *Australian Economic Papers*, 17(31), 334–355.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1979). A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 1287-1294.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The review of economic studies*, 47(1), 239-253.
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. (2019, September 18). *wholesale price index*. Retrieved November 21, 2021, from Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/topic/wholesale-price-index>
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. (2021, May 30). *inflation*. Retrieved from Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/topic/inflation-economics>
- Bureau of Economic Analysis. (2020, December). *Concepts and Methods of the U.S. National Income and Product Accounts*. Retrieved Νοέμβριος 20, 2021, from BEA: <https://www.bea.gov/resources/methodologies/nipa-handbook/pdf/chapters-01-04.pdf>
- Bureau of Economic Analysis. (2021, October 29). *Personal Consumption Expenditures Price Index*. Retrieved November 20, 2021, from BEA: <https://www.bea.gov/data/personal-consumption-expenditures-price-index>



- EIA. (2020, January 15). *Nuclear power and the environment*. Retrieved October 5, 2021, from Nuclear Explained: <https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/nuclear-power-and-the-environment.php>
- EIA. (2020, August 25). *Oil and the environment*. Retrieved May 15, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/oil-and-the-environment.php>
- EIA. (2020, September 24). *Tidal power*. Retrieved May 21, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/tidal-power.php>
- EIA. (2020, December 2020). *Types of wind turbines*. Retrieved May 20, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/types-of-wind-turbines.php>
- EIA. (2020, December 20). *Wave power*. Retrieved May 21, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/wave-power.php>
- EIA. (2020, December 9). *Wind explained*. Retrieved May 19, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/>
- EIA. (2021, June 8). *Biomass explained*. Retrieved June 9, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>
- EIA. (2021, January 15). *Delivery and storage of natural gas*. Retrieved April 30, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/delivery-and-storage.php>
- EIA. (2021, April 8). *Hydropower explained*. Retrieved May 20, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/>
- EIA. (2021, May 20). *Renewable sources*. Retrieved May 21, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>
- EIA. (2021, December 9). *Solar explained*. Retrieved May 21, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/>
- EIA. (2021, May 12). *Units and calculators explained*. Retrieved May 16, 2021, from IEA: <https://www.eia.gov/energyexplained/units-and-calculators/>
- EIA. (2021, May 14). *Use of energy explained*. Retrieved June 1, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/>
- EIA. (2021, March 22). *Use of geothermal energy*. Retrieved May 25, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/geothermal/use-of-geothermal-energy.php>
- EIA. (2021, May 25). *Use of natural gas*. Retrieved May 26, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/use-of-natural-gas.php>
- EIA. (2021, May 10). *Use of oil*. Retrieved May 12, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/use-of-oil.php>

- EIA. (n.d.). *International Energy Statistics*. Retrieved May 25, 2021, from EIA: <https://www.eia.gov/international/data/world/>
- Elder, J., & Kennedy, P. E. (2001). Testing for Unit Roots: What Should Students be Taught? *The Journal of Economic Education*, 32(2), 137-146.
- Enders, W. (1995). *Applied econometric time series*. New York: Wiley.
- Eurostat. (n.d.). *Glossary:Gross national income (GNI)*. Retrieved January 22, 2022, from Eurostat - Statistics Explained: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Gross\\_national\\_income\\_\(GNI\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Gross_national_income_(GNI))
- Eurostat. (n.d.). *Real Gross Domestic Product for Greece [CLVMNACSCAB1GQEL]*. Retrieved July 26, 2022, from FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis: <https://fred.stlouisfed.org/series/CLVMNACSCAB1GQEL>
- Fairclough, M., & Tusildas, H. (2019, July). *World Thorium Occurrences, Deposits and Resources*. Retrieved October 5, 2021, from International Atomic Energy Agency: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1877web.pdf>
- Federal Reserve Bank of St. Louis. (2022, June 22). *Oil and gas prices move together like rockets and feathers*. Retrieved September 17, 2022, from The FRED® Blog: [blog.stlouisfed.org/2022/06/oil-and-gas-prices-move-together-like-rockets-and-feathers/](https://blog.stlouisfed.org/2022/06/oil-and-gas-prices-move-together-like-rockets-and-feathers/)
- Fuinhas, J., Marques, A., & Couto, A. (2015). Oil-Growth Nexus in Oil Producing Countries: Macro Panel Evidence. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5(1), pp. 148-163.
- Gately, D., & Huntington, H. G. (2002). The asymmetric effects of changes in price and income on energy and oil demand. *The Energy Journal*, 23(1).
- Glasby, G. P. (2006). Abiogenic origin of hydrocarbons: a historical overview. *Resource Geology*, 56, pp. 85-98.
- Global Commission on the Geopolitics of Energy Transformation. (2019, January). *International Renewable Energy Association (IRENA)*. Retrieved May 17, 2021, from A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/Global\\_commission\\_geopolitics\\_new\\_world\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/Global_commission_geopolitics_new_world_2019.pdf)
- Godfrey, L. G. (1978). Testing against general autoregressive and moving average error models when the regressors include lagged dependent variables. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1293-1301.
- Granger, C., & Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of Econometrics*, 2(2), 111-120.

- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2008). *Basic Econometrics* (5 εκδ.).
- Hall, C. A., & Klitgaard, K. A. (2012). *Energy and the Wealth of Nations*. New York: Springer.
- Harway, F. (2021, May 21). *Richest nations agree to end support for coal production overseas*. Retrieved October 9, 2021, from The Guardian: <https://www.theguardian.com/environment/2021/may/21/richest-nations-agree-to-end-support-for-coal-production-overseas>
- Heather, P. (2020, May). *European Traded Gas Hubs: The supremacy of the TTF*. Ανάκτηση April 20, 2021, από The Oxford Institute for Energy Studies: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2020/05/European-Traded-gas-hubs-the-supremacy-of-TTF.pdf>
- Hoechle, D. (2007, September 1). Robust Standard Errors for Panel Regressions with Cross-Sectional Dependence. *The Stata Journal*, 7(3), 281-312.
- IEA. (2021). *World Energy Balances*. Retrieved from <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>
- Im, K., Pesaran, H. M., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.
- Intercontinental Exchange. (2020, June). *What are the differences between ICE Brent and NYMEX futures?* Retrieved June 5, 2021, from ICE: <https://www.theice.com/insights/market-pulse/what-are-the-differences-between-ice-brent-and-nymex-wti-futures>
- Kennedy, P. (2008). *A Guide to Econometrics* (6 εκδ.). Wiley-Blackwell.
- Kmenta, J. (1986). *Elements of Econometrics* (2 εκδ.). New York: McMillan.
- Kochtcheeva, L. V. (2016, May 27). *Renewable Energy: Global Challenges*. Retrieved June 2, 2021, from E-International Relations: <https://www.e-ir.info/2016/05/27/renewable-energy-global-challenges/>
- Kurt, D. (2020, January 04). *Benchmark Oils: Brent Crude, WTI and Dubai*. Ανάκτηση May 29, 2021, από Investopedia: <https://www.investopedia.com/articles/investing/102314/understanding-benchmark-oils-brent-blend-wti-and-dubai.asp>
- Labonte, M. (2011, July 26). Inflation: Causes, Costs and Current Status. *Congressional Research Service*.
- Lawrence Livermore National Laboratory. (1999). *Methane Hydrates: A Surprising Compound*. Retrieved April 25, 2021, from <https://www.llnl.gov/str/Durham.html>

- Levin, A., Lin, C.-F., & Chu, C.-S. J. (2002). Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, *108*(1), 1-24.
- Mankiw, G. N., & Ball, L. M. (2013). *Μακροοικονομική και το Χρηματοπιστωτικό Σύστημα*. (Γ. Χορταρέας, Επιμ., & Α. Σοκοδήμος, Μεταφρ.) Αθήνα: Gutenberg.
- McCully, P. C., Moyer, C. B., & Stewart, J. K. (2007, November 20). *Comparing the Consumer Price Index and the Personal Consumption Expenditures Price Index*. Retrieved November 21, 2021, from BEA: [https://apps.bea.gov/scb/pdf/2007/11%20November/1107\\_cpiyce.pdf](https://apps.bea.gov/scb/pdf/2007/11%20November/1107_cpiyce.pdf)
- Mentor IMC Group. (2019, February 22). *World's longest pipelines: Natural gas*. Retrieved April 28, 2021, from <https://www.mentorimcgroup.com/2019/02/22/worlds-longest-pipelines-natural-gas/>
- Millo, G., & Croissant, Y. (2018). *Panel Data Econometrics with R*. John Wiley & Sons.
- Muth, F. J. (1961). Rational Expectations and the Theory of Price Movements. *Econometrica*, *29*(3), 315-35.
- Narayan, P. K., & Smith, R. (2007). A panel cointegration analysis of the demand for oil in the Middle East. *Energy Policy*, *35*(12), 6258-6265.
- Narayan, P., & Wong, P. (2009). A panel data analysis of the determinants of oil consumption: The case of Australia. *Applied Energy*(86), 2771-2775.
- Newey, W. K., & West, K. D. (1987). A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica*, *55*(3), 703-708.
- Newey, W. K., & West, K. D. (1994). Automatic lag selection in covariance matrix estimation. *The Review of Economic Studies*, *61*(4), 631-653.
- OECD. (n.d.). *Broad money (M3)*. Retrieved November 25, 2021, from <https://data.oecd.org/money/broad-money-m3.htm>
- OECD. (n.d.). *Producer Price Indices - Frequently Asked Questions (FAQs)*. Retrieved November 30, 2021, from <https://www.oecd.org/sdd/prices-ppp/producerpriceindices-frequentlyaskedquestionsfaqs.htm>
- Ozturk, I., & Al-Mulali, U. (2015). Natural gas consumption and economic growth nexus: Panel data analysis for GCC countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *51*, 998-1003.
- Parks, R. W. (1967). Efficient estimation of a system of regression equations when disturbances are both serially and contemporaneously correlated. *Journal of the American Statistical Association*, *62*(318), 500-509.

- Pesaran, H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross-section Dependence in Panels, working paper.
- Pesaran, H. (2011, September). On the Interpretation of Panel Unit Root Tests.
- Pesaran, H. M. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265-312.
- Petroleum.co.uk. (n.d.). *Other Uses of Petroleum*. Retrieved May 7, 2021, from <http://www.petroleum.co.uk/other-uses-of-petroleum>
- Phillips, P. C., & Moon, H. R. (1999). Linear regression limit theory for nonstationary panel data. *Econometrica*, 67(5), 1057-1111.
- Phillips, P., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*(75), 335-346.
- REN21. (2020, June). *Renewables 2020 Global Status Report*. Paris, France. Retrieved January 10, 2022, from REN21: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2020\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf)
- Rogner, H.-H., & Popescu, A. (2000, January). An introduction to Energy. *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability*.
- Rowlatt, J. (2019, November 25). *Coal: Is this the beginning of the end?* Retrieved October 8, 2021, from BBC: <https://www.bbc.com/news/science-environment-50520962>
- Sharma, N., Smeets, B., & Tryggestad, C. (2019, April). The decoupling of GDP and energy growth: A CEO guide. *McKinsey Quarterly*. Retrieved December 26, 2021, from <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Electric%20Power%20and%20Natural%20Gas/Our%20Insights/The%20decoupling%20of%20GDP%20and%20energy%20growth%20A%20CEO%20guide/The-decoupling-of-GDP-and-energy-growth-A-CEO-guide-VF4.pdf>
- Society of Petroleum Engineers. (1997, March). *SPE*. Retrieved March 19, 2021, from Petroleum Reserves Definitions: <https://www.spe.org/en/industry/petroleum-reserves-definitions/>
- Stern, D. I. (2004). Economic Growth and Energy. *Encyclopedia of Energy*, 2.
- Tietenberg, T., & Lewis, L. (2010). *ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ*. (A. A. Παπανδρέου, Επμ.) Αθήνα: Εκδόσεις GUTENBERG.
- Torres-Reyna, O. (2007, December). Panel data analysis fixed and random effects using Stata (v. 4.2). Data & Statistical Services, Princeton University. Retrieved August 5, 2021, from [https://www.academia.edu/download/57152357/-\\_Panel101.pdf](https://www.academia.edu/download/57152357/-_Panel101.pdf)



- Tsirimokos, C. (2011). *Price and income elasticities of crude oil demand*. Department of Economics. Swedish University of Agricultural Sciences: Uppsala.
- Turgeon, A., & Morse, E. (2012, July 24). *Natural Gas*. (J. Evers, Editor, Caryl-Sue, Producer, & National Geographic Society) Retrieved May 15, 2021, from National Geographic Resource Library: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/natural-gas/>
- Turgeon, A., & Morse, E. (2018, October 5). *Petroleum*. (J. Evers, Editor, Caryl-Sue, Producer, & National Geographic Society) Retrieved March 15, 2021, from National Geographic Resource Library: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/petroleum>
- University of Leipzig. (n.d.). *Energy Fundamentals*. Retrieved March 7, 2021, from The History of the Word "Energy": <https://home.uni-leipzig.de/energy/energy-fundamentals/01.htm>
- US Bureau of Labor Statistics. (2021, June 23). *Producer Price Indexes Frequently Asked Questions (FAQs)*. Retrieved November 21, 2021, from BLS: <https://www.bls.gov/ppi/faqs/questions-and-answers.htm#14>
- US Bureau of Labor Statistics. (n.d.). *Producer Price Indexes*. Retrieved November 30, 2021, from BLS: <https://www.bls.gov/ppi/>
- US Energy Information Administration (EIA). (2020, June 17). *Forms of energy*. Retrieved April 15, 2021, from What is energy?: <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/forms-of-energy.php>
- Vella, F., & Verbeek, M. (1998). Whose wages do unions raise? A dynamic model of unionism and wage rate determination for young men. *Journal of Applied Econometrics*, 13(2), 163-183.
- White, H. (1980). A Heteroscedasticity Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for heteroskedasticity. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 817-838.
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data (2 εκδ.)*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- World Bank. (n.d.). *Climate Change Knowledge Portal*. Retrieved from <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>
- World Bank. (n.d.). *Commodity Markets*. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>
- World Bank. (n.d.). *World Bank open Data*. Retrieved from <https://data.worldbank.org/>
- Zellner, A. (1962, June). An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias. *Journal of the American Statistical Association*, 57(298), 348-368.

