



ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Μοντελοποίηση της μακροχρόνιας ενεργειακής ζήτησης για την περίπτωση της Ελλάδας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Κατσαρός

**Επιβλέπων :** Ασημακόπουλος Βασίλειος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Υπεύθυνος :** Διαμαντής Κουτσανδρέας  
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μαρτιος 2022





ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Μοντελοποίηση της μακροχρόνιας ενεργειακής ζήτησης για την περίπτωση της Ελλάδας

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Κατσαρός

**Επιβλέπων :** Ασημακόπουλος Βασίλειος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Υπεύθυνος :** Διαμαντής Κουτσανδρέας  
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 8<sup>η</sup> Μαρτίου 2022

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

Βασίλειος Ασημακόπουλος

Χάρης Δούκας

Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής ΕΜΠ

Καθηγητής ΕΜΠ

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2022





ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

(Υπογραφή)

.....

Κατσαρός Δημήτριος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Ηλεκτρονικών  
Υπολογιστών

Copyright © Δημήτριος Κατσαρός, 2022.

Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας  
εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό.  
Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη  
κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την  
προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το  
παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για  
κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις επίσημες  
θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, του Επιβλέποντα, ή της  
επιτροπής που την ενέκρινε.



## Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας σφραγίζει την ολοκλήρωση των σπουδών μου και παράλληλα σηματοδοτεί την δημιουργία ενός νέου μονοπατιού, που αφορά την επαγγελματική μου σταδιοδρομία. Το ταξίδι ήταν απαιτητικό, γεμάτο προκλήσεις, αλλά συνάμα πολύ όμορφο συνοδευόμενο από επιτυχίες αλλά και απογοητεύσεις.

Στήριγμά μου σε όλη μου την ακαδημαϊκή πορεία αποτέλεσε η οικογένεια μου. Μου δίδαξε να ονειρεύομαι, να θέτω υψηλούς στόχους και να μην τα παρατάω ανεξαρτήτως εμποδίων. Η αποφοίτησή μου αποτελεί το επισφράγισμα και των δικών τους κόπων.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τόσο τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, καθηγητή Βασίλειο Ασημακόπουλο που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ σε βάθος με ένα τόσο σύγχρονο θέμα, όπως αυτό της πρόβλεψης της μακροχρόνιας ενεργειακής ζήτησης της Ελλάδος, όσο και τον υπεύθυνο της παρούσας εργασίας, Διαμαντή Κουτσανδρέα, υποψήφιο διδάκτορα της μονάδας Προβλέψεων και Στρατηγικής, του οποίου η καθοδήγηση ήταν ιδιαίτερα σημαντική για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακόμα, ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές Χάρη Δούκα και Ιωάννη Ψαρά για την συμμετοχή τους στην επιτροπή εξέτασης.

Φυσικά σε όλη αυτή τη διαδρομή είχα συνοδοιπόρους. Βασίλη, Θοδωρή, Γιώργο και Χάρη · Κάνατε το ταξίδι αυτό μοναδικό. Σας ευχαριστώ.

## Περίληψη

Η ευρωπαϊκή ένωση στοχεύοντας στην υλοποίηση των διεθνών της δεσμεύσεων ως προς την κλιματική αλλαγή, θέτει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οδηγώντας σταδιακά σε κλιματική ουδετερότητα μέχρι το έτος 2050. Έτσι και η Ελλάδα, θέτει ιδιαίτερος φιλόδοξους στόχους, οι οποίοι περιγράφονται στο «Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα» (ΕΣΕΚ), με άμεση συνέπεια τον ριζικό μετασχηματισμό του εθνικού ενεργειακού συστήματος και το ακολουθούμενου εθνικού παραγωγικού μοντέλου, καθιστώντας αναγκαία την μοντελοποίηση του εθνικού ενεργειακού συστήματος και κατ' επέκταση την μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης. Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου που θα προβλέπει όσο το δυνατόν ακριβέστερα την ενεργειακή ζήτηση της Ελλάδος μέχρι το 2040, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες εξωγενείς μεταβλητές που ενδεχομένως την επηρεάζουν. Σε πρώτο επίπεδο, γίνεται μία εισαγωγή στην έννοια της ενεργειακής ζήτησης και τονίζεται η σημασία της. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κυριότερες τεχνικές πρόβλεψης και πραγματοποιείται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση παλαιότερων ερευνών που αφορούν την ενεργειακή ζήτηση διαφόρων χωρών. Ακόμα, παρατίθεται αναλυτικά η πρόταση της διπλωματικής εργασίας για την ανάπτυξη της μεθόδου πρόβλεψης. Συγκεκριμένα, γίνεται εκτενής αναφορά στις μεταβλητές που αποτέλεσαν είσοδο στο μοντέλο, ώστε μέσα από δοκιμές να προκύψει εκείνο που παρήγαγε τις πιο ακριβείς προβλέψεις. Μετά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, ακολουθεί η αποτίμηση των αποτελεσμάτων και η καταγραφή σημαντικών παρατηρήσεων. Τέλος, παρουσιάζονται ορισμένα συμπεράσματα και προτείνονται ενδεχόμενες προεκτάσεις.

**Λέξεις κλειδιά :** Ελλάδα, Πρόβλεψη ενεργειακής ζήτησης , Γραμμική παλινδρόμηση, Πολλαπλή παλινδρόμηση, Συστήματα αποφάσεων



## Abstract

The European Union, aspiring to implement its international commitments on climate change, aims to reduce greenhouse gas emissions, gradually leading to climate neutrality by 2050. Greece also sets particularly ambitious goals, which are described in the "National Plan for Energy and Climate" (ESEK), with a direct consequence of the radical transformation of the national energy system and the followed national production model, making necessary the modeling of the national energy system and consequently the modeling of energy demand. The aim of this diploma is to develop a model that will predict as accurately as possible the energy demand of Greece by 2040, taking into account various external variables that may affect it. First of all, a reference is made to the area of energy demand, and its importance is emphasized. Afterward, the main forecasting techniques are presented and a bibliographic review of past research related to the energy demand of different countries is carried out. There is also an analytical disclosure of the thesis proposal on the method development. Extensive reference is made to the variables that were used as an input to the model. By testing various combinations of different variables we finally obtain the one that produced the most accurate predictions. After the presentation of the results, there is an assessment regarding the model's results and a presentation of some important remarks. Finally, some conclusions are stated and possible extensions are suggested.

**Key words :** Greece, Energy demand forecast, Linear regression, Polynomial regression, Decision support systems



# Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	7
Περίληψη.....	8
Abstract.....	9
<b>Κεφάλαιο 1 . Εισαγωγή.....</b>	<b>15</b>
1.1 Υπόβαθρο.....	15
1.2 Σκοπός της Διπλωματικής.....	16
1.3 Δομή της εργασίας.....	18
1.4 Βασικές ενεργειακές πηγές και η ταξινόμησή τους.....	19
<b>Κεφάλαιο 2 . Τεχνικές προβλέψεων.....</b>	<b>23</b>
2.1 Η σημασία της πρόβλεψης.....	23
2.1.1 Μοντέλα παλινδρόμησης.....	23
2.1.2 Άλλες γνωστές τεχνικές προβλέψεων.....	26
2.2 Στατιστική ανάλυση ακρίβειας προβλέψεων.....	31
2.3 Σχετικές Μελέτες.....	33
<b>Κεφάλαιο 3 . Μεθοδολογία.....</b>	<b>44</b>
3.1 Επιλογή Μοντέλου.....	44
3.2 Επιλογή μεταβλητών και Συλλογή δεδομένων.....	45
3.2.1 Μεταβλητές σχετιζόμενες με οικονομικά και δημογραφικά μεγέθη.....	45
3.2.2 Μεταβλητές ηλεκτροπαραγωγής.....	47
3.2.3 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	48
3.2.4 Κόστος χρησιμοποιούμενων καυσίμων.....	49
3.2.5 Δεδομένα παροχής και κατανάλωσης καυσίμου.....	50
3.2.6 Δεδομένα συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ΑΠΕ και ορυκτών καυσίμων.....	53
3.2.7 Εξαρτημένη μεταβλητή.....	53
3.3 Προετοιμασία δεδομένων.....	56
3.4 Ανάλυση περιπτώσεων.....	58
<b>Κεφάλαιο 4 . Αποτελέσματα.....</b>	<b>67</b>
4.1 Υπολογισμός μεταβλητών εισόδου για τα έτη 2021 ως 2039.....	67
4.1.1 Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν.....	68
4.1.2 Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου.....	69
4.1.3 Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου.....	71
4.1.4 Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα.....	72
4.1.5 Κατά κεφαλήν εισόδημα.....	75
4.1.6 Βαθμομημέρες θέρμανσης.....	78

4.2 Αποτελέσματα.....	80
<b>Κεφάλαιο 5 . Συμπεράσματα και Προεκτάσεις.....</b>	<b>81</b>
5.1 Αποτίμηση των αποτελεσμάτων – Παρατηρήσεις.....	81
5.1.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών τεχνικών προβλέψεων.....	81
5.1.2 Παρατηρήσεις.....	85
5.1.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ γραμμικής παλινδρόμησης και ΕΣΕΚ.....	89
5.2 Συμπεράσματα και Προεκτάσεις.....	92
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>95</b>
<b>Παράρτημα.....</b>	<b>99</b>
Ενδεικτικοί πίνακες σφαλμάτων 1 <sup>ης</sup> περίπτωσης.....	99
Ενδεικτικοί πίνακες σφαλμάτων 2 <sup>ης</sup> περίπτωσης.....	105
Ενδεικτικοί πίνακες σφαλμάτων 3 <sup>ης</sup> περίπτωσης.....	113
<b>Περιεχόμενα Πινάκων</b>	
<i>Πίνακας 1 : Διαφορετικές περιπτώσεις μοντέλων ARIMA.....</i>	<i>31</i>
<i>Πίνακας 2 : Παλαιότερες μελέτες ενεργειακής ζήτησης.....</i>	<i>37</i>
<i>Πίνακας 3 : Μεταβλητές σχετιζόμενες με οικονομικά και δημογραφικά μεγέθη για τα έτη 1971 ως 1990.....</i>	<i>46</i>
<i>Πίνακας 4 : Ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ΑΠΕ , υδροηλεκτρικών και άνθρακα για τα έτη 1971 ως 1994.....</i>	<i>47</i>
<i>Πίνακας 5 : Μεταβλητές σχετιζόμενες με τον καιρό για τα έτη 1971 ως 1990.....</i>	<i>49</i>
<i>Πίνακας 6 : Δείκτης τιμών καταναλωτή και κόστος αργού πετρελαίου για τα έτη 1971 ως 1995.....</i>	<i>50</i>
<i>Πίνακας 7 : Παραγωγή, εισαγωγές, εξαγωγές και συνολική παροχή ενέργειας των πετρελαιοειδών για τα έτη 1971 ως 1990.....</i>	<i>51</i>
<i>Πίνακας 8 : Παραγωγή ενέργειας (Διυλιστήρια πετρελαίου) , κατανάλωση ενέργειας στη βιομηχανία και συνολική κατανάλωση ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών για τα έτη 1971 ως 1990.....</i>	<i>52</i>
<i>Πίνακας 9 : Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων και ΑΠΕ...53</i>	
<i>Πίνακας 10 : Συνολική ζήτηση ενέργειας για τα έτη 1971 ως 1990.....</i>	<i>54</i>
<i>Πίνακας 11 : Πραγματική συνολική ενεργειακή ζήτηση και πρόβλεψη συνολικής ενεργειακής ζήτησης (1η περίπτωση).....</i>	<i>60</i>
<i>Πίνακας 12 : Πραγματική συνολική ενεργειακή ζήτηση και πρόβλεψη συνολικής ενεργειακής ζήτησης (2η περίπτωση).....</i>	<i>62</i>

Πίνακας 13 : Πραγματική συνολική ενεργειακή ζήτηση και πρόβλεψη συνολικής ενεργειακής ζήτησης (3η περίπτωση).....	64
Πίνακας 14 : Παραγόμενο μέσο τετραγωνικό σφάλμα για τις τρεις περιπτώσεις.....	65
Πίνακας 15 : Τιμές του ΑΕΠ (ανά πενταετία) από το έτος 2005 ως το 2050.....	68
Πίνακας 16 : Τιμές του ΑΕΠ για τα έτη 2020 ως 2039.....	69
Πίνακας 17 : Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου (ανά πενταετία) από το έτος 2005 ως το 2050.....	69
Πίνακας 18 : Παραγωγή ενέργειας λόγω πετρελαίου για τα έτη 2020 ως 2039.....	70
Πίνακας 19 : Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου (ανά πενταετία) από το έτος 2005 ως το 2050.....	71
Πίνακας 20 : Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου για τα έτη 2020 ως το 2039.....	71
Πίνακας 21 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα(ανά πενταετία) από το έτος 2005 ως το 2050.....	72
Πίνακας 22 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα για τα έτη 2020 ως το 2039 .....	73
Πίνακας 23 : Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανά πενταετία) από το έτος 2005 ως το 2050.....	74
Πίνακας 24 : Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τα έτη 2020 ως το 2024.....	74
Πίνακας 25 : Ποσοστό παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα για τα έτη 2020 ως το 2039.....	75
Πίνακας 26 : Πληθυσμός της χώρας (ανά πενταετία) από το έτος 2005 ως το 2050.....	76
Πίνακας 27 : Πληθυσμός της χώρας για τα έτη 2018 ως 2039.....	76
Πίνακας 28 : Κατά κεφαλήν ΑΕΠ και ετήσια μεταβολή του κατά κεφαλήν ΑΕΠ για τα έτη 2018 ως 2039.....	77
Πίνακας 29 : Κατά κεφαλήν εισόδημα για τα έτη 2018 ως 2039.....	78
Πίνακας 30 : «Βαθμομέρες θέρμανσης» (“HDD”) για τα έτη 2001 ως 2018.....	79
Πίνακας 31 : «Βαθμομέρες θέρμανσης» (“HDD”) για τα έτη 2019 ως 2039.....	79
Πίνακας 32 : Συνολική ενεργειακή ζήτηση για τα έτη 2022 ως 2039.....	80
Πίνακας 33 : Ενεργειακή ζήτηση για τα έτη 1990 ως 1997.....	81
Πίνακας 34 : Πραγματικές τιμές και προβλέψεις ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 1998 ως 2015 (περίπτωση 1).....	82
Πίνακας 35 : Σφάλμα MAPE των επιμέρους προβλέψεων (περίπτωση 1).....	83
Πίνακας 36 : Πραγματικές τιμές και προβλέψεις ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 1998 ως 2015 (περίπτωση 2).....	84

Πίνακας 37 : Σφάλμα MAPE των επιμέρους προβλέψεων (περίπτωση 2).....	84
Πίνακας 38 : Τιμές της παραγωγής ενέργειας μέσω φυσικού αερίου για τα έτη 2020,2025 και 2030.....	91

## Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1 : Εξέλιξη των μεριδίων καυσίμων στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας για την περίοδο 2006-2017.....	20
Σχήμα 2 : Εξέλιξη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα τελικής χρήσης για την περίοδο 2006- 2017.....	22
Σχήμα 3 : Διάγραμμα Διασποράς.....	24
Σχήμα 4 : Διάγραμμα πραγματικής και προβλεπόμενης ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 1998 ως 2015 (1η περίπτωση).....	61
Σχήμα 5: Διάγραμμα πραγματικής και προβλεπόμενης ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 1998 ως 2015 (2η περίπτωση).....	63
Σχήμα 6 : Διάγραμμα πραγματικής και προβλεπόμενης ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 2001 ως 2018 (3η περίπτωση).....	65
Σχήμα 7 : Ραβδόγραμμα των σφαλμάτων των τριών περιπτώσεων.....	65
Σχήμα 8 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής του ΑΕΠ για τα έτη 2005 ως 2040.....	85
Σχήμα 9 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής του κατά κεφαλήν εισοδήματος για τα έτη 2005 ως 2040.....	86
Σχήμα 10 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής των βαθμομερών θέρμανσης για τα έτη 2005 ως 2040.....	87
Σχήμα 11 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής του ποσοστού ηλεκτροπαραγωγής μέσω άνθρακα για τα έτη 2005 ως 2040.....	87
Σχήμα 12 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής της παραγωγής ενέργειας μέσω φυσικού αερίου για τα έτη 2005 ως 2040.....	88
Σχήμα 13 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής της παραγωγής ενέργειας μέσω αργού πετρελαίου για τα έτη 2005 ως 2040.....	89
Σχήμα 14 : Προβλέψεις της ενεργειακής ζήτησης για έτη 2022 ως 2040.....	90

## Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

### 1.1 Υπόβαθρο

Τα τελευταία χρόνια, ο τομέας της ενέργειας μπορεί αναντίρρητα να χαρακτηριστεί ως μείζονος σημασίας, καθώς οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής έχουν καταστήσει απαραίτητη την αναπροσαρμογή του ενεργειακού συστήματος των κρατών. Παρατηρείται συνεχώς η λήψη μέτρων αλλά και η δημιουργία νομοθεσιών που αποβλέπουν στην επίτευξη ενεργειακών στόχων. Κάθε κυβέρνηση, ανάλογα με τις ανάγκες της, λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με τις πολιτικές που θα υιοθετήσει για να κατορθώσει να επιτύχει την αναμενόμενη και μέγιστα εφικτή εξοικονόμηση ενέργειας που έχει τεθεί ως στόχος. Με την υιοθέτηση της συμφωνίας του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή, οι κυβερνήσεις ανά τον κόσμο έχουν δεσμευτεί στην εκπλήρωση συγκεκριμένων στόχων σχετικά με το κλίμα και την ενέργεια, με απώτερο σκοπό την κλιματική ουδετερότητα το 2050 που θα συντελέσει στον μηδενισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από το έτος 2050 και έπειτα.

Η Ελλάδα, δεν θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση σε αυτή την παγκόσμια προσπάθεια ενεργειακής ευαισθητοποίησης. Ειδικότερα, παρακολουθεί και συμμετέχει στη διαμόρφωση της Ευρωπαϊκής Πολιτικής για τα θέματα της ενέργειας, ενώ παράλληλα καταρτίζει και εφαρμόζει προγράμματα για εξοικονόμηση ενέργειας, για προώθηση της χρήσης ΑΠΕ και για ανάπτυξη τεχνολογιών για την εκμετάλλευσή τους, θέτοντας ιδιαίτερα φιλόδοξες ενεργειακές και κλιματικές στοχεύσεις, οι οποίες περιγράφονται και στο << Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα >> (ΕΣΕΚ). Πιο συγκεκριμένα, το ΕΣΕΚ αποτελεί για την Ελληνική Κυβέρνηση ένα Στρατηγικό Σχέδιο για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας και παρουσιάζεται σε αυτό ένας αναλυτικός οδικός χάρτης για την επίτευξη συγκριμένων Ενεργειακών και Κλιματικών Στόχων έως το έτος 2030.

Πιο συγκεκριμένα :

Αρχικά, θέτει σημαντικά υψηλότερο κεντρικό στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με μείωση που ξεπερνά το 42% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους 1990 και το 56% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους 2005, επιτυγχάνοντας να ξεπεράσει ακόμη και τους κεντρικούς ευρωπαϊκούς στόχους, ενώ αξίζει να επισημανθεί ότι στο αρχικό σχέδιο ΕΣΕΚ οι στόχοι αυτοί ήταν σημαντικά χαμηλότεροι και κατέληγαν σε μείωση κατά 33% και 49% αντίστοιχα. Οι νέοι αυτοί στόχοι μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι επίσης απαραίτητοι για να γίνει δυνατή η μετάβαση σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας έως το έτος 2050, καθώς η Ελληνική Κυβέρνηση έχει ως στόχο να συμμετέχει αναλογικά στη δέσμευση για μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία σε επίπεδο ΕΕ.

Επιπλέον, όσον αφορά τις ΑΠΕ, θέτει σημαντικά υψηλότερο στόχο σε σχέση με το μερίδιο συμμετοχής στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, αφού τίθεται πλέον στόχος για μερίδιο συμμετοχής κατ' ελάχιστον στο 35%, αντί του 31% που είχε τεθεί στο αρχικό σχέδιο ΕΣΕΚ, και επίσης σημαντικά υψηλότερο και από τον κεντρικό Ευρωπαϊκό στόχο για τις ΑΠΕ που είναι στο 32%.

Τέλος, για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, θέτει σημαντικά πιο φιλόδοξο στόχο, τόσο σε σύγκριση με το αρχικό σχέδιο ΕΣΕΚ όσο και σε σύγκριση με τον αντίστοιχο Ευρωπαϊκό στόχο. Ειδικότερα, τίθεται ως ποσοτικός στόχος η τελική κατανάλωση ενέργειας το έτος 2030 να είναι χαμηλότερη από αυτή που είχε καταγραφεί κατά το έτος 2017, εκπληρώνοντας απόλυτα τον σχετικό Ευρωπαϊκό δείκτη για το μέτρο της φιλοδοξίας του ΕΣΕΚ.

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι απαιτείται ριζικός μετασχηματισμός του εθνικού ενεργειακού συστήματος και του ήδη υπάρχοντος παραγωγικού μοντέλου. Στο πλαίσιο αυτό καθίσταται αναγκαία η μοντελοποίηση του εθνικού ενεργειακού συστήματος με γνώμονα την ποσοτικοποίηση των μέτρων αυτών και την κατάλληλη προσαρμογή της εθνικής παραγωγής στα νέα δεδομένα. Σημαντικός εξωγενής παράγοντας των ενεργειακών μοντέλων αποτελεί η εξέλιξη της ενεργειακής ζήτησης, βάση της οποίας σχεδιάζονται ενεργειακές και κλιματικές πολιτικές.

## **1.2 Σκοπός της διπλωματικής**

Σκοπός, λοιπόν, της παρούσας διπλωματικής είναι η μοντελοποίηση της συνολικής ενεργειακής ζήτησης ώστε να γίνει προσαρμογή της εθνικής παραγωγής στα νέα δεδομένα. Η ανάλυση θα πραγματοποιηθεί, ταξινομώντας την ζήτηση με βάση τις ενεργειακές πηγές και τους επιμέρους τομείς παροχής και κατανάλωσης ενέργειας. Σε αυτό το σημείο αξίζει, λοιπόν, να τονίσουμε την σημασία της ενέργειας και ειδικότερα της πρόβλεψης της ενεργειακής ζήτησης.

Η ενέργεια αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την οικονομική ευημερία και την ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου της κοινωνίας. Συνεπώς, η μελέτη της ενεργειακής ζήτησης έχει αποτελέσει ένα σημαντικό θέμα έρευνας στις πρόσφατες δεκαετίες. Ειδικότερα, σύμφωνα με τις οικονομικές θεωρίες, η ενέργεια είναι ένας από τους σημαντικότερους πόρους για τη βιομηχανική παραγωγή και η πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας είναι ένα σημαντικό βήμα στον προγραμματισμό των τομέων της βιομηχανίας και της ενέργειας. Ο μακροπρόθεσμος προγραμματισμός της ενεργειακής προσφοράς και ζήτησης πρέπει να ικανοποιεί τους στόχους που έχει θέσει κάθε χώρα όσον αφορά την αειφόρο ανάπτυξη. Οι ακριβείς προβλέψεις μπορούν να συντελέσουν, ώστε οι κυβερνήσεις, γνωρίζοντας τον όγκο και την τάση της μελλοντικής κατανάλωσης ενέργειας, να λαμβάνουν αποφάσεις για καλύτερο



προγραμματισμό παραγωγής και καλύτερη οργάνωση του συστήματος διανομής. Συνεπώς, για την εγκατάσταση και λειτουργία νέων σταθμών παραγωγής ενέργειας και μονάδων ΑΠΕ είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η ενεργειακή ζήτηση.

Ακόμα, η παγκόσμια εξάρτηση από την ενέργεια αυξάνεται μέρα με τη μέρα, και παρατηρείται σε πολλές, αν όχι σε όλες, πτυχές της ανθρώπινης ζωής, ως επακόλουθο της αύξησης του πληθυσμού, αλλά και της βιομηχανικής και οικονομικής ανάπτυξης πολλών χωρών. Δεδομένης της αύξησης της ενεργειακής ζήτησης αλλά και της αδυναμίας αποθήκευσης ορισμένων μορφών ενέργειας, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, είναι πολύ σημαντικό να επιτυγχάνεται η διανομή της ενέργειας με το μικρότερο δυνατό κόστος και τις μικρότερες δυνατές απώλειες. Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός διανομής ενέργειας χρειάζεται ακριβείς προβλέψεις για τη μελλοντική κατανάλωση για να επιτευχθεί η ισορροπία μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης της ενέργειας. Σφάλματα σε προβλέψεις οδηγούν σε μη ισορροπημένη προσφορά και ζήτηση, η οποία επηρεάζει αρνητικά το λειτουργικό κόστος, την ασφάλεια του δικτύου και ποιότητα των υπηρεσιών του δικτύου τροφοδοσίας. Η υποτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να οδηγήσει σε διακοπές ρεύματος, οι οποίες μπορεί να είναι επιβλαβείς τόσο για την οικονομία όσο και την εύρυθμη λειτουργία της κοινωνίας. Από την άλλη πλευρά, η υπερεκτίμηση της ζήτησης ενέργειας μπορεί να οδηγήσει στη παραγωγή ενέργειας που δεν χρησιμοποιείται αλλά ούτε αποθηκεύεται, σπαταλώντας με αυτό τον τρόπο ενεργειακούς και οικονομικούς πόρους.

Διαπιστώνεται, λοιπόν, ότι η διαχείριση της ζήτησης της ενέργειας γίνεται όλο και πιο ζωτική τις τελευταίες δεκαετίες καθώς οι πόροι μειώνονται, οι εκπομπές καυσαερίων αυξάνονται και οι εξελίξεις στην εφαρμογή ανανεώσιμων και καθαρών ενεργειών δεν έχουν εφαρμοστεί παγκοσμίως. Η πρόβλεψη ζήτησης διαδραματίζει βασικό ρόλο στη διαχείριση τόσο της προσφοράς όσο και της ζήτησης ενέργειας για τις κυβερνήσεις αλλά και για τις ιδιωτικές εταιρείες. Επομένως, η ανάπτυξη μοντέλων για την ακριβή πρόβλεψη των μελλοντικών τάσεων κατανάλωσης ενέργειας είναι μείζονος σημασίας για τα συστήματα διανομής και την παραγωγή ενέργειας. Έχει δημιουργηθεί, έτσι, η ανάγκη να μελετηθεί το πώς επηρεάζεται η ενεργειακή ζήτηση από διάφορες εξωγενείς μεταβλητές και έπειτα να αναπτυχθεί ένα μοντέλο πρόβλεψης της ενεργειακής ζήτησης για τα επόμενα χρόνια.

### 1.3 Δομή της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια, ως εξής :

- Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα της διπλωματικής εργασίας, διαπιστώνεται η σημασία της ενεργειακής ζήτησης καθώς και η αναγκαιότητα της πρόβλεψης της και παρουσιάζονται οι βασικές ενεργειακές πηγές και η ταξινόμηση τους, σύμφωνα με τις οποίες θα παραχθούν οι τελικές προβλέψεις.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο της διπλωματικής, και εφόσον έχει γίνει ήδη αντιληπτή η σημασία της πρόβλεψης της ενεργειακής ζήτησης, πραγματοποιείται μια συνοπτική αναφορά στις γενικότερες τεχνικές προβλέψεων, δίνοντας έμφαση στην τεχνική της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που χρησιμοποιείται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται επίσης τα στατιστικά σφάλματα που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των μεθόδων πρόβλεψης και αναλύονται οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή τού μέσου τετραγωνικού σφάλματος ως μέτρο ακρίβειας της πρόβλεψης. Έπειτα, ακολουθεί μια παρουσίαση σχετικών ερευνών με απώτερο σκοπό την ανάδειξη των τεχνικών πρόβλεψης, αλλά και των διαφορετικών εξωγενών μεταβλητών που εισάγονται ως εισοδοί στο εκάστοτε μοντέλο πρόβλεψης.
- Προχωρώντας, στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται η τεχνική πρόβλεψης και οι μεταβλητές εισόδου που επιλέχθηκαν αρχικά. Ακόμα δίνεται έμφαση στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, καθώς και στην επεξεργασία των δεδομένων ώστε να προκύψει το τελικό μοντέλο και να παραχθούν οι προβλέψεις της ενεργειακής ζήτησης μέχρι και το έτος 2039.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας υπολογίζονται οι μελλοντικές τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών που αποτελούν εισοδο του βέλτιστου μοντέλου πρόβλεψης και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που παρήγαγε το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.
- Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται σύγκριση των προβλέψεων της γραμμικής παλινδρόμησης με τις αντίστοιχες προβλέψεις άλλων τεχνικών αλλά και με εκείνες της ελληνικής κυβέρνησης στα πλαίσια του «ΕΣΕΚ». Στη συνέχεια, καταγράφονται ορισμένα συμπεράσματα και παρατηρήσεις, ενώ παράλληλα προτείνονται κάποιες προεκτάσεις, η μελέτη των οποίων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

#### 1.4 Βασικές ενεργειακές πηγές και η ταξινόμηση τους

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής, δεδομένου της σημαντικότητας της ενεργειακής ζήτησης όπως αυτή επισημάνθηκε παραπάνω θα αναπτυχθεί μοντέλο για την πρόβλεψη της αφού πρώτα πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση της αφενός με βάση τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα και αφετέρου με βάση τους τομείς παραγωγής και κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας προϋποθέτει την ύπαρξη μιας πηγής από την οποία αντλείται. Οι ενεργειακές πηγές ταξινομούνται σε πρωτογενείς ή δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς πηγές ενέργειας χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες, τις συμβατικές και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας :

- Πρωτογενείς πηγές ή μορφές ενέργειας είναι αυτές που συναντώνται άμεσα στη φύση και ταξινομούνται ως εξής (World Energy Balances Highlights, 2020) :
  1. Συμβατικές ή μη ανανεώσιμες πηγές που αποτελούνται από :
    - ορυκτά καύσιμα :
      - Στερεά καύσιμα π.χ. κάρβουνο
      - Υγρά καύσιμα π.χ. αργό πετρέλαιο
      - Αέρια καύσιμα π.χ. φυσικό αέριο
    - πυρηνική ενέργεια
  2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που θεωρούνται οι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας οι οποίες προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως
    - Ηλιακή
    - Αιολική
    - Υδραυλική
    - Ενέργεια από τη θάλασσα (ενέργεια από παλίρροιες, κύματα και ωκεανούς )
    - Γεωθερμία
    - Βιομάζα.
- Οι δευτερογενείς ενεργειακές μορφές είναι αυτές που λαμβάνονται από τη μετατροπή πρωτογενών πηγών, π.χ. ο ηλεκτρισμός , η βενζίνη, και η θερμότητα.

Ακολουθεί η ταξινόμηση της ενεργειακής ζήτησης με βάση το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και τους τομείς παροχής και κατανάλωσης ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα οι κατηγορίες είναι οι εξής (World Energy Balances Highlights, 2020) :

- Άνθρακας ( “coal , peat and oil shale” )
- Αργό πετρέλαιο ( “Crude , NGL , Feedstocks” )
- Πετρελαιοειδή ( “Oil products” )
- ΑΠΕ και Απόβλητα ( “Renewable and waste” )
- Ηλεκτρισμός ( “Electricity” )
- Φυσικό αέριο ( “Natural gas” )
- Θερμότητα ( “Heat” )
- Πυρηνικά ( “Nuclear” )

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το πως διανέμεται η ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας για την περίπτωση της Ελλάδας. Παρακάτω παρουσιάζεται διαγραμματικά η ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας όπως προκύπτει από τον ΕΣΕΚ για τα έτη 2006 ως 2017:



Σχήμα 1 : Εξέλιξη των μεριδίων καυσίμων στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας για την περίοδο 2006-2017 ( ΕΣΕΚ)

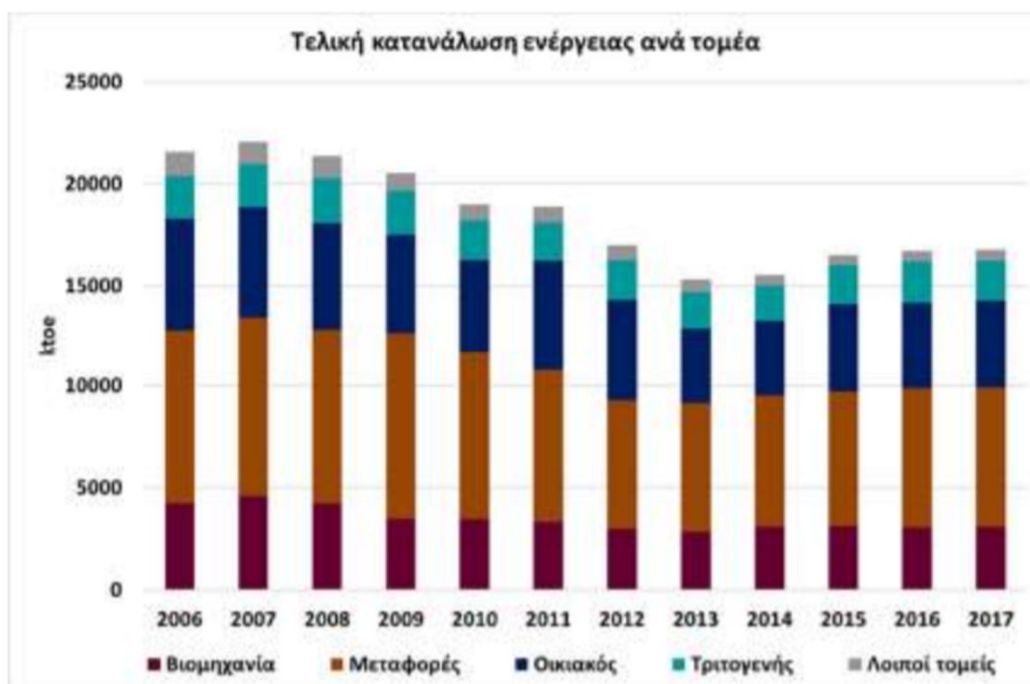
Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι η το μεγαλύτερο ποσοστό της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας αντιστοιχεί σε ενέργεια που παράχθηκε είτε από στερεά καύσιμα είτε από πετρελαιοειδή.

Σε κάθε καύσιμο στο ενεργειακό ισοζύγιο αντιστοιχούν οι παρακάτω μεταβλητές :

- *Παραγωγή (“production”)* : Συμβολίζει την παραγόμενη ενέργεια
- *Εισαγωγές (“Imports”)* : Προς εκμετάλλευση ενέργεια λόγω της εισαγωγής καυσίμων
- *Εξαγωγές (“Exports”)* : Μη εκμεταλλεύσιμη ενέργεια που προέρχεται από την εξαγωγή καυσίμων
- *Συνολική παροχή Ενέργειας (“Total final supply”)* : Προκύπτει αν στην παραγωγή προστεθούν οι εισαγωγές και αφαιρεθούν οι εξαγωγές . Συμβολίζει ουσιαστικά την διαθέσιμη προς εκμετάλλευση ενέργεια
- *Θερμικοί Σταθμοί και σταθμοί συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (“Electricity, CHP, heat plants”)* : Πρόκειται για σταθμούς που επεξεργάζονται ορυκτά καύσιμα με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.
- *Διυλιστήρια πετρελαίου (“Oil refineries”)* : Πρόκειται για εγκαταστάσεις βιομηχανικής επεξεργασίας αργού πετρελαίου με σκοπό τον διύλιση του ώστε να προκύψουν διαφορά παράγωγά του , όπως η βενζίνη.
- *Βιομηχανία (“Industry”)* : Πρόκειται για την κατανάλωση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα.
- *Μεταφορές (“Transport”)* : Πρόκειται για την κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών.
- *Οικιακός (“Residential”)* : Πρόκειται για την κατανάλωση ενέργειας των νοικοκυριών.
- *Τριτογενής τομέας (“Commercial and Public services”)* : Πρόκειται για την κατανάλωση ενέργειας στον τομέα που σχετίζεται με το εμπόριο και με διάφορες υπηρεσίες, όπως τραπεζικές και υπηρεσίες υγείας.
- *Υπόλοιπες Καταναλώσεις (“Other final consumption”)* : Πρόκειται για την κατανάλωση ενέργειας σε άλλους τομείς, όπως ο αγροτικός και ο τομέας της αλιείας.

- *Συνολική κατανάλωση (“Total final consumption”)* : Πρόκειται για το άθροισμα της κατανάλωσης ενέργειας στη βιομηχανία, στις μεταφορές, στα νοικοκυριά, στις υπηρεσίες και τους υπόλοιπους τομείς.

Παρακάτω παρουσιάζεται διαγραμματικά η τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα τελικής χρήσης όπως προκύπτει από τον ΕΣΕΚ για τα έτη 2006 ως 2017:



Σχήμα 2 : Εξέλιξη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα τελικής χρήσης για την περίοδο 2006- 2017 (ΕΣΕΚ)

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι η το μεγαλύτερο μερίδιο της τελικής κατανάλωσης ενέργειας αντιστοιχεί στον τομέα των μεταφορών και έπειτα ακολουθεί ο οικιακός και βιομηχανικός τομέας.

## Κεφάλαιο 2 : Τεχνικές προβλέψεων

### 2.1 Η σημασία της πρόβλεψης

Χωρίς αμφιβολία, οι προβλέψεις διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο σε όλες τις εκφάνσεις της ζωής και αποτελούν σημαντικό κομμάτι της έρευνας. Το ενδιαφέρον αυτό προκύπτει από την ανάγκη λήψης αποφάσεων που αφορούν το μέλλον, αντιμετωπίζοντας με αυτό τον τρόπο τον παράγοντα της αβεβαιότητας. Τα κριτήρια με τα οποία θα παρθούν οι αποφάσεις σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με δεδομένα του παρελθόντος και του παρόντος. Έτσι, δημιουργείται η ανάγκη ανάπτυξης μοντέλων που θα προσαρμόζονται σε ένα σύνολο δεδομένων με σκοπό την παραγωγή προβλέψεων με το μικρότερο δυνατό σφάλμα .

Βασικά εργαλεία για τις προβλέψεις που θα βοηθήσουν στην λήψη αποφάσεων, αποτελούν τα διάφορα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται και μπορούν να θεωρηθούν ως μία από τις πλέον σύγχρονες μεθόδους στατιστικών προσεγγίσεων. Το μοντέλο που επιλέχθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής είναι η γραμμική παλινδρόμηση και συγκεκριμένα η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση και οι λόγοι θα αναλυθούν παρακάτω.

#### 2.1.1 Μοντέλα Παλινδρόμησης

Η ανάλυση της παλινδρόμησης αποσκοπεί στην εύρεση συσχετίσεων μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Η πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής είναι μια μαθηματική συνάρτηση των ανεξάρτητων μεταβλητών και ονομάζεται εξίσωση της παλινδρόμησης. Αν και η παλινδρόμηση χρησιμοποιείται συχνά σε θέματα πρόβλεψης, ο πρωταρχικός σκοπός της είναι η ανάλυση των σχέσεων μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών. Αρκετά διαδεδομένο μοντέλο παλινδρόμησης είναι η γραμμική παλινδρόμηση που χωρίζεται σε απλή και πολλαπλή (Ασημακόπουλος, 2018).

#### Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Η συγκεκριμένη μέθοδος, υποθέτει ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ της μεταβλητής πρόβλεψης ( εξαρτημένη μεταβλητή ) και της ανεξάρτητης μεταβλητής . Ειδικότερα αν  $X$  η ανεξάρτητη μεταβλητή και  $Y$  η μεταβλητή για την οποία παράγονται οι προβλέψεις τότε :

$$\hat{Y}_i = a + b \cdot X_i \quad (1)$$

όπου :

- $\hat{Y}_i$  οι προβλέψεις για την μεταβλητή  $Y$

- $a$  η τεταγμένη του σημείου τομής της ευθείας με τον άξονα των εξαρτημένων μεταβλητών
- $b$  η κλίση της ευθείας

Οι παράμετροι  $a$  ,  $b$  υπολογίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το άθροισμα :

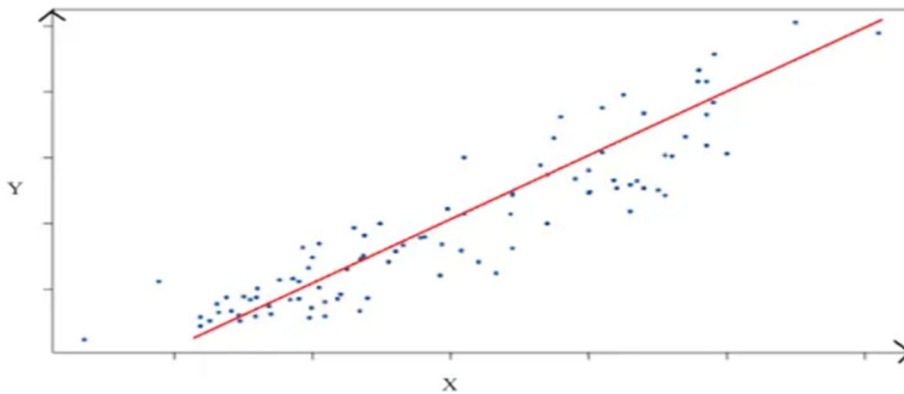
$$\sum_1^n e_i^2 = \sum_1^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (2)$$

Η μέθοδος αυτή ονομάζεται και μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων .

Οι γενικοί τύποι σύμφωνα με τους οποίους προκύπτουν τα  $a, b$  είναι οι παρακάτω :

$$b = \frac{\frac{\sum X_i Y_i}{n} - \bar{X} \bar{Y}}{\frac{\sum X_i^2}{n} - \bar{X}^2} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (4)$$



Σχήμα 3 : Διάγραμμα Διασποράς

Στο παραπάνω διάγραμμα αποτυπώνεται η ευθεία  $\hat{Y}_i = a + b \cdot X_i$  μέσω της οποίας παράγονται οι προβλέψεις της μεταβλητής  $Y$ , ενώ οι κουκίδες αναπαριστούν τις πραγματικές τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής. Μέσω του διαγράμματος διασποράς διαπιστώνεται κατά πόσο υπάρχει εξάρτηση μεταξύ των δυο μεγεθών  $X, Y$  και αν αυτή είναι γραμμική ή όχι.

Για να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της Απλής Γραμμικής Παλινδρόμησης, πρέπει να υπάρχει εξάρτηση της ανεξάρτητης μεταβλητής από τη τιμή ή τη



μεταβολή κάποιας άλλης. Για να ελέγξουμε αν αυτό συμβαίνει, χρησιμοποιούμε τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης  $r_{XY}$  που αποτελεί έναν δείκτη του βαθμού που συσχετίζονται δύο μεταβλητές μεταξύ τους και για δύο μεταβλητές  $X, Y$  προκύπτει ως εξής:

$$Cov_{XY} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n} \quad (5)$$

$$Cov_{XX} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n} = \text{Var } X \quad (6)$$

$$Cov_{YY} = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}{n} = \text{Var } Y \quad (7)$$

$$r_{XY} = \frac{Cov \, XY}{\sqrt{Cov \, YY \, Cov \, XX}} \quad (8)$$

Προκύπτει ότι ο συντελεστής  $r_{XY}$  λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $[-1, 1]$ . Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης ερμηνεύεται με δύο τρόπους:

1. Μας δείχνει την κατεύθυνση της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών, δηλαδή αν όταν οι τιμές της μίας αυξάνονται, οι τιμές της άλλης μειώνονται οι αυξάνονται. Επίσης, μπορεί να μας δείξει ότι η μεταβολές της μίας είναι ανεξάρτητες από τις άλλης.
2. Μας δείχνει τον βαθμό συσχέτισης και συνεπώς τη δυνατότητα της γραμμής παλινδρόμησης να εκφράσει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Όσο το  $r_{XY}$  πλησιάζει κατά απόλυτη τιμή τη μονάδα τόσο μικρότερη είναι η απόκλιση των πραγματικών τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής από αυτές του μοντέλου.

Η μέθοδος των ελάχιστων τετραγώνων χρησιμοποιείται ως μοντέλο πρόβλεψης χρονοσειρών, απλά θέτοντας ως ανεξάρτητη μεταβλητή το χρόνο. Η γραμμή προκύπτει όπως περιγράψαμε προηγουμένως από τα ιστορικά δεδομένα, και προεκτείνοντας τη στο χρόνο λαμβάνουμε τις τιμές τις πρόβλεψης για τις χρονικές στιγμές που μας ενδιαφέρουν.

### Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Υπάρχουν περιπτώσεις που απαιτούνται περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές, τότε χρησιμοποιείται η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης, η οποία έχει την εξής μορφή:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_k \cdot X_k + e \quad (9)$$

Αντίστοιχα με την προηγούμενη περίπτωση, πρέπει να ελαχιστοποιηθεί το τετραγωνικό σφάλμα. Για να βρούμε τις τιμές των συντελεστών, προσδιορίζουμε τις τιμές των μερικών παραγώγων της συνάρτησης του σφάλματος για κάθε συντελεστή. Κατόπιν λύνουμε το γραμμικό σύστημα που προκύπτει αν θέσουμε τη κάθε μερική παράγωγο ίση με το μηδέν.

### 2.1.2 Άλλες γνωστές τεχνικές προβλέψεων

Υπάρχουν πολλοί μέθοδοι για την παραγωγή προβλέψεων . Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένες γνωστές τεχνικές προβλέψεων (Ασημακόπουλος, 2018) :

- Μέθοδος Naïve

Η Μέθοδος Naïve αποτελεί την πιο απλή στατιστική μέθοδο. Χρησιμοποιείται κυρίως ως σημείο αναφοράς (“benchmark”) για τις πιο πολύπλοκες μεθόδους και λιγότερο ως μέθοδος παραγωγής τελικής πρόβλεψης, καθώς οι προβλέψεις που παράγονται από αυτή δεν είναι ακριβείς. Η πρόβλεψη που προκύπτει από τη μέθοδο Naïve για μία χρονική στιγμή  $t$  ισούται με την πραγματική παρατήρηση της προηγούμενης χρονικής περιόδου ( $t-1$ ).

$$\text{Δηλαδή: } F(t) = Y(t + 1) \quad (10)$$

- Μέθοδοι Μέσου όρου ( απλού και κινητού )

Μεθοδολογίες που εμπεριέχουν υπολογισμούς του μέσου όρου τμημάτων χρονοσειρών μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο στην εξομάλυνση τους αλλά και στην παραγωγή προβλέψεων.

1. Απλός κινητός μέσος όρος

Η πρόβλεψη χρονοσειρών με την μέθοδο του απλού κινητού μέσου όρου βασίζεται σε ένα σύνολο παρατηρήσεων του δείγματος, το μέγεθος του οποίου καθορίζεται στην αρχή της πρόβλεψης. Ο μέσος όρος των παρατηρήσεων θα χρησιμοποιηθεί ως πρόβλεψη για την επόμενη χρονική στιγμή  $t+1$ . Η μέθοδος περιγράφεται μέσω της παρακάτω σχέσης.

$$F(t + 1) = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t Y(i) \quad (11)$$

2. Κινητός μέσος όρος

Έστω ότι η χρονοσειρά αποτελείται από  $n$  δεδομένα και ότι θα χρησιμοποιηθούν  $k$  παρατηρήσεις για τον υπολογισμό κάθε μέσου όρου, ο οποίος ονομάζεται κινητός μέσος όρος μήκους  $k$ . Ο υπολογισμός της πρόβλεψης περιγράφεται μέσω της παρακάτω σχέσης.

$$F(t + 1) = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^t Y(i) \quad (12)$$

- Μέθοδοι Εκθετικής Εξομάλυνσης

Η Εκθετική Εξομάλυνση είναι μία μέθοδος πρόβλεψης η οποία προεκτείνει στοιχεία του προτύπου των ιστορικών δεδομένων, όπως τάσεις και εποχιακούς κύκλους, στο μέλλον. Οι προβλέψεις υπολογίζονται μετά από εξομάλυνση των δεδομένων, προκειμένου να απομονωθούν τα πραγματικά πρότυπα από τις καθαρά τυχαίες διακυμάνσεις. Οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης έχουν ως βασική αρχή το γεγονός ότι, όσο πιο πρόσφατα είναι τα δεδομένα, τόσο περισσότερη πληροφορία εμπεριέχουν.

Για το λόγο αυτό μεγαλύτερη βαρύτητα αποδίδεται στα πρόσφατα δεδομένα και φθίνει εκθετικά καθώς αναφερόμαστε σε δεδομένα που αντιστοιχούν σε παλαιότερες χρονικές περιόδους. Οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις βραχυπρόθεσμου σχεδιασμού. Τα μοντέλα εκθετικής εξομάλυνσης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη γενική μορφή της γραφικής παράστασης των ιστορικών δεδομένων με οριζόντιο άξονα τον χρόνο.

1. Απλή Εκθετική Εξομάλυνση (“Simple Exponential Smoothing”)

Το μοντέλο σταθερού επιπέδου, που αναφέρεται επίσης και ως απλή εκθετική εξομάλυνση, περιγράφεται από τις εξής εξισώσεις:

$$e_t = y_t - F_t \quad (13)$$

$$S_t = S_{t-1} + a \cdot e_t \quad (14)$$

$$F_{t+1} = S_t \quad (15)$$

Όπου  $e$  δηλώνει το σφάλμα,  $S$  δηλώνει το επίπεδο,  $F$  την πρόβλεψη και  $t$  τη χρονική περίοδο. Η παράμετρος  $a$  αποτελεί το συντελεστή εξομάλυνσης της μεθόδου και μπορεί να λάβει τιμές στο διάστημα  $[0,1]$ .

Είναι αναγκαίο, λόγω της αναδρομικότητας του μοντέλου, να οριστεί ένα αρχικό επίπεδο ( $S_0$ ) προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία υπολογισμού του μοντέλου πρόβλεψης αρχικά και των ζητούμενων σημειακών προβλέψεων δεδομένου χρονικού ορίζοντα. Ως αρχικό επίπεδο συνήθως χρησιμοποιείται:

- ❖ Ο Μέσος όρος όλων των παρατηρήσεων
- ❖ Ο Μέσος όρος των  $n$  πρώτων παρατηρήσεων
- ❖ Η πρώτη παρατήρηση
- ❖ Το σταθερό επίπεδο από το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης

## 2. Μοντέλο Γραμμικής Τάσης (“Holt Exponential Smoothing”)

Το μοντέλο εξομάλυνσης για γραμμική τάση είναι μια επέκταση της απλής εκθετικής εξομάλυνσης η οποία μπορεί επιπρόσθετα να διαχειριστεί τη συνιστώσα της τάσης η οποία συχνά παρατηρείται στα επιχειρησιακά δεδομένα. Η επέκταση αυτή προτάθηκε από τον Holt το 1957 και για το λόγο αυτό η μέθοδος διατηρεί μέχρι σήμερα το όνομά του. Το μοντέλο εξομάλυνσης γραμμικής τάσης περιγράφεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (16)$$

$$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + a \cdot e_t \quad (17)$$

$$T_t = T_{t-1} + a \cdot b \cdot e_t \quad (18)$$

$$F_{t+m} = S_t + m \cdot T_t \quad (19)$$

Όπου  $e$  δηλώνει το σφάλμα,  $S$  το επίπεδο,  $T$  την τάση,  $F$  την πρόβλεψη,  $t$  την χρονική περίοδο και  $m$  το χρονικό ορίζοντα της πρόβλεψης. Η παράμετρος  $a$  αποτελεί το συντελεστή εξομάλυνσης για το επίπεδο, ενώ η παράμετρος  $b$  είναι ο συντελεστής εξομάλυνσης της τάσης. Και οι δύο τιμές λαμβάνουν τιμές στο διάστημα  $[0,1]$ . Όπως και στην απλή εκθετική εξομάλυνση είναι αναγκαίο να οριστεί ένα αρχικό επίπεδο ( $S_0$ ) και μία αρχική τάση ( $T_0$ ), προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία υπολογισμού του μοντέλου πρόβλεψης αρχικά και των ζητούμενων σημειακών προβλέψεων δεδομένου χρονικού ορίζοντα, εν συνεχεία. Το αρχικό επίπεδο υπολογίζεται όπως και στην απλή εκθετική εξομάλυνση.

Ως αρχική τάση, συνήθως χρησιμοποιείται:

- ❖ Διαφορά δεύτερης και πρώτης παρατήρησης
- ❖ Διαφορά  $n$ -στης και πρώτης παρατήρησης διαιρεμένης με  $n-1$
- ❖ Η σταθερά της κλίσης από το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης

Απαιτείται προσεκτική επιλογή τόσο του αρχικού επιπέδου όσο και της αρχικής τάσης, καθώς οι τιμές αυτές επηρεάζουν το μοντέλο πρόβλεψης και κατ' επέκταση τις σημειακές προβλέψεις. Η τελική επιλογή συνήθως γίνεται σύμφωνα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των διαθέσιμων ιστορικών δεδομένων που θέλουμε να εφαρμόσουμε στο εκάστοτε μοντέλο. Στην περίπτωση μαζικής πρόβλεψης σε μεγάλο πλήθος χρονοσειρών συνίσταται η εφαρμογή γραμμικής παλινδρόμησης με ανεξάρτητη μεταβλητή το χρόνο.

### 3. Μοντέλο Μη Γραμμικής Τάσης (“Damped Exponential Smoothing”)

Το μοντέλο μη γραμμικής τάσης εισάχθηκε από τους Gardner και McKenzie το 1985, αφότου είχε παρατηρηθεί ότι το μοντέλο γραμμικής τάσης πολλές φορές παρουσίαζε θετική προκατάληψη, ειδικά όταν εφαρμοζόταν με στόχο μεσοπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες προβλέψεις. Το μοντέλο περιγράφεται από τις εξής σχέσεις:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (20)$$

$$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + a \cdot e_t \quad (21)$$

$$T_t = T_{t-1} + a \cdot b \cdot e_t \quad (22)$$

$$F_{t+m} = S_t + \sum_{i=1}^m \varphi^i \cdot T_t \quad (23)$$

Παρατηρούμε ότι η αλλαγή σε σχέση με το μοντέλο γραμμικής τάσης (Holt) εντοπίζεται στη τελευταία εξίσωση που, αντί να πολλαπλασιάζεται η τελευταία τάση που εντοπίσαμε με τη χρονική διαφορά σε περιόδους της τιμής προς πρόβλεψη από την τελευταία τιμή των δεδομένων μας, έχουμε την τελευταία τάση να πολλαπλασιάζεται με το άθροισμα των στοιχείων γεωμετρικής προόδου με λόγο ίσο με  $\varphi$  και μήκος  $m$ . Η παράμετρος  $\varphi$ , που ονομάζεται παράμετρος διόρθωσης τάσης, καθορίζει το μοντέλο ως εξής:

- Για  $\phi = 0$ , το μοντέλο ταυτίζεται με αυτό της απλής εκθετικής εξομάλυνσης
- Για  $0 < \phi < 1$ , το μοντέλο χαρακτηρίζεται από φθίνουσα τάση
- Για  $\phi = 1$ , το μοντέλο ταυτίζεται με το μοντέλο γραμμικής τάσης
- Για  $\phi > 1$ , το μοντέλο περιγράφει εκθετική εξομάλυνση με εκθετική τάση

Το αρχικό επίπεδο και η αρχική τάση ορίζεται όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις

- Μέθοδος Theta

Η μέθοδος Theta (Assimakopoulos & Nikolopoulos, 2000) είναι μια μονοδιάστατη μέθοδος πρόβλεψης που εισάχθηκε το 2000 και βασίζεται στη μεταβολή των τοπικών καμπυλοτήτων μιας χρονοσειράς μέσα από την παράμετρο  $\theta$ , η οποία εφαρμόζεται πολλαπλασιαστικά στις διαφορές δεύτερης τάξης των δεδομένων. Κατά το μοντέλο, η χρονοσειρά αναλύεται σε δύο ή περισσότερες χρονοσειρές ή αλλιώς γραμμές Theta. Κάθε μία από τις προκύπτουσες σειρές προβλέπεται ξεχωριστά, είτε με το ίδιο είτε με διαφορετικό μοντέλο πρόβλεψης, και η τελική πρόβλεψη αποτελεί τον συνδυασμό των επιμέρους προβλέψεων.

- Μοντέλα ARIMA

Τα μοντέλα ARIMA (“autoregressive integrated moving averages”) αποτελούν ακόμη μια δημοφιλή προσέγγιση στην πρόβλεψη χρονοσειρών, ίσως τη δημοφιλέστερη μαζί με την εκθετική εξομάλυνση. Τα ολοκληρωμένα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινητού μέσου όρου είναι στοχαστικά μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν, αναλύουν και προβλέπουν τη διαχρονική εξέλιξη κάποιου φυσικού μεγέθους που εξαρτάται από μη ντετερμινιστικούς παράγοντες. Για να εφαρμοστούν σε μια χρονοσειρά, πρέπει εκείνη να είναι στάσιμη και διακριτή.

Τα μοντέλα ARIMA δύνανται να εκφραστούν σαν ένας γραμμικός συνδυασμός του τυχαίου παράγοντα (τυχαίο σφάλμα ή σφάλμα πρόβλεψης), των τιμών του μεγέθους σε προηγούμενες χρονικές στιγμές και κάποιων άλλων στοχαστικών παραγόντων. Βέβαια σε πραγματικά δεδομένα είναι ιδιαίτερα δύσκολο να εντοπιστούν αυτοί οι τρεις παράγοντες, αλλά μπορούν να προσεγγιστούν αποτελεσματικά. Για μια τυχαία χρονοσειρά, τα μοντέλα ARIMA

βασίζονται στην παραδοχή της αλληλεξάρτησης μεταξύ των τιμών που λαμβάνει η χρονοσειρά για τις διάφορες χρονικές στιγμές.

Εξάλλου, η πλειοψηφία των φυσικών μεγεθών δε δίνει τη δυνατότητα πλήρους επίγνωσης των παραγόντων που επηρεάζουν την εξέλιξη τους στο χρόνο, οπότε είναι ιδιαίτερα δύσκολη η περιγραφή τους με ένα ντετερμινιστικό μοντέλο. Από την άλλη μεριά, τα μη ντετερμινιστικά μοντέλα έχουν τη δυνατότητα να περιγράφουν την εξέλιξη ενός μεγέθους, υπολογίζοντας την πιθανότητα η τιμή του να βρίσκεται σε κάποιο διάστημα. Τα μοντέλα ARIMA μπορούν επίσης να μοντελοποιήσουν ένα μεγάλο εύρος εποχιακών δεδομένων.

Ένα μοντέλο ARIMA αποτελείται από ένα μοντέλο AR, ένα μοντέλο MA και ένα μοντέλο διαφορικής που εξασφαλίζει τη στασιμότητα της χρονοσειράς

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορετικές περιπτώσεις μοντέλων και τι ακριβώς περιγράφει η κάθε μία:

Πίνακας 1 : Διαφορετικές περιπτώσεις μοντέλων ARIMA (Ασημακόπουλος, 2018)

Μοντέλο	Περιγραφή
ARIMA(0,0,0) χωρίς σταθερά	Λευκός θόρυβος
ARIMA(0,1,0) χωρίς σταθερά	Τυχαίος Περίπατος
ARIMA(0,1,0) με σταθερά	Τυχαίος Περίπατος με τάση
ARIMA(0,0,q)	Αυτοπαλινδρόμηση
ARIMA(p,0,0)	Κινητοί Μέσοι Όροι

## 2.2 Στατιστική ανάλυση ακρίβειας προβλέψεων

Για την ακρίβεια των προβλέψεων είναι ανάγκη να υπολογιστεί το αντίστοιχο σφάλμα που παράγει το μοντέλο προβλέψεων. Στη παρούσα διπλωματική, η ακρίβεια των προβλέψεων ελέγχεται με βάση το κριτήριο “MSE”.

Το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (“Mean squared Error”) εκφράζει ένα μέτρο της ακρίβειας της πρόβλεψης έναντι των πραγματικών τιμών, δίνοντας όμως μεγαλύτερο βάρος στα μεγάλα σφάλματα (δεδομένου πως τα σφάλματα τετραγωνίζονται) και μικρότερο βάρος στα μικρά σφάλματα.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_1^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2 \quad (24)$$

όπου n : το σύνολο των προβλέψεων

$Y_i$  : Οι προβλέψεις του μεγέθους

$\bar{Y}_i$  : Οι πραγματικές τιμές του μεγέθους

Άλλοι τύποι σφαλμάτων μέσω των οποίων αξιολογείται η ακρίβεια ενός μοντέλου είναι :

1. Μέσο Σφάλμα (Mean Error) :

$$ME = \frac{1}{n} \sum_1^n (Y_i - \bar{Y}_i) \quad (25)$$

2. Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (Mean Absolute Error):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_1^n |Y_i - \bar{Y}_i| \quad (26)$$

3. Ρίζα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Root Mean Squared Error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad (27)$$

4. Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (“Mean Absolute Percentage Error”):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_1^n \frac{|Y_i - \bar{Y}_i|}{|\bar{Y}_i|} \quad (28)$$

Στη παρούσα διπλωματική, η ακρίβεια των προβλέψεων ελέγχεται με βάση το κριτήριο MSE.

- Ο λόγος που προτιμήθηκε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα έναντι του μέσου σφάλματος είναι γιατί στην περίπτωση του μέσου σφάλματος ελλοχεύει ο κίνδυνος ορισμένες από τις διαφορές μεταξύ των πραγματικών τιμών και των προβλέψεων να αλληλοαναιρούνται καθώς η διαφορά  $(Y_i - \bar{Y}_i)$  μπορεί να πάρει είτε θετική είτε αρνητική τιμή και κατ' επέκταση το άθροισμα  $\frac{1}{n} \sum_1^n (Y_i - \bar{Y}_i)$  ίσως προσεγγίσει το μηδέν, οδηγώντας στο λανθασμένο συμπέρασμα ότι το μοντέλο είναι ακριβές.
- Ακόμα, μεταξύ του μέσου απόλυτου σφάλματος και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος προτιμήθηκε το MSE, διότι αν θεωρήσουμε τη συνάρτηση  $F(Y_i) = \frac{1}{n} \sum_1^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2$ , όπου  $\bar{Y}_i$  η άγνωστη μεταβλητή, παρατηρείται ότι είναι παντού παραγωγίσιμη και εύκολα μπορεί να βρεθεί η ελάχιστη τιμή μέσω της παραγώγου. Όμως η συνάρτηση  $G(Y_i) = \frac{1}{n} \sum_1^n |Y_i - \bar{Y}_i|$  δεν είναι παντού παραγωγίσιμη λόγω του απολύτου.



### 2.3 Σχετικές Μελέτες

Η ζήτηση της ενέργειας, όπως έγινε σαφές και στο προηγούμενο κεφάλαιο, διαδραματίζει καίριο ρόλο στην κοινωνία, στην οικονομία αλλά και στο περιβάλλον. Έτσι η πρόβλεψή της έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας για πολλούς επιστημονικούς οργανισμούς που προσπαθούν να μελετήσουν τον τρόπο με τον οποίο συνδέεται η ενεργειακή κατανάλωση με διάφορες εξωγενείς μεταβλητές, όπως για παράδειγμα το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν. Παρακάτω θα παρουσιαστούν συνοπτικά μελέτες που αφορούν την μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης για ένα σύνολο χωρών καθώς και οι μεταβλητές οι οποίες λήφθηκαν υπόψη για την ανάπτυξη του εκάστοτε μοντέλου.

Η πρώτη μελέτη αφορά την ζήτησης ενέργειας, η οποία εκφράζεται ως συνάρτηση διαφόρων παραγόντων, όπως το εισόδημα, το κόστος καυσίμων και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Abd Aziz, A., Mustapha, N. H. N., & Ismail, R ,2013). Οι τιμές των παραμέτρων αφορούν 16 αναπτυσσόμενες χώρες για περίοδο 30 ετών. Μέσω των αποτελεσμάτων αυτής της μελέτης διαπιστώνεται ότι και οι τρεις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ενεργειακή ζήτηση.

Ακόμα, όσον αφορά την Ισπανία, μελετήθηκε η επίδραση ορισμένων παραγόντων στην ενεργειακή ζήτηση, την περίοδο 2014 ως 2017, μετά την οικονομική κρίση (Bueno, J., Romero-Jordán, D., & del Río, P ,2020). Οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν ήταν το κόστος των καυσίμων, το εισόδημα, οι ετήσιες ώρες ηλιοφάνειας, η ετήσια μέση θερμοκρασία, το ποσοστό ανεργίας και το ποσοστό μονογονεϊκών οικογενειών. Από την ανάλυση διαπιστώνεται ότι η πλέον καθοριστική μεταβλητή για την ενεργειακή ζήτηση είναι το κόστος των καυσίμων, ενώ σε μικρότερο βαθμό επηρεάζουν οι μεταβλητές που αφορούν το εισόδημα, το ποσοστό μονογονεϊκών οικογενειών, τις ώρες ηλιοφάνειας και τη μέση θερμοκρασία. Τέλος, σύμφωνα με τη συγκεκριμένη έρευνα το ποσοστό ανεργίας φαίνεται να μην επηρεάζει τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση.

Επιπρόσθετα μια ακόμα έρευνα διαπιστώνει την άμεση σύνδεση που έχει η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ισπανία με παράγοντες όπως το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, το εισόδημα και την ένταση της ενεργειακής κατανάλωσης των προηγούμενων ετών (Pérez-García, J., & Moral-Carcedo, J,2017). Παλαιότερη μελέτη που έλαβε χώρα το 2002 ανέδειξε τη άμεση σχέση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με ορισμένα μετεωρολογικά δεδομένα και συγκεκριμένα τις «βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης» ( “heating and cooling degree days” ) (Pardo, A., Meneu, V., & Valor, E, 2002).

Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και έρευνα που αφορά τη βραχυπρόθεσμή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στη Ταϊλάνδη (Charagain, K., Kittipiyakul, S., & Kulthanavit, P, 2020). Ειδικότερα, αναπτύχθηκε ένα βέλτιστο μοντέλο

πρόβλεψης χρησιμοποιώντας ως μεταβλητή εισόδου την μέση ημερήσια θερμοκρασία και διαπιστώθηκε ότι η σχέση μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας και της βραχυπρόθεσμης ζήτησης είναι γραμμική.

Συνεχίζοντας, για την περίπτωση της Κίνας, αναπτύχθηκε μοντέλο πρόβλεψης της ετήσιας ενεργειακής ζήτησης μέσω νευρωνικών δικτύων (“wavelet neural networks”) χρησιμοποιώντας ως ανεξάρτητες μεταβλητές τον πληθυσμό, το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, τις εκπομπές ρύπων και τον δείκτη ανάπτυξης της βιομηχανίας («δαβ»). Ο «δαβ» περιγράφει το ποσοστό του ΑΕΠ που οφείλεται στην ανάπτυξη της βιομηχανίας (Jiang, L., & Wang, J., 2009, October). Αργότερα, τον Νοέμβριο του 2009, κατασκευάστηκε ένα ακόμα μοντέλο πρόβλεψης (“artificial neural networks”) και μελετήθηκε η σχέση της ενεργειακής ζήτησης με ιστορικά δεδομένα που αφορούσαν την ενεργειακή κατανάλωση στο βιομηχανικό τομέα, τον πληθυσμό, τον δείκτη αστικοποίησης και το εθνικό ακαθάριστο προϊόν (Wang, J. M., & Liang, X. H, 2009, November).

Επιπρόσθετα, αναπτύχθηκαν διάφορα μοντέλα για την πρόβλεψη της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές εισόδου ιστορικά δεδομένα που αφορούν την ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας των προηγούμενων ετών (Zhou, P. A. B. W., Ang, B. W., & Poh, K. L, 2006), (Liu, H., Cai, L., & Wu, X. 2008, October). Έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2010, εκτός από ιστορικά δεδομένα που αφορούν την ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποίησε και ιστορικά δεδομένα που αφορούν την συνολική παραγωγή ενέργειας από το έτος 1980 ως και το 2006 (Pi, D., Liu, J., & Qin, X, 2010).

Επιπλέον, στο πλαίσιο της πρόβλεψης της ενεργειακής ζήτησης στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπόψη ως παραμέτρους το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, το ποσοστό ανεργίας, τις «βαθμομημέρες θέρμανσης και ψύξης» (“heating and cooling degree days”), το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, του φυσικού αερίου και του πετρελαίου, τον πληθυσμό και τον δείκτη ενεργειακής απόδοσης στη βιομηχανία (“ODEX”), αναπτύχθηκε μοντέλο παραγωγής προβλέψεων ενεργειακής ζήτησης στο οποίο διαπιστώθηκε ότι καθοριστικότερος παράγοντας για την μεταβολή της μεταβλητής πρόβλεψης είναι το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Angelopoulos, D., Psarras, J., & Siskos, Y. 2017, June).

Αξίζει να σημειωθεί ότι μία ακόμα μελέτη έλαβε μέρος το 2017 κατά την οποία εξετάστηκε η σύνδεση μεταβλητών όπως η μέση ετήσια θερμοκρασία, το ΑΕΠ και το κόστος καυσίμων στην ετήσια ζήτηση ενέργειας (Tyralis, H., Karakatsanis, G., Tzouka, K., & Mamassis, N. 2017). Μερικά χρόνια πριν, το 2010, κατασκευάστηκε μοντέλο πρόβλεψης μακροχρόνιας ενεργειακής ζήτησης στηριζόμενο σε νευρωνικά δίκτυα. Ως μεταβλητές εισόδου χρησιμοποιήθηκαν το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, η μέση ετήσια θερμοκρασία και ιστορικά δεδομένα που αφορούσαν την ετήσια κατανάλωση

ηλεκτρικής ενέργειας από το 1992 ως το 2004 (Ekonομου, L , 2010). Τέλος, μέσω έρευνας που πραγματοποιήθηκε το 2009 μελετήθηκε η συσχέτιση μεταξύ της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και της ενεργειακής ζήτησης τόσο στην Αθήνα όσο και στο Λονδίνο για τα έτη 2003 ως 2007 (Psiloglou, B. E., Giannakopoulos, C., Majithia, S., & Petrakis, M. , 2009).

Για την περίπτωση της Τουρκίας, στα πλαίσια έρευνών για την ενεργειακή ζήτηση κατασκευάστηκαν μοντέλα με μεταβλητές εισόδου: το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, τον πληθυσμό και τις συνολικές εισαγωγές και εξαγωγές ενέργειας (Toksari, M. D. 2007), (Ünlüer, A. 2008). Επιπρόσθετα το 2010, αναπτύχθηκαν μοντέλα πρόβλεψης της ετήσιας ενεργειακής ζήτησης που βασίστηκαν στα νευρωνικά δίκτυα. Οι εξωγενείς παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη ήταν το ακαθάριστο εθνικό προϊόν, το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, ο πληθυσμός, το κόστος του ηλεκτρισμού, το κόστος των πετρελαιοειδών, ο αριθμός των νοικοκυριών και η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τα έτη 1981 έως 2003 (Çunκας, M., & Altun, A. A , 2010). Αργότερα, το 2011, στα πλαίσια μιας νέας μελέτης, εκτός των μεταβλητών που είχαν ήδη χρησιμοποιηθεί, όπως το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, ο πληθυσμός και οι συνολικές εισαγωγές και εξαγωγές ενέργειας, ερευνήθηκε και η επίδραση του ετήσιου ποσοστού ανεργίας στην μεταβολή της ενεργειακής ζήτησης (Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., & Özşahin, T. Ş , 2011).

Για τη χώρα της Ιταλίας, πραγματοποιήθηκαν έρευνες μέσω των οποίων διαπιστώθηκε η επίδραση μεταβλητών που αφορούν τον καιρό στη μεσοπρόθεσμη ενεργειακή ζήτηση της χώρας (De Felice, M., Alessandri, A., & Catalano, F , 2015 ), ( De Felice, M., Alessandri, A., & Ruti, P. M ,2013). Μέσω των εργασιών διαπιστώθηκε η άμεση σχέση που συνδέει την ενεργειακή κατανάλωση με την μέση ετήσια θερμοκρασία. Νωρίτερα, το 2009, αναπτύχθηκε μοντέλο για την πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης με βάση το συνολικό αλλά και το κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, τον πληθυσμό και ιστορικά δεδομένα που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας από το 1970 ως το 2007 (V. Bianco, O. Manca, and S. Nardini, 2009).

Ακόμα, αναπτύχθηκε μοντέλο πρόβλεψης της ενεργειακής ζήτησης και για την περίπτωση της Ιορδανίας (Momani, M. A. ,2013). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που κρίθηκαν περισσότερο καθοριστικές για την ανάπτυξη του ήταν ο πληθυσμός, το κόστος καυσίμων, η μέση ημερήσια θερμοκρασία και ο δείκτης τεχνολογικής ανάπτυξης. Επιπρόσθετα, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2018 διαπιστώθηκε για μια ακόμα φορά η σύνδεση της ενεργειακής ζήτησης με οικονομικούς δείκτες όπως το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν και το κόστος του ηλεκτρισμού, αλλά και δημογραφικούς δείκτες όπως ο συνολικός πληθυσμός και το ποσοστό των κατοίκων που μετακινήθηκαν σε αστικά κέντρα («δείκτης αστικοποίησης»). Για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ως μεταβλητή και η ετήσια συνολική κατανάλωση νερού.

Τα δεδομένα αφορούν τα έτη 1986 ως 2015 (Al-Bajjali, S. K., & Shamaileh, A. Y, 2018).

Όσον αφορά την Κύπρο, κατασκευάστηκε μοντέλο παραγωγής προβλέψεων για την ενεργειακή ζήτηση χρησιμοποιώντας ως εισόδους, μεταβλητές όπως το κατά κεφαλήν εισόδημα, ο πληθυσμός, το σύνολο των τουριστών, οι βαθμομέρες θέρμανσης ή ψύξης και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (Egelioglu, F., Mohamad, A. A., & Guven, H ,2001). Επιπρόσθετα το 2007, πραγματοποιήθηκε μια νέα έρευνα στην οποία μελετήθηκαν παράγοντες όπως το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, το εισόδημα, οι «βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης», καθώς και το κόστος του ηλεκτρισμού, ώστε να κατασκευαστεί ένα βέλτιστο μοντέλο ενεργειακής ζήτησης. (Zachariadis, T., & Pashourtidou, N , 2007).

Επιπλέον, για τις Ηνωμένες Πολιτείες τις Αμερικής πραγματοποιήθηκε μελέτη κατά την οποία διαπιστώθηκε η σύνδεση της ενεργειακής ζήτησης με οικονομικούς παράγοντες, όπως το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν και το ακαθάριστο εθνικό προϊόν, αλλά και δημογραφικά χαρακτηριστικά, όπως ο πληθυσμός και κατασκευάστηκαν διαφορετικά μοντέλα πρόβλεψης. (Deka, A., Hamta, N., Esmailian, B., & Behdad, S , 2016). Άλλη μια έρευνα έλαβε μέρος το 2016 αυτή τη φορά για τη χώρα του Καναδά. Πιο συγκεκριμένα ως μεταβλητές εισόδου για το μοντέλο πρόβλεψης ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν το κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (“per capita GDP”) και το κόστος του ηλεκτρισμού για τα έτη 1990 ως 2009 (Latif, E ,2015).

Συνεχίζοντας, για την Σαουδική Αραβία αναπτύχθηκε μοντέλο πρόβλεψης ζήτησης της ενέργειας (Mikayilov, J. I., Darandary, A., Alyamani, R., Hasanov, F. J., & Alatawi, H , 2020) με βάση το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, το εισόδημα, τον πληθυσμό και τις «βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης» (“heating and cooling degree days”).

Επιπρόσθετα, στα πλαίσια της πρόβλεψης της ενεργειακής ζήτησης της Νέας Ζηλανδίας επιλέχθηκαν ως μεταβλητές εισόδου το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, το κόστος του ηλεκτρισμού και ο πληθυσμός και διαπιστώθηκε ότι και οι τρεις μεταβλητές ήταν εξίσου σημαντικές για την κατασκευή του μοντέλου (Mohamed, Z., & Bodger, P ,2005).

Ακόμα για την περίπτωση της Νοτιάς Αφρικής, πραγματοποιήθηκε μελέτη με σκοπό να ερευνηθεί η ύπαρξη σύνδεσης μεταξύ της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της οικονομική ανάπτυξης της χώρας, η οποία και διαπιστώνεται. Οι μεταβλητές εισόδου για την συγκεκριμένη μελέτη ήταν το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν και το ποσοστό ανεργίας (Odhiambo, N. M , 2009). Η σύνδεση διαπιστώνεται και από άλλη μελέτη που αφορά την Νότια Αφρική και πραγματοποιήθηκε το 2010. Στα πλαίσια της μελέτης, κατασκευάστηκε μοντέλο πρόβλεψης ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας ως

μεταβλητές εισόδου το κόστος του ηλεκτρισμού, το εισόδημα, το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν και τον πληθυσμό της χώρας (Inglesi, R., & Pouris, A, 2010).

Τέλος, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε και αφορούσε την ενεργειακή ζήτηση στη Βόρεια Κορέα μελετήθηκε η επίδραση παραγόντων όπως το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, ο πληθυσμός και οι εισαγωγές και εξαγωγές ενέργειας. Η παραγωγή των προβλέψεων πραγματοποιήθηκε μέσω νευρωνικών δικτύων (Geem, Z. W., & Roper, W. E. 2009).

Από τις έρευνες που παρουσιάστηκαν παραπάνω διαπιστώθηκε ότι οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν συχνότερα και πιθανόν διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή ζήτηση είναι εκείνες που αφορούν οικονομικά και δημογραφικά μεγέθη, καθώς και μεταβλητές που σχετίζονται με μετεωρολογικά δεδομένα. Επιπλέον σε πολλές από τις παραπάνω έρευνες χρησιμοποιήθηκαν μεταβλητές σχετιζόμενες με τις τιμές και την συνολική παροχή ενέργειας διαφόρων καυσίμων.

Ακολουθεί συνοπτικός πίνακας με τους συγγραφείς, τον τίτλο της κάθε έρευνας, τις εξωγενείς μεταβλητές που εισήχθησαν ως εισοδοί για την ανάπτυξη του εκάστοτε μοντέλου πρόβλεψης, την μέθοδο που επιλέχθηκε και τον χρονικό ορίζοντα της εκάστοτε πρόβλεψης.

Πίνακας 2 : Πίνακας ερευνών ενεργειακής ζήτησης

Τίτλος και Συγγραφείς	Επεξηγηματικές Μεταβλητές	Μέθοδος	Διάστημα πρόβλεψης
<i>Aziz, A. A., Mustapha, N. H. N., &amp; Ismail, R. (2013). Factors affecting energy demand in developing countries: A dynamic panel analysis. International Journal of Energy Economics and Policy, 3(4S), 1-6.</i>	Εισόδημα / Κόστος καυσίμων / Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα	—	—
<i>Bueno, J., Romero-Jordán, D., &amp; Del Rio, P. (2020). Analysing the drivers of electricity demand in Spain after the economic crisis. Energies, 13(20), 5336.</i>	Κόστος καυσίμων / Εισόδημα / Ετήσιες ώρες ηλιοφάνειας / Ετήσια μέση θερμοκρασία / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό μονογονεϊκών οικογενειών (Έτη 2013-2017)	Μοντέλο απλής γραμμικής παλινδρόμησης	Έτη 2013-2017

<p>Pérez-García, J., &amp; Moral-Carcedo, J. (2017). Why electricity demand is highly income-elastic in Spain: a cross-country comparison based on an index-decomposition analysis. <i>Energies</i>, 10(3), 347.</p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Εισόδημα / Ένταση ενεργειακής κατανάλωσης των προηγούμενων ετών</p>	-	-
<p>Pardo, A., Meneu, V., &amp; Valor, E. (2002). Temperature and seasonality influences on Spanish electricity load. <i>Energy Economics</i>, 24(1), 55-70.</p>	<p>«Βαθμοημέρες θέρμανσης ή ψύξης» (Heating and cooling degree days) (Έτη 1983-1999)</p>	<p>Μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης</p>	<p>1 Ιανουαρίου 1999 – 30 Απριλίου 1999</p>
<p>Chapagain, K., Kittipiyakul, S., &amp; Kulthanavit, P. (2020). Short-term electricity demand forecasting: Impact analysis of temperature for Thailand. <i>Energies</i>, 13(10), 2498.</p>	<p>Μέση ημερήσια θερμοκρασία</p>	<p>Μοντέλο απλής γραμμικής παλινδρόμησης / Νευρωνικά δίκτυα</p>	<p>Ημέρες των γιορτών για το έτος 2013</p>
<p>Jiang, L., &amp; Wang, J. (2009, October). Energy Demand Forecast in China Based on Wavelet Neural Network. In <i>2009 Second International Workshop on Computer Science and Engineering (Vol. 2, pp. 8-12)</i>. IEEE.</p>	<p>Πληθυσμός / Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Εκπομπές ρύπων / Δείκτης ανάπτυξης της βιομηχανίας (Έτη 1981-2000)</p>	<p>Νευρωνικά Δίκτυα</p>	<p>Έτη 2006-2010</p>
<p>Wang, J. M., &amp; Liang, X. H. (2009, November). The forecast of energy demand on artificial neural network. In <i>2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence (Vol. 3, pp. 31-35)</i>. IEEE.</p>	<p>Ιστορικά δεδομένα που αφορούσαν την ενεργειακή κατανάλωση στον βιομηχανικό τομέα / Πληθυσμός / Δείκτης αστικοποίησης / Ακαθάριστο εθνικό προϊόν (Έτη 1981-2000)</p>	<p>Νευρωνικά Δίκτυα</p>	<p>Έτη 2006-2010</p>

<p>Zhou, P. A. B. W., Ang, B. W., &amp; Poh, K. L. (2006). A trigonometric grey prediction approach to forecasting electricity demand. <i>Energy</i>, 31(14), 2839-2847.</p>	<p>Ιστορικά δεδομένα που αφορούν την ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας των ετών (Έτη 1981-1998)</p>	<p>Τριγωνομετρικό μοντέλο προβλέψεων GREY</p>	<p>Έτη 1999-2002</p>
<p>Liu, H., Cai, L., &amp; Wu, X. (2008, October). Grey-RBF neural network prediction model for city electricity demand forecasting. In <i>2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing</i> (pp. 1-5). IEEE</p>	<p>Ιστορικά δεδομένα που αφορούν την ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας των ετών (Έτη 1983-2002)</p>	<p>Νευρωνικά Δίκτυα</p>	<p>Έτη 2003-2006</p>
<p>Pi, D., Liu, J., &amp; Qin, X. (2010). A grey prediction approach to forecasting energy demand in China. <i>Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects</i>, 32(16), 1517-1528.</p>	<p>Ιστορικά δεδομένα που αφορούν την ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και την συνολική παραγωγή ενέργειας των ετών (Έτη 1980-1989)</p>	<p>Μοντέλο προβλέψεων GREY</p>	<p>Έτη 1990-2006</p>
<p>Angelopoulos, D., Psarras, J., &amp; Siskos, Y. (2017, June). Long-term electricity demand forecasting via ordinal regression analysis: The case of Greece. In <i>2017 IEEE Manchester PowerTech</i> (pp. 1-6). IEEE.</p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Ποσοστό ανεργίας / «Βαθμομημέρες θέρμανσης ή ψύξης» / Κόστος ηλεκτρισμού / Κόστος φυσικού αερίου / Κόστος πετρελαίου / Πληθυσμός / Δείκτης ενεργειακής απόδοσης στη βιομηχανία ( ODEX) (έτη 1999-2015)</p>	<p>Μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης</p>	<p>Έτη 2016-2025</p>

<p>Tyralis, H., Karakatsanis, G., Tzouka, K., &amp; Mamassis, N. (2017). Data and code for the exploratory data analysis of the electrical energy demand in the time domain in Greece. Data in brief, 13, 700.</p>	<p>Μέση ετήσια θερμοκρασία / ΑΕΠ / Κόστος καυσίμων (έτη 1997-2001)</p>	<p>Μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης</p>	<p>Έτη 2002-2015</p>
<p>Ekonomou, L. (2010). Greek long-term energy consumption prediction using artificial neural networks. Energy, 35(2), 512-517.</p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Μέση ετήσια θερμοκρασία/ Ιστορικά δεδομένα για την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (έτη 1992-2004)</p>	<p>Νευρωνικά Δίκτυα</p>	<p>Έτη 2005-2008 Καθώς και μεμονωμένα τα έτη 2010, 2012, 2015</p>
<p>Psiloglou, B. E., Giannakopoulos, C., Majithia, S., &amp; Petrakis, M. (2009). Factors affecting electricity demand in Athens, Greece and London, UK: A comparative assessment. Energy, 34(11), 1855-1863.</p>	<p>Μέση ημερήσια θερμοκρασία</p>	<p>—</p>	<p>—</p>
<p>Toksari, M. D. (2007). Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey. Energy policy, 35(8), 3984-3990.</p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Συνολικές εισαγωγές ενέργειας / Συνολικές εξαγωγές ενέργειας (έτη 1970-2005)</p>	<p>Αλγόριθμος ACO ("Ant Colony Optimization")</p>	<p>Έτη 2006-2025</p>
<p>Ünler, A. (2008). Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025. Energy policy, 36(6), 1937-1944.</p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Συνολικές εισαγωγές ενεργειακών καυσίμων / Συνολικές εξαγωγές ενεργειακών καυσίμων (έτη 1979-2005)</p>	<p>Στοχαστική μέθοδος PSO ( Particle Swarm Optimization )</p>	<p>Έτη 2006-2025</p>



<p><i>Çunkaş, M., &amp; Altun, A. A. (2010). Long term electricity demand forecasting in Turkey using artificial neural networks. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 5(3), 279-289.</i></p>	<p>Ακαθάριστο εθνικό προϊόν / Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Κόστος ηλεκτρισμού / Κόστος των πετρελαιοειδών/ Αριθμός των νοικοκυριών/ Ιστορικά δεδομένα για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (έτη 1981-2002)</p>	<p>Νευρωνικά Δίκτυα</p>	<p>Έτη 2003-2007</p>
<p><i>Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., &amp; Özşahin, T. Ş. (2011). Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables. Applied Energy, 88(5), 1927-1939.</i></p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Συνολικές εισαγωγές ενέργειας / Συνολικές εξαγωγές ενέργειας / Ετήσιο ποσοστό ανεργίας (Έτη 1980-2000)</p>	<p>Μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και Νευρωνικά δίκτυα</p>	<p>Έτη 2001-2008</p>
<p><i>De Felice, M., Alessandri, A., &amp; Catalano, F. (2015). Seasonal climate forecasts for medium-term electricity demand forecasting. Applied Energy, 137, 435-444.</i></p>	<p>Μέση ετήσια θερμοκρασία  (Δεδομένα των μηνών του Ιουνίου και Ιουλίου για τα έτη 1990-2007)</p>	<p>Μοντέλο απλής γραμμικής παλινδρόμησης</p>	<p>—</p>
<p><i>Bianco, V., Manca, O., &amp; Nardini, S. (2009). Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models. Energy, 34(9), 1413-1421.</i></p>	<p>Συνολικό αλλά και κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ιστορικά δεδομένα για την κατανάλωση ενέργειας (Έτη 1970-2007)</p>	<p>Μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης</p>	<p>Έτη 2010-2030</p>
<p><i>Momani, M. A. (2013). Factors affecting electricity demand in Jordan.</i></p>	<p>Πληθυσμός / Κόστος καυσίμων / Μέση ημερήσια θερμοκρασία / Δείκτης τεχνολογικής ανάπτυξης</p>	<p>—</p>	<p>—</p>

<p>Al-Bajjali, S. K., &amp; Shamayleh, A. Y. (2018). Estimating the determinants of electricity consumption in Jordan. <i>Energy</i>, 147, 1311-1320.</p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κόστος ηλεκτρισμού/ Πληθυσμός / Δείκτης αστικοποίησης (Έτη 1986-2015)</p>	<p>Παλινδρόμηση VECM ( "Vector Error Corection Model" )</p>	<p>—</p>
<p>Egelioglu, F., Mohamad, A. A., &amp; Guven, H. (2001). Economic variables and electricity consumption in Northern Cyprus. <i>Energy</i>, 26(4), 355-362.</p>	<p>Κατά κεφαλήν Εισόδημα/ Πληθυσμός / Σύνολο των τουριστών / Θερμές και ψυχρές ημέρες ("heating and cooling degree days")/ Κόστος ηλεκτρισμού (Έτη 1988-1997)</p>	<p>Μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης</p>	<p>—</p>
<p>Zachariadis, T., &amp; Pashourtidou, N. (2007). An empirical analysis of electricity consumption in Cyprus. <i>Energy Economics</i>, 29(2), 183-198.</p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Εισόδημα / Θερμές και ψυχρές ημέρες ("heating and cooling degree days")/ Κόστος ηλεκτρισμού (Έτη 1960-2004)</p>	<p>Παλινδρόμηση VECM ( "Vector Error Correction Model" )</p>	<p>—</p>
<p>Deka, A., Hamta, N., Esmaeilian, B., &amp; Behdad, S. (2016). Predictive modeling techniques to forecast energy demand in the United States: a focus on economic and demographic factors. <i>Journal of Energy Resources Technology</i>, 138(2).</p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Ακαθάριστο εθνικό προϊόν / Πληθυσμός (Έτη 1950-2013)</p>	<p>Νευρωνικά Δίκτυα / Μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης / Μοντέλο ARIMA</p>	<p>Έτη 2014-2019</p>
<p>Latif, E. (2015). A panel data analysis of the demand for electricity in Canada. <i>Economic Papers: A journal of applied economics and policy</i>, 34(3), 192-205.</p>	<p>Κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κόστος ηλεκτρισμού (Έτη 1950-1989)</p>	<p>Παλινδρόμηση VECM ("Vector Error Correction Model" )</p>	<p>Έτη 1990-2009</p>

<p>Mikayilov, J. I., Darandary, A., Alyamani, R., Hasanov, F. J., &amp; Alatawi, H. (2020). <i>Regional heterogeneous drivers of electricity demand in Saudi Arabia: Modeling regional residential electricity demand. Energy Policy, 146, 111796.</i></p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Εισόδημα / Πληθυσμός / Θερμές και ψυχρές ημέρες ("heating and cooling degree days") (Έτη 1990-2018)</p>	<p>Μοντέλο STSM</p>	<p>—</p>
<p>Mohamed, Z., &amp; Bodger, P. (2005). <i>Forecasting electricity consumption in New Zealand using economic and demographic variables. Energy, 30(10), 1833-1843.</i></p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κόστος ηλεκτρισμού / Πληθυσμός (Έτη 1965-1999)</p>	<p>Μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης</p>	<p>Έτη 2000-2020</p>
<p>Odhiambo, N. M. (2009). <i>Electricity consumption and economic growth in South Africa: A trivariate causality test. Energy economics, 31(5), 635-640.</i></p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Ποσοστό Ανεργίας (Έτη 1971-2006)</p>	<p>Παλινδρόμηση VECM ("Vector Error Correction model")</p>	<p>—</p>
<p>Inglesj, R., &amp; Pouris, A. (2010). <i>Forecasting electricity demand in South Africa: A critique of Eskom's projections. South African Journal of Science, 106(1), 50-53.</i></p>	<p>Κόστος ηλεκτρισμού / Εισόδημα / Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός (Έτη 1980-2007)</p>	<p>Παλινδρόμηση VECM ("Vector Error Correction Model")</p>	<p>Έτη 2008-2025</p>
<p>Geem, Z. W., &amp; Roper, W. E. (2009). <i>Energy demand estimation of South Korea using artificial neural network. Energy policy, 37(10), 4049-4054.</i></p>	<p>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Συνολικές εισαγωγές ενεργειακών καυσίμων/ Συνολικές εξαγωγές ενεργειακών καυσίμων (Έτη 1980-2007)</p>	<p>Νευρωνικά δίκτυα</p>	<p>Έτη 2001-2007</p>

## Κεφάλαιο 3: ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ

### 3.1 Επιλογή Μοντέλου

Στο προηγούμενο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μια βιβλιογραφική παρουσίαση παλαιότερων ερευνών με σκοπό να διαπιστωθεί ποιες τεχνικές χρησιμοποιούνται συχνότερα για να προβλεφθεί η ενεργειακή ζήτηση και να μελετηθεί η συσχέτιση της με άλλες εξωγενείς μεταβλητές. Επιπλέον διαπιστώνεται ποιες μεταβλητές διαδραματίζουν πιο καθοριστικό ρόλο στην πρόβλεψη της, ώστε ορισμένες από αυτές να χρησιμοποιηθούν, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, για την ανάπτυξη του μοντέλου πρόβλεψης. Οι δύο επικρατέστερες τεχνικές πρόβλεψης ήταν η γραμμική παλινδρόμηση και τα νευρωνικά δίκτυα. Από τις δυο τεχνικές προτιμήθηκε η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για λόγους που αναλύονται παρακάτω :

- Στις περιπτώσεις που το μέγεθος του δείγματος δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης παράγει πιο ακριβείς προβλέψεις από την μέθοδο των νευρωνικών δικτύων, καθώς στην περίπτωση της μεθόδου των νευρωνικών δικτύων η “εκπαίδευση” του δικτύου προϋποθέτει μεγάλο όγκο παρατηρήσεων.
- Επιπλέον, η τεχνική της γραμμικής παλινδρόμησης δίνει τη δυνατότητα να μελετηθεί η συσχέτιση (“correlation”) μεταξύ των μεταβλητών και να διερευνηθεί ποιες από τις ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου είναι στατιστικά σημαντικές ώστε να ληφθούν υπόψη στην ανάπτυξη του μοντέλου.
- Παράλληλα, μέσω των δεικτών  $R^2$  ή  $adjusted R^2$  μπορεί να διαπιστωθεί πόση από τη συνολική μεταβλητότητα των δεδομένων εξηγείται από το εκάστοτε μοντέλο.
- Τέλος, η έννοια της γραμμικής παλινδρόμησης είναι αρκετά ευκολότερη στην κατανόηση και την ερμηνεία λόγω της γραμμικότητας της σχέσης μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών.

### 3.2 Επιλογή Μεταβλητών και Συλλογή δεδομένων

Μείζονος σημασίας είναι και η επιλογή των μεταβλητών εισόδου, ώστε μέσω των απαραίτητων δοκιμών να κατασκευαστεί το βέλτιστο μοντέλο πρόβλεψης.

Έτσι οι μεταβλητές χωρίστηκαν σε υποκατηγορίες και αρχικά επιλέχθηκαν οι βασικές μεταβλητές του μοντέλου, με βάση τα οικονομικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά της χώρας.

### **3.2.1 Μεταβλητές σχετιζόμενες με οικονομικά και δημογραφικά μεγέθη**

Από τις παλαιότερες έρευνες που παρουσιάστηκαν παραπάνω διαπιστώθηκε ότι οι μεταβλητές που διαδραματίζουν ιδιαίτερα καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή ζήτηση είναι εκείνες που αφορούν οικονομικά και δημογραφικά μεγέθη. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, το κατά κεφαλήν εισόδημα και το ποσοστό ανεργίας που σχετίζονται με την οικονομία, αλλά και ο πληθυσμός που αποτελεί βασικό δημογραφικό χαρακτηριστικό μίας χώρας.

- **Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ):** Αποτελεί το κυριότερο μακροοικονομικό μέγεθος και η μέτρηση του συντελεί στην απεικόνιση της συνολικής ποσότητας αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται για την αγορά σε μία δεδομένη χώρα κατά μία δεδομένη χρονική περίοδο.
- **Πληθυσμός:** Ο όρος πληθυσμός σε μια δεδομένη γεωγραφική περιοχή, κατά γενική χρήση, εκφράζει το ποσοτικό άθροισμα των κατοίκων της που μπορεί να αναφέρεται στο πλαίσιο χωριού, πόλης, χώρας ή ηπείρου μέχρι και σε παγκόσμιο επίπεδο.
- **Κατά Κεφαλήν Εισόδημα:** Είναι το μέσο ετήσιο εισόδημα ανά άτομο σε μια χώρα.
- **Ποσοστό Ανεργίας:** Ως ανεργία ορίζεται η κατάσταση ενός ατόμου, που ενώ είναι ικανό, πρόθυμο και διαθέσιμο να απασχοληθεί, αδυνατεί να βρει εργασία. Το Ποσοστό Ανεργίας είναι ο αριθμός των ανέργων διαιρούμενος με το σύνολο του εργατικού δυναμικού.

Για την εύρεση των δεδομένων του ΑΕΠ, του πληθυσμού, του κατά κεφαλήν εισοδήματος και του ποσοστού ανεργίας χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων της Παγκόσμιας Τράπεζας Δεδομένων ("World Bank Data"), μία εκ των πιο αξιόπιστων βάσεων δεδομένων παγκοσμίως που δίνει ελεύθερη πρόσβαση σε δείκτες που αφορούν ποικίλους τομείς. Ειδικότερα, επιλέχθηκαν οι «αποπληθωρισμένες» τιμές για τις μεταβλητές του ΑΕΠ και του κατά κεφαλήν εισοδήματος.

Παρακάτω απεικονίζονται τα δεδομένα για το ΑΕΠ, τον πληθυσμό και το ποσοστό ανεργίας για τα έτη 1971 ως 1985, όπως οργανώθηκαν στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3 : Μεταβλητές σχετιζόμενες με οικονομικά και δημογραφικά μεγέθη της Ελλάδας για τα έτη 1971 ως 1990 (The World Bank)

Έτος	ΑΕΠ ( δισ. \$ )	Πληθυσμός	Ποσοστό Ανεργίας (%)	Κατά κεφαλήν εισόδημα ( \$ )
1971	1,26	8831036		12573,18
1972	1,39	8888628		13555,85
1973	1,51	8929086		14428,05
1974	1,41	8962022		13671,93
1975	1,50	9046541		14230,53
1976	1,60	9188150		14925,74
1977	1,65	9308479		15308,77
1978	1,77	9429959		16114,81
1979	1,83	9548258		16437,02
1980	1,84	9642505		16301,17
1981	1,81	9729350	3,42	16161,71
1982	1,79	9789513	4,94	15602,87
1983	1,77	9846627	7,81	15232,72
1984	1,81	9895801	8,09	15178,74
1985	1,85	9934300	7,80	15304,48
1986	1,86	9967213	7,35	15315,31
1987	1,82	10000595	7,35	15314,61
1988	1,90	10036983	7,65	15922,06
1989	1,97	10089498	7,45	16409,43
1990	1,97	10196792	7,02	16592,76

### 3.2.2 Μεταβλητές ηλεκτροπαραγωγής

Εκτός των μεταβλητών που αναφέρθηκαν παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν ακόμα μεταβλητές που περιγράφουν τα ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (εκτός των υδροηλεκτρικών), λόγω υδροηλεκτρικών, λόγω άνθρακα, λόγω αργού πετρελαίου και λόγω φυσικού αερίου. Τα δεδομένα για τις συγκεκριμένες μεταβλητές εξασφαλίστηκαν ομοίως από την «Παγκόσμια τράπεζα δεδομένων» .

Παρακάτω απεικονίζονται τα δεδομένα για τα ποσοστά ηλεκτροπαραγωγής που οφείλονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (εκτός των υδροηλεκτρικών), σε υδροηλεκτρικά και σε στέρεά καύσιμα για τα έτη 1971 ως 1994, όπως οργανώθηκαν στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 4 : Ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ΑΠΕ , υδροηλεκτρικών και άνθρακα για την Ελλάδα τα έτη 1971 ως 1994 (World Bank Data)

Έτος	Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ΑΠΕ (εκτός υδροηλεκτρικών ) (%)	Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω υδροηλεκτρικών (%)	Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα (%)
1971	0	22,93	43,18
1972	0	20,40	37,48
1973	0	15,00	35,45
1974	0	15,62	38,06
1975	0	12,50	46,38
1976	0	10,53	55,52
1977	0	10,12	58,03
1978	0	14,19	48,38
1979	0	16,13	46,94
1980	0	15,03	44,84
1981	0	14,56	52,87
1982	0	15,30	54,34
1983	0	9,75	61,89
1984	0	11,53	60,72
1985	0	10,11	64,07
1986	0	11,50	66,88
1987	0,0033	9,24	68,82
1988	0,0030	7,13	73,53
1989	0,0029	5,55	73,60
1990	0,0057	5,08	72,36
1991	0,0055	8,67	66,31
1992	0,0241	5,91	71,48
1993	0,1258	5,98	72,88
1994	0,0941	6,43	73,24

### 3.2.3 Μετεωρολογικά Δεδομένα

Επιπρόσθετα, από την βιβλιογραφική παρουσίαση διαπιστώνεται και η σημασία των μεταβλητών που σχετίζονται με τον καιρό. Οι βασικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και αφορούν τον καιρό είναι οι εξής :

- Μεταβλητή που περιγράφει την μέση θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου (°C).
- Μεταβλητή που περιγράφει το ποσοστό του ουρανού που καλύπτεται από σύννεφα.

- Μεταβλητή που περιγράφει τις μέρες που εμφανίζουν βροχοπτώσεις μέσα σε ένα έτος.
- Μεταβλητή που περιγράφει τη διαφορά της μέγιστης από την ελάχιστη θερμοκρασία που καταγράφονται μέσα σε μία μέρα.

Τα δεδομένα για τις παραπάνω μεταβλητές συλλέχθηκαν από την διαδικτυακή βάση δεδομένων "CRUDATA" που παρέχει μηνιαία και ετήσια δεδομένα που αφορούν τον καιρό. Επιλέχθηκαν τα ετήσια δεδομένα καθώς οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται για την εύρεση του βέλτιστου μοντέλου είναι ετήσιες (έτη 1971-2018).

Από τη μέση θερμοκρασία προκύπτει μία ακόμα μεταβλητή, οι «βαθμοήμερες θέρμανσης ή ψύξης» ("degree days"). Οι «βαθμοήμερες θέρμανσης και ψύξης» στηρίζονται στην ιδέα ότι η εξωτερική θερμοκρασία των 65 Φαρενάιτ είναι η ιδανική και δε υπάρχει ανάγκη θέρμανσης ή ψύξης. Μία «βαθμοήμερα θέρμανσης ή ψύξης» εκφράζει την ανάγκη για θέρμανση ή ψύξη αντίστοιχα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας που προκαλείται από μια μέση ημερήσια θερμοκρασία που είναι κατά ένα βαθμό χαμηλότερη ή υψηλότερη από την θερμοκρασία αναφοράς που αντιστοιχεί σε 65 Φαρενάιτ.

Οι τιμές για την μέση θερμοκρασία δίνονται σε βαθμούς Κελσίου γι' αυτό θα πρέπει να μετατραπούν σε Φαρενάιτ σύμφωνα με τον τύπο:

$$F = C * \frac{9}{5} + 32 \quad (28)$$

όπου F η θερμοκρασία σε Φαρενάιτ και C η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.

- Αν η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι πάνω από 65 °F τότε ονομάζονται βαθμοήμερες ψύξης ("cooling degree days") και δίνονται από τον τύπο:

$$\text{Βαθμοήμερες ψύξης ("CDD")} = \text{tmp} - 65 \quad (29)$$

- Αν η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι κάτω από 65 °F τότε ονομάζονται βαθμοήμερες θέρμανσης ("heating degree days") και δίνονται από τον τύπο:

$$\text{Βαθμοήμερες θέρμανσης ("HDD")} = 65 - \text{tmp} \quad (30)$$

Παρακάτω απεικονίζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα για τα έτη 1971 ως 1990, όπως οργανώθηκαν στον πίνακα που ακολουθεί:



Πίνακας 5 : Μεταβλητές σχετιζόμενες με τον καιρό της Ελλάδας για τα έτη 1971 ως 1990 (CRUDATA)

Έτος	Μέση θερμοκρασία	«Βαθμομέρες Θέρμανσης»	Ποσοστό συννεφιάς	Συχνότητα βροχοπτώσεων	Μεταβολή μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας
1971	15,2	5,64	46,1	94,7	9,8
1972	15,2	5,64	48,8	91,3	9,5
1973	15,3	5,46	44,5	90,5	9,7
1974	15,1	5,82	42,9	92,4	9,8
1975	15,2	5,64	41,8	94,5	9,7
1976	14,7	6,54	45,6	101,2	9,6
1977	15,7	4,74	41,3	74,9	10,3
1978	15,1	5,82	44,6	92,4	9,6
1979	15,6	4,92	47,3	95,2	9,5
1980	15	6	43,7	95,5	9,6
1981	15,4	5,28	40,8	86,7	9,9
1982	15,1	5,82	41	94,7	9,6
1983	14,9	6,18	40,9	90,4	9,7
1984	15,2	5,64	43,1	84,5	9,6
1985	15,4	5,28	41,7	78,2	9,8
1986	15,5	5,1	41	88,6	9,8
1987	15,2	5,64	43,5	93,8	9,5
1988	15,5	5,1	42,4	86,9	9,5
1989	15,2	5,64	37,1	72,4	9,9
1990	15,9	4,38	36,5	72,7	10,1

### 3.2.4 Τιμές καυσίμων

Ακόμα, ιδιαίτερα σημαντικές για την πρόβλεψη φαίνεται να είναι οι μεταβλητές που σχετίζονται με τις τιμές των χρησιμοποιούμενων καυσίμων. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν:

- το κόστος αργού πετρελαίου ( crude oil prices )
- το κόστος φυσικού αερίου ( natural gas prices)
- το “cpi” (“consumer price index” ) ή δείκτης τιμών καταναλωτή

οπού “cpi” είναι ο δείκτης που απεικονίζει τη μέση μεταβολή των τιμών με τη πάροδο του χρόνου που καλούνται οι καταναλωτές να πληρώσουν για αγαθά και υπηρεσίες. Ο συγκεκριμένος δείκτης χρησιμοποιήθηκε για να αντικαταστήσει το κόστος του ηλεκτρισμού καθώς δε κατέστη δυνατή η εύρεση επαρκών δεδομένων.

Για τις ανάγκες της διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του cpi μόνο για τον ενεργειακό τομέα (“energy sector”) μέσω της βάσης δεδομένων “OECD” (“Organisation for Economic Co-operation and Development”), ενώ τα δεδομένα για τα κόστη αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου προήλθαν από την βάση δεδομένων “Macrotrends”. Η μονάδα μέτρησης των τριών

παραπάνω μεταβλητών είναι το αμερικάνικο δολάριο (“United States Dollars”).

Στις δοκιμές για την ανάπτυξη του τελικού μοντέλου δεν χρησιμοποιήθηκε η μεταβλητή του κόστους φυσικού αερίου λόγω ανεπάρκειας δεδομένων, καθώς τα δεδομένα ξεκινούσαν από το έτος 1998 και έπειτα. Παρακάτω απεικονίζονται τα δεδομένα που σχετίζονται με τα κόστη των καυσίμων για τα έτη 1971 ως 1995, όπως οργανώθηκαν στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 6 : Δείκτης τιμών καταναλωτή και κόστος αργού πετρελαίου της Ελλάδας για τα έτη 1988 ως 1995 (OECD / Macrotrends)

Έτος	Δείκτης τιμών καταναλωτή	Κόστος αργού πετρελαίου (\$)
1988		15,97
1989	8,9	19,64
1990	35,7	24,53
1991	25,4	21,54
1992	18,5	20,58
1993	12,5	18,43
1994	3,6	17,2
1995	4,4	18,43

### 3.2.5 Δεδομένα συνολικής παροχής και κατανάλωσης ενέργειας ανά καύσιμο

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στα πλαίσια της διπλωματικής, υπήρξε ανάγκη ταξινόμησης της ενεργειακής ζήτησης με βάση το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και με βάση κάποιους επιμέρους τομείς που αφορούν την παροχή και κατανάλωση ενέργειας, όπως παρουσιάστηκαν στο πρώτο κεφάλαιο. Τα συγκεκριμένα δεδομένα, κατηγοριοποιημένα ανά καύσιμο και ανά τομέα, ήταν διαθέσιμα μέσω του ενεργειακού ισοζυγίου για το 2020 (World Balances Highlights 2020), το οποίο ήταν προσβάσιμο μέσω της βάσης δεδομένων του Διεθνούς Ενεργειακού Οργανισμού IEA (“International Energy Agency”). Λήφθηκαν υπόψη όλα τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα εκτός των πυρηνικών, καθώς, για την Ελλάδα, όλοι οι τομείς στα πυρηνικά είχαν μηδενικές τιμές. Επιπλέον, όσον αφορά τους επιμέρους τομείς κάθε καυσίμου, χρησιμοποιήθηκαν οι μεταβλητές που αφορούσαν:

- Παραγωγή
- Εισαγωγές
- Εξαγωγές

Πρέπει να σημειωθεί ότι, δεν λήφθηκαν υπόψη οι τομείς που οι τιμές τους ήταν μηδέν για όλα τα έτη, όπως οι εισαγωγές και εξαγωγές ενέργειας όσον αφορά τη θερμότητα. Παρακάτω απεικονίζεται ένα μέρος των δεδομένων για τα έτη 1971 ως 1990, και συγκεκριμένα αυτό που αφορά τα προϊόντα πετρελαίου σε ορισμένους από τους επιμέρους τομείς που παρουσιάστηκαν στο πρώτο κεφάλαιο.

Πίνακας 7 : Παραγωγή, εισαγωγές, εξαγωγές και συνολική παροχή ενέργειας των πετρελαιοειδών στην Ε για τα έτη 1971 ως 1990 ( World Energy Balances Highlights)

Έτος	Πετρελαιοειδή			
	Παραγωγή (ktoe)	Εισαγωγές (ktoe)	Εξαγωγές (ktoe)	Συνολική παροχή ενέργειας (ktoe)
1971	0	2024,74	-83,53	891,97
1972	0	2560,33	-296,98	687,27
1973	0	2462,17	-4882,89	-3802,59
1974	0	1436,27	-2239,37	-3107,92
1975	0	890,04	-3393,77	-3494,41
1976	0	1662,95	-1917,83	-2168,32
1977	0	3031,74	-2502,09	-976,81
1978	0	3847,66	-3473,54	-1221,87
1979	0	4645,45	-7321,04	-4743,52
1980	0	6056,91	-7410,84	-3400,53
1981	0	3636,69	-7749,46	-5737,74
1982	0	4468,26	-7861,12	-4948,14
1983	0	4080,67	-6310,00	-4160,98
1984	0	3094,54	-4616,04	-2649,46
1985	0	3746,91	-3754,20	-1350,69
1986	0	2373,79	-5686,45	-6302,99
1987	0	2564,13	-6072,50	-5911,66
1988	0	3487,07	-5122,30	-4695,17
1989	0	4310,99	-5176,66	-3467,55
1990	0	5844,50	-6217,96	-3769,37

Διαπιστώνεται ότι οι τιμές που αφορούν την μεταβλητή της παραγωγής ενέργειας (“production”) για τα προϊόντα πετρελαίου είναι μηδέν για όλα τα έτη. Αυτό συμβαίνει, διότι η μεταβλητή της παραγωγής με τον τρόπο που έχει οριστεί στο ενεργειακό ισοζύγιο αφορά μόνο τις πρωτογενείς πηγές ενέργειας, δηλαδή τα ορυκτά καύσιμα και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι και για τις υπόλοιπες δευτερογενείς πηγές ενέργειας, δηλαδή τον ηλεκτρισμό και τη θερμότητα, οι τιμές της μεταβλητής που αφορά την παραγωγή ενέργειας θα είναι επίσης μηδέν. Άρα για τα πετρελαιοειδή, τον ηλεκτρισμό και την θερμότητα η μεταβλητή που σχετίζεται με την παραγωγή ενέργειας δεν θα συμβολίζεται με τη μεταβλητή “Production” των πρωτογενών πηγών ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα τα παράγωγα πετρελαίου, ως καύσιμα, προκύπτουν μέσα από την επεξεργασία του αργού πετρελαίου στα

διυλιστήρια. Άρα στο μοντέλο πρόβλεψης ως μεταβλητή παραγωγής για τα παράγωγα πετρελαίου θα χρησιμοποιηθεί ο τομέας που αφορά τα διυλιστήρια πετρελαίου (“Oil refineries”). Επιπλέον, η θερμότητα και ο ηλεκτρισμός που επίσης αποτελούν δευτερεύουσες πηγές ενέργειας παράγονται μέσω των θερμικών σταθμών και των σταθμών συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Άρα στο μοντέλο πρόβλεψης ως μεταβλητή που συμβολίζει την παραγωγή ενέργειας για τον ηλεκτρισμό και τη θερμότητα θα χρησιμοποιηθεί ο τομέας που αφορά τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς (“Electricity, CHP and heat plants”). Τέλος, το αρνητικό πρόσημο σε ορισμένες τιμές των μεταβλητών εκφράζει ενέργεια που δεν μπορεί να αξιοποιηθεί, όπως φαίνεται για παράδειγμα στις εξαγωγές των πετρελαιοειδών στον παραπάνω πίνακα:

*Πίνακας 8 : Παραγωγή ενέργειας (Διυλιστήρια πετρελαίου), κατανάλωση ενέργειας στη βιομηχανία και συνολική κατανάλωση ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών στην Ελλάδα για τα έτη 1971 ως 1990 (World Energy Balances Highlights)*

Έτος	Πετρελαιοειδή		
	Διυλιστήρια πετρελαίου (ktoe)	Συνολική κατανάλωση ενέργειας (ktoe)	Βιομηχανία (ktoe)
1971	5310,834	5080,6726	1519,7143
1972	6610,7051	5807,4711	1709,5204
1973	12347,8599	6464,9088	1928,48
1974	10980,6511	5737,2886	1868,6061
1975	11476,5573	5947,0909	1857,2752
1976	10936,67	6855,6081	2139,8252
1977	10395,3043	7098,5669	2347,0096
1978	11371,157	7779,0532	2510,6191
1979	15201,9299	8015,9024	2698,3424
1980	14094,3656	8057,3135	2645,3855
1981	15762,7305	7784,1454	2424,1521
1982	15005,0253	7933,2139	2187,2217
1983	13997,6378	7898,7437	1891,8076
1984	12662,0044	8032,7792	1723,6696
1985	12108,5817	8130,331	1504,2538
1986	16048,2254	7975,4204	1579,0795
1987	16409,0546	8657,7529	1749,9904
1988	15893,8187	9057,5236	1773,6171
1989	16456,382	9750,7428	1826,7054
1990	16563,2297	9779,2443	1682,8222

### 3.2.6 Δεδομένα συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ΑΠΕ και ορυκτών καυσίμων

Τέλος, χρησιμοποιήσαμε και μεταβλητές που αφορούν τη συνολική ηλεκτροπαραγωγή λόγω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και ορυκτών καυσίμων και απεικονίζονται παρακάτω για τα έτη 1971 ως 1990:

Πίνακας 9 : Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων και ΑΠΕ στην Ελλάδα για τα έτη 1971 ως 1990 (World Energy Balances Highlights)

Έτος	Ορυκτά καύσιμα	ΑΠΕ
	Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (GWh)	Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (GWh)
1971	8910	2652
1972	10444	2677
1973	12594	2223
1974	12673	2347
1975	14105	2015
1976	15964	1879
1977	17063	1922
1978	18062	2988
1979	18536	3566
1980	19248	3405
1981	19986	3407
1982	19711	3561
1983	21643	2340
1984	21942	2862
1985	24935	2805
1986	24889	3235
1987	27305	2781
1988	30795	2367
1989	32309	1901
1990	33004	1771

### 3.2.7 Εξαρτημένη μεταβλητή

Λαμβάνουμε ακόμα τις μεταβλητές που αποτελούν το σύνολο ("Total") όλων των καταναλώσεων και των παροχών ενέργειας των χρησιμοποιούμενων καυσίμων, οι οποίες δεν θα ληφθούν υπόψη για την ανάπτυξη του μοντέλου, καθώς ουσιαστικά πρόκειται για το άθροισμα των επιμέρους τιμών κάθε καυσίμου για κάθε τομέα, μεταβλητές που έχουμε ήδη λάβει υπόψη μεμονωμένα για την πρόβλεψη. Ένας από αυτούς τους τομείς είναι και η συνολική κατανάλωση ενέργειας, για την οποία πρέπει να παραχθούν οι προβλέψεις. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η μεταβλητή για την οποία θα παραχθούν οι προβλέψεις, δηλαδή η συνολική ενεργειακή ζήτηση:

Πίνακας 10 : Συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για τα έτη 1971 ως 1990 (World Energy Balances Highlights)

Έτος	Συνολική τελική ενεργειακή ζήτηση (ktoe)
1971	6757,85
1972	7682,92
1973	8527,98
1974	7852,37
1975	8157,25
1976	9152,15
1977	9393,00
1978	10239,57
1979	10659,70
1980	10701,42
1981	10337,41
1982	10717,40
1983	11121,49
1984	11628,34
1985	11945,51
1986	11750,12
1987	12531,24
1988	13195,22
1989	13983,70
1990	14493,83

Ακολουθεί μία σύνοψη των εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών:

#### Εξαρτημένη μεταβλητή

- Συνολική ενεργειακή ζήτηση

#### Ανεξάρτητες μεταβλητές

- Οικονομικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά
  - ΑΕΠ ή ακαθάριστο εγχώριο προϊόν
  - Κατά κεφαλήν εισόδημα
  - Ποσοστό ανεργίας
  - Πληθυσμός
- Ηλεκτροπαραγωγή
  1. Ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω :
    - Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (εκτός των υδροηλεκτρικών)

- Υδροηλεκτρικών
- Άνθρακα
- Αργού Πετρελαίου
- Φυσικού αερίου

## 2. Συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού λόγω :

- Ορυκτών καυσίμων
  - Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Κλιματικά / Μετεωρολογικά Δεδομένα
    - Ποσοστό του ουρανού που καλύπτεται από σύννεφα .
    - Σύνολο ημερών που εμφανίζουν βροχοπτώσεις μέσα σε ένα έτος . (Συχνότητα βροχοπτώσεων)
    - Διαφορά της μέγιστης από την ελάχιστη θερμοκρασία που καταγράφεται μέσα σε μία μέρα .
    - «Βαθμοήμερες θέρμανσης η ψύξης»
  - Κόστος χρησιμοποιούμενων καυσίμων
    - κόστος αργού πετρελαίου
    - cpi
  - Συνολική παροχή ενέργειας ανά καύσιμο
    - Άνθρακας
      - Παραγωγή
      - Εισαγωγές
      - Εξαγωγές
    - Αργό Πετρέλαιο
      - Παραγωγή
      - Εισαγωγές
      - Εξαγωγές
    - Πετρελαιοειδή

- Διυλιστήρια πετρελαίου
- Εισαγωγές
- Εξαγωγές
- ΑΠΕ και Απόβλητα
  - Παραγωγή
  - Εισαγωγές
  - Εξαγωγές
- Ηλεκτρισμός
  - Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί
  - Εισαγωγές
  - Εξαγωγές
- Φυσικό αέριο
  - Παραγωγή
  - Εισαγωγές
  - Εξαγωγές
- Θερμότητα
  - Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί

Όλες οι παραπάνω , είναι οι μεταβλητές πάνω στις οποίες έγιναν οι δοκιμές έτσι ώστε να καταλήξουμε στο τελικό μοντέλο πρόβλεψης.

### 3.3 Προετοιμασία Δεδομένων

Η συλλογή και διαχείριση των δεδομένων, ίσως η βασικότερη πηγή πληροφοριών για την επιστήμη των προβλέψεων, δεν είναι πάντα εύκολη υπόθεση, γιατί συχνά λείπουν ορισμένες τιμές των διανυσμάτων των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Στο συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων που αποτελείται από 37 ανεξάρτητες μεταβλητές, πλήρη δεδομένα (από το έτος 1971 ως το 2018) παρουσιάζουν οι 29. Ειδικότερα, για το ποσοστό ανεργίας, που αποτελεί μία εκ των βασικών ανεξάρτητων μεταβλητών εισόδου, τα δεδομένα ξεκινούν από το 1981, ενώ για τα ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λείπουν δεδομένα των τελευταίων τριών ετών, δηλαδή από το έτος 2016 ως το 2018. Τέλος για το



κόστος αργού πετρελαίου και το cpi τα δεδομένα ξεκινούν από τα έτη 1987 και 1989 αντίστοιχα. Για να ερευνηθεί η βαρύτητα όλων των μεταβλητών, αλλά και για να διαπιστωθεί η σημασία τού μεγέθους του δείγματος στην εύρεση του βέλτιστου μοντέλου πρόβλεψης αναπτύχθηκαν 3 περιπτώσεις.

- **1<sup>η</sup> περίπτωση** : Χρησιμοποίηση και των **37** μεταβλητών του dataset που παρουσιάζουν δεδομένα από το έτος **1989** έως το **2015** ,μειώνοντας σημαντικά το μέγεθος του δείγματος.
- **2<sup>η</sup> περίπτωση** : Χρησιμοποίηση **35** μεταβλητών που παρουσιάζουν δεδομένα από το έτος **1981** έως το **2015** , αυξάνοντας κατά οκτώ το μέγεθος του δείγματος.
- **3<sup>η</sup> περίπτωση** Χρησιμοποίηση μόνο των **29** μεταβλητών που παρουσιάζουν δεδομένα από το έτος **1971** έως το **2018**.

#### Επεξεργασία Δεδομένων

- Δείγματα εκπαίδευσης και αξιολόγησης αλγορίθμου

Για την παραγωγή των προβλέψεων τα επιμέρους δεδομένα χωρίστηκαν σε 2 κομμάτια. Το πρώτο κομμάτι, το οποίο ονομάζεται “training sample” ή «δείγμα εκπαίδευσης αλγορίθμου» είναι το δείγμα στο οποίο γίνεται η «εκπαίδευση» του κάθε στατιστικού μοντέλου πρόβλεψης (“model fitting”), όπου προσδιορίζονται οι βέλτιστες παράμετροι ώστε το παραγόμενο μοντέλο να ταιριάζει όσο το δυνατόν καλύτερα σε αυτά τα δεδομένα. Το δεύτερο κομμάτι ονομάζεται “test sample” ή «δείγμα αξιολόγησης αλγορίθμου» και σύμφωνα με αυτό γίνεται η παραγωγή των προβλέψεων. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης προβλέπει την συνολική ενεργειακή ζήτηση για τα επόμενα έτη και έπειτα χρησιμοποιώντας τις πραγματικές τιμές της ενεργειακής ζήτησης, οι οποίες είναι διαθέσιμες από το αρχικό σύνολο των δεδομένων μας, έχουμε τη δυνατότητα να διαπιστώσουμε την ακρίβεια των προβλέψεων, η οποία στη συγκεκριμένη διπλωματική εξετάζεται μέσω του κριτηρίου MSE, όπως έχει αναφερθεί και στο πρώτο κεφάλαιο. Το μοντέλο με την βέλτιστη ακρίβεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή των προβλέψεων της ενεργειακής ζήτησης μέχρι και το έτος 2039.

Για την συγκεκριμένη πρόβλεψη, δεν λήφθηκαν ως είσοδοι οι αυτούσιες τιμές των μεταβλητών αλλά οι διαφορές τους, ώστε να διερευνηθεί πώς μεταβάλλεται η εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή η συνολική ζήτηση ενέργειας, με βάση την ετήσια μεταβολή των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Πιο συγκεκριμένα, έστω μια τυχαία μεταβλητή  $X(t)$  της βάσης δεδομένων, με το  $t$  να συμβολίζει τα έτη και να παίρνει τιμές από το 1971 ως 2018.

Τότε ως είσοδο στο σύστημα θεωρούμε την μεταβλητή :

$$Y(t') = X(t') - X(t' - 1) \quad (31)$$

Με το  $t'$  να παίρνει τιμές από το 1972 ως το 2018

Το  $Y$  συμβολίζει τη ετήσια μεταβολή της μεταβλητής  $X$ . Διαπιστώνουμε ότι πλέον το μέγεθος των διανυσμάτων των μεταβλητών είναι 47.

### 3.4 Ανάλυση Περιπτώσεων

#### 1<sup>η</sup> περίπτωση

Λαμβάνονται υπόψη όλες οι μεταβλητές του dataset. Χρησιμοποιούνται, λοιπόν, 37 μεταβλητές με δεδομένα από το 1989 έως το 2015. Ο διαμοιρασμός τους σε δείγματα «εκπαίδευσης» και «αξιολόγησης» του αλγορίθμου γίνεται με τον παρακάτω τρόπο :

- ❖ «Δείγμα εκπαίδευσης αλγορίθμου»: Ανήκουν οι τιμές των μεταβλητών από το έτος 1990 έως το 1997
- ❖ «Δείγμα αξιολόγησης αλγορίθμου»: Ανήκουν οι τιμές των μεταβλητών από το έτος 1998 έως το 2015

Μέσω της εντολής “*read.csv2*” που βρίσκεται στις βιβλιοθήκες της γλώσσας προγραμματισμού *R* εισάγουμε ως είσοδο τα αρχεία excel που περιέχουν τα δεδομένα των «δειγμάτων εκπαίδευσης και αξιολόγησης αλγορίθμου»

```
TRAIN <- read.csv2("C:/Users/DIMITRIS/training-testing samples/TRAIN.csv", sep=";")
TEST <- read.csv2("C:/Users/DIMITRIS/training-testing samples/TEST.csv", sep=";")
```

Εικόνα 1 : Εισαγωγή των δειγμάτων εκπαίδευσης και αξιολόγησης αλγορίθμου

Ξεκινώντας, το «δείγμα εκπαίδευσης» των κυριότερων μεταβλητών της βάσης δεδομένων, δηλαδή του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος, του πληθυσμού, του κατά κεφαλήν εισοδήματος και του ποσοστού ανεργίας, εισάγεται ξεχωριστά στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης μέσω της εντολής “lm” (“linear model”) που βρίσκεται στις βιβλιοθήκες της R.

Παρακάτω φαίνεται η κατασκευή του μοντέλου εισάγοντας ως ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου το ΑΕΠ και το κατά κεφαλήν εισόδημα

```
forecast1 <-lm(demand~gdp+inc)
```

Εικόνα 2 : Κατασκευή μοντέλου

Για κάθε μία μεταβλητή, μέσω του δείγματος αξιολόγησης των αντίστοιχων μεταβλητών, παράγονται τόσες προβλέψεις όσο και το μέγεθος του δείγματος αξιολόγησης, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση 18. Στη συνέχεια σε κάθε παραγόμενη πρόβλεψη προστίθεται η τελευταία τιμή του «δείγματος εκπαίδευσης» (πριν παρθούν οι διαφορές των τιμών κάθε μεταβλητής) της συνολικής ενεργειακής ζήτησης (“level”), της μεταβλητής δηλαδή που θέλουμε να προβλέψουμε. Πιο συγκεκριμένα, στη πρώτη περίπτωση η τελευταία μεταβλητή του δείγματος εκπαίδευσης της συνολικής ενεργειακής ζήτησης είναι 17042 ktoe και αντιστοιχεί στο έτος 1997.

Οι προβλέψεις παράγονται μέσω της εντολής “predict” όπως φαίνεται παρακάτω :

```
test1 <-data.frame(gdp=TEST$testgdp,inc=TEST$testinc)
pred<-predict(forecast1,test1)
pred<-as.numeric(pred)
pred<-pred+17042
```

Εικόνα 3 : Παραγωγή προβλέψεων

Έχοντας τις τελικές προβλέψεις και γνωρίζοντας τις πραγματικές τιμές τις ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 1998 ως 2015, το μέσο απόλυτο σφάλμα μπορεί εύκολα να υπολογιστεί μέσω του τύπου (11) που περιεγράφηκε στο πρώτο κεφάλαιο. Αφού υπολογιστεί το σφάλμα για κάθε μία μεταβλητή μεμονωμένα, θα πρέπει να ελεγχθούν και όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των επιμέρους μεταβλητών και να κρατηθεί ο συνδυασμός εκείνος που παράγει το μικρότερο δυνατό σφάλμα. Έτσι, δημιουργείται ένα αρχικό μοντέλο στο οποίο προσθέτουμε έπειτα τις μεταβλητές που αφορούν τα καιρικά δεδομένα κρατώντας μόνο εκείνες τις μεταβλητές που μειώνουν το υπάρχον μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Στη συνέχεια, δοκιμάζονται οι μεταβλητές που αφορούν

τα ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έπειτα εισάγονται στο μοντέλο το κόστος αργού πετρελαίου και ο δείκτης τιμών καταναλωτή.

Έπειτα, προστίθενται και οι μεταβλητές που αφορούν τα στερεά καύσιμα για τους συγκεκριμένους τομείς που αναφέρθηκαν παραπάνω (παραγωγή, εισαγωγές και εξαγωγές) και με τον ίδιο τρόπο εξετάζονται και οι μεταβλητές των υπόλοιπων χρησιμοποιούμενων καυσίμων. Η διαδικασία σταματά όταν πλέον το σφάλμα δεν είναι δυνατό να μειωθεί περαιτέρω μέσω της προσθήκης κάποιας μεταβλητής. Με αυτό το τρόπο προκύπτει ο συνδυασμός μεταβλητών που παράγουν το μικρότερο δυνατό μέσο τετραγωνικό σφάλμα και συνεπώς το βέλτιστο μοντέλο πρόβλεψης.

Ακολουθώντας τη διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω, το βέλτιστο μοντέλο πρόβλεψης παρήγαγε μέσο τετραγωνικό σφάλμα ίσο με  $3914390 \text{ ktoe}^2$  και οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ως εισοδοί ήταν οι εξής:

1. Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν
2. Κατά κεφαλήν εισόδημα
3. Βαθμομέρες θέρμανσης
4. Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα
5. Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου
6. Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου

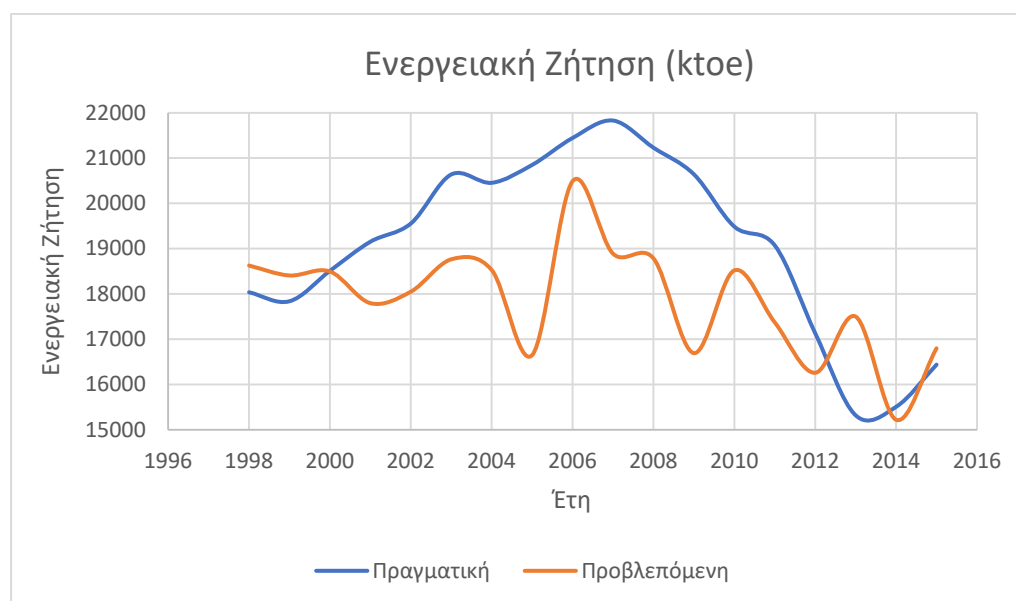
Παρακάτω παρουσιάζονται οι προβλέψεις της ενεργειακής ζήτησης (ktoe) που παράχθηκαν για τα συγκεκριμένα δείγματα εκπαίδευσης και αξιολόγησης του αλγορίθμου:

Πίνακας 11 : Πραγματική συνολική ενεργειακή ζήτηση και πρόβλεψη συνολικής ενεργειακής ζήτησης (1η περίπτωση)

Έτη	Πραγματική	Προβλεπόμενη
1998	18037,05	18626,45
1999	17837,83	18409,66
2000	18512,12	18498,19
2001	19154,26	17796,54
2002	19558,42	18050,04
2003	20638,38	18764,31
2004	20454,86	18527,96
2005	20852,07	16652,97
2006	21445,22	20489,61
2007	21828,32	18890,16
2008	21228,05	18784,39
2009	20640,61	16692,89

2010	19485,39	18521,48
2011	19070,90	17368,58
2012	17131,40	16260,24
2013	15318,72	17501,10
2014	15509,28	15222,07
2015	16440,87	16799,32

Ακολουθεί διαγραμματική αναπαράσταση της πραγματικής ενεργειακής ζήτησης και των παραγόμενων προβλέψεων για τα έτη 1998 ως 2015:



Σχήμα 4 : Διάγραμμα πραγματικής και προβλεπόμενης ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 1998 ως 2015 (1η περίπτωση)

## 2<sup>η</sup> περίπτωση

Για την ανάπτυξη του βέλτιστου μοντέλου προβλέψεων, χρησιμοποιήθηκαν όλες οι μεταβλητές εκτός του κόστους αργού πετρελαίου και του cpi, δηλαδή 35 μεταβλητές με δεδομένα από το 1981 έως το 2015. Ο διαμοιρασμός τους σε train και test sample γίνεται με τον παρακάτω τρόπο :

- ❖ «Δείγμα εκπαίδευσης αλγορίθμου»: Ανήκουν οι τιμές των μεταβλητών από το έτος 1982 έως το 1997
- ❖ «Δείγμα αξιολόγησης αλγορίθμου»: Ανήκουν οι τιμές των μεταβλητών από το έτος 1998 έως το 2015

Όπως γίνεται αντιληπτό το μέγεθος του «δείγματος εκπαίδευσης» έχει αυξηθεί κατά οκτώ σε σχέση με την πρώτη περίπτωση, ενώ το test sample παραμένει ίδιο.

Στη δεύτερη περίπτωση το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προκύπτει από το βέλτιστο μοντέλο για την δεύτερη περίπτωση είναι ίσο με  $4820968 \text{ ktoe}^2$  και οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι για το μοντέλο είναι οι εξής:

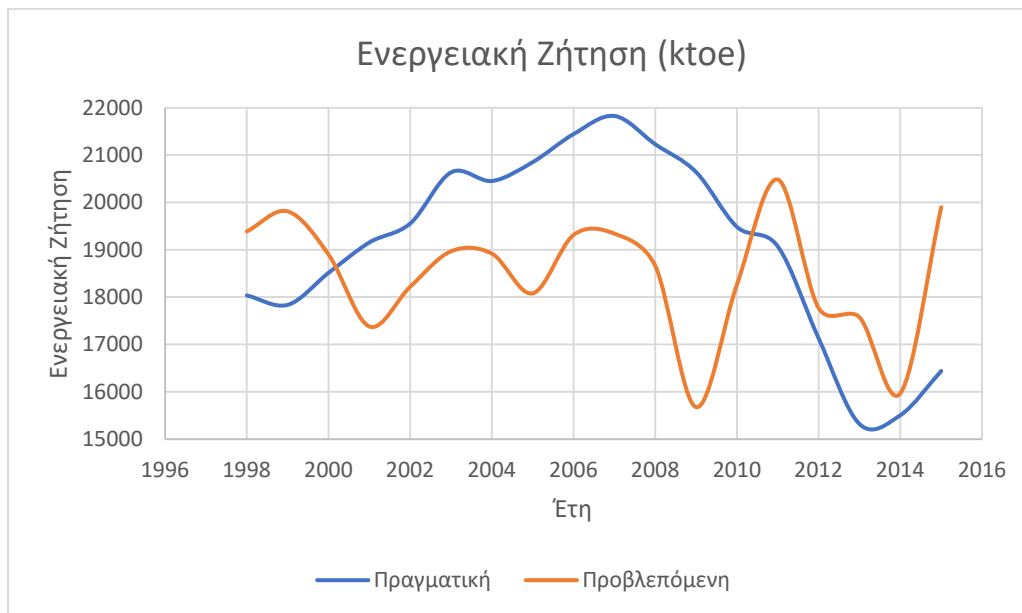
1. Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν
2. Πληθυσμός
3. Ποσοστό ανεργίας
4. Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα
5. Συνολική παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων
6. Εισαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου
7. Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών
8. Εισαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα

Παρακάτω παρουσιάζονται οι προβλέψεις της ενεργειακής ζήτησης (ktoe) που παράχθηκαν για τα συγκεκριμένα δείγματα εκπαίδευσης και αξιολόγησης του αλγορίθμου:

Πίνακας 12 : Πραγματική συνολική ενεργειακή ζήτηση και πρόβλεψη συνολικής ενεργειακής ζήτησης (2η περίπτωση)

Έτη	Πραγματική	Προβλεπόμενη
1998	18037,05	19390,02
1999	17837,83	19811,63
2000	18512,12	18901,93
2001	19154,26	17381,55
2002	19558,42	18222,19
2003	20638,38	18969,97
2004	20454,86	18918,34
2005	20852,07	18079,54
2006	21445,22	19313,86
2007	21828,32	19341,84
2008	21228,05	18654,01
2009	20640,61	15675,61
2010	19485,39	18271,35
2011	19070,90	20485,18
2012	17131,40	17771,30
2013	15318,72	17574,38
2014	15509,28	15971,49
2015	16440,87	19898,06

Ακολουθεί διαγραμματική αναπαράσταση της πραγματικής ενεργειακής ζήτησης και των παραγόμενων προβλέψεων για τα έτη 1998 ως 2015 :



Σχήμα 5: Διάγραμμα πραγματικής και προβλεπόμενης ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 1998 ως 2015 (2η περίπτωση)

### 3<sup>η</sup> περίπτωση

Για την ανάπτυξη του βέλτιστου μοντέλου προβλέψεων, χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι 28 μεταβλητές που έχουν πλήρη δεδομένα, δηλαδή από το έτος 1971 ως το 2018. Ο διαμοιρασμός τους σε train και test sample γίνεται με τον παρακάτω τρόπο :

- «Δείγμα εκπαίδευσης αλγορίθμου»: Ανήκουν οι τιμές των μεταβλητών από το 1972 έως το 2000
- «Δείγμα αξιολόγησης αλγορίθμου»: Ανήκουν οι τιμές των μεταβλητών από το 2001 έως το 2018

Παρατηρείται ότι το μέγεθος του «δείγματος εκπαίδευσης» έχει αυξηθεί κατά δεκατρία σε σχέση με την περίπτωση 2. Επιπλέον, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το μέγεθος του «δείγματος αξιολόγησης» παραμένει το ίδιο (ίσο με δεκαοκτώ), αλλά ξεκινάει από το έτος 2001 και τελειώνει στο έτος 2018. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με την πρώτη και δεύτερη περίπτωση. Η διαφορά σε σχέση με τις άλλες δυο περιπτώσεις έγκειται στο γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει αλλάξει το «δείγμα εκπαίδευσης» και κατ'

επέκταση η τελευταία τιμή του δείγματος πλέον αντιστοιχεί στο έτος 2000 και όχι στο 1997. Συνεπώς, στη πρόβλεψη που γίνεται με βάση τις διαφορές των ανεξάρτητων μεταβλητών θα προστεθεί η τιμή της συνολικής ενεργειακής ζήτησης του train δείγματος για το έτος 2000 που αντιστοιχεί σε 18512 Ktoe. Εισάγοντας κάθε μια μεταβλητή ξεχωριστά, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, ελέγχεται κατά πόσο η κάθε μία μειώνει η όχι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και στο τέλος παράγεται το βέλτιστο μοντέλο πρόβλεψης. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προκύπτει είναι ίσο με  $4070171 \text{ ktoe}^2$  και οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ως εισοδοί ήταν οι εξής :

1. Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν
2. Βαθμομημέρες θέρμανσης
3. Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα
4. Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού
5. Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών
6. Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου

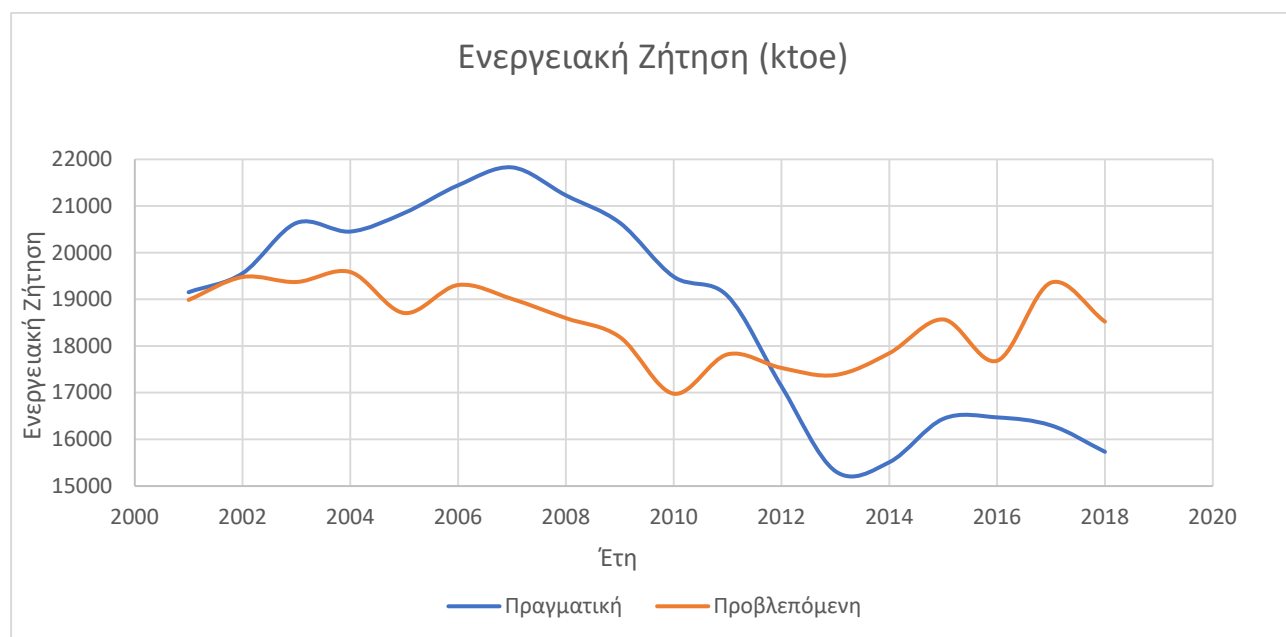
Παρακάτω παρουσιάζονται οι προβλέψεις της ενεργειακής ζήτησης (ktoe) που παράχθηκαν για τα συγκεκριμένα δείγματα εκπαίδευσης και αξιολόγησης του αλγορίθμου:

Πίνακας 13 : Πραγματική συνολική ενεργειακή ζήτηση και πρόβλεψη συνολικής ενεργειακής ζήτησης (3η περίπτωση)

Έτη	Πραγματική	Προβλεπόμενη
2001	19154,26	18987,28
2002	19558,42	19479,70
2003	20638,38	19371,49
2004	20454,86	19586,24
2005	20852,07	18707,87
2006	21445,22	19308,09
2007	21828,32	19007,69
2008	21228,05	18597,13
2009	20640,61	18194,31
2010	19485,39	16977,59
2011	19070,90	17823,59
2012	17131,40	17529,74
2013	15318,72	17379,11
2014	15509,28	17846,57
2015	16440,87	18569,18
2016	16471,92	17686,78
2017	16300,42	19358,35
2018	15734,80	18523,05



Ακολουθεί διαγραμματική αναπαράσταση της πραγματικής ενεργειακής ζήτησης και των παραγόμενων προβλέψεων για τα έτη 2001 ως 2018:



Σχήμα 6 : Διάγραμμα πραγματικής και προβλεπόμενης ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 2001 ως 2018 ( 3η περίπτωση )

Τα παραπάνω αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα και αποτυπώνονται και με τη μορφή ραβδογράμματος :

Πίνακας 14 : Παραγόμενο μέσο τετραγωνικό σφάλμα για τις τρεις περιπτώσεις

Μοντέλο	MSE
Μοντέλο πρώτης περίπτωσης	3914390
Μοντέλο δεύτερης περίπτωσης	4820968
Μοντέλο τρίτης περίπτωσης	4070171



Σχήμα 7 : Ραβδόγραμμα των σφαλμάτων των τριών περιπτώσεων

Διαπιστώνεται λοιπόν , ότι το μοντέλο που παράγει το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα είναι εκείνο της πρώτης περίπτωσης και περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$Y_i = 2,2 * 10^{-7} * X_{1,i} - 2,62 * X_{2,i} + 302,02 * X_{3,i} - 750,37 * X_{4,i} + 16,41 * X_{5,i} - 1,63 * X_{6,i} + 586,72 \quad (16)$$

Όπου:

$X_{1,i}$  : ετήσια μεταβολή της μεταβλητής του ΑΕΠ

$X_{2,i}$  : ετήσια μεταβολή της μεταβλητής του κατά κεφαλήν εισοδήματος

$X_{3,i}$  : ετήσια μεταβολή της μεταβλητής των βαθμομερών θέρμανσης

$X_{4,i}$  : ετήσια μεταβολή της μεταβλητής του ποσοστού ηλεκτροπαραγωγής λόγω άνθρακα

$X_{5,i}$  : ετήσια μεταβολή της μεταβλητής της παραγωγής ενέργειας μέσω φυσικού αερίου

$X_{6,i}$  : ετήσια μεταβολή της μεταβλητής της παραγωγής ενέργειας μέσω αργού πετρελαίου

Οι πίνακες των επιμέρους σφαλμάτων και των 3 περιπτώσεων παρουσιάζονται στο Παράρτημα της Διπλωματικής εργασίας

## Κεφάλαιο 4 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Υπολογισμός μεταβλητών εισόδου για τα έτη 2021 ως 2039

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η μεθοδολογία και οι μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως εισοδοί στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης, καθώς και οι τρεις περιπτώσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την κατασκευή του βέλτιστου μοντέλου πρόβλεψης. Συγκρίνοντας τις τρεις περιπτώσεις διαπιστώνεται ότι το μοντέλο που παράγει το μικρότερο σφάλμα είναι εκείνο της πρώτης περίπτωσης, το οποίο :

- Αποτελείται από 37 μεταβλητές
- Το μέγεθος του « δείγματος εκπαίδευσης» ισούται με οκτώ, δηλαδή από το έτος 1990 ως το έτος 1997
- Το μέγεθος του "δείγματος αξιολόγησης» ισούται με δεκαοκτώ, δηλαδή από το έτος 1998 ως το έτος 2015

Οι μεταβλητές του τελικού μοντέλου είναι οι παρακάτω :

1. Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν ή ΑΕΠ
2. Κατά κεφαλήν εισόδημα
3. «Βαθμοημέρες θέρμανσης»
4. Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα
5. Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου
6. Παραγωγή ενέργειας λόγω πετρελαίου

Τα έτη για τα οποία προβλέπουμε την ενεργειακή ζήτηση είναι τα έτη 2022 ως και 2039 τα οποία αντιστοιχούν σε 18 έτη όσο ακριβώς και το μέγεθος του δείγματος αξιολόγησης. Οι προβλέψεις θα παραχθούν με τον ίδιο τρόπο που περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 3, δηλαδή δεν θα εισάγονται ως εισοδοί οι αυτούσιες τιμές των μεταβλητών για κάθε έτος, αλλά οι επιμέρους διαφορές τους.

Πιο συγκεκριμένα, έστω  $X(t)$  μια εκ των έξι μεταβλητών που αποτελούν την είσοδο στο μοντέλο πρόβλεψης, με το  $t$  να συμβολίζει τα έτη και να παίρνει τιμές από το 2022 ως το 2039.

Τότε ως είσοδο στο σύστημα θεωρούμε την μεταβλητή:

$$Z(t) = X(t) - X(t - 1) \quad (32)$$

Συμπεραίνουμε ότι για να πραγματοποιηθεί η πρόβλεψη θα πρέπει να υπολογίσουμε τις τιμές των έξι ανεξάρτητων μεταβλητών για τα έτη 2021 ως και 2039. Εφόσον παραχθούν οι προβλέψεις χρησιμοποιώντας ως είσοδο την ετήσια μεταβολή για κάθε μεταβλητή, θα προστίθεται η τελευταία τιμή του δείγματος εκπαίδευσης της μεταβλητής της ενεργειακής ζήτησης που αντιστοιχεί στο έτος 1997 και ισούται με 17042 Ktoe .

Οι απαιτούμενες τιμές των μεταβλητών αντλήθηκαν μέσω του ευρωπαϊκού σεναρίου για το 2020 (“EU Reference Scenario 2020”), που αφορά ενεργειακά ζητήματα. Ειδικότερα, το ευρωπαϊκό σενάριο παρέχει προσεγγιστικά τις τιμές διαφόρων ενεργειακών και οικονομικών μεγεθών για κάθε πενταετία από το έτος 2005 ως και το έτος 2050 αλλά και τα ετήσια ποσοστά αύξησης ή μείωσης των αντίστοιχων μεγεθών για τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να υπολογιστούν και όλες οι ενδιάμεσες τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών ώστε να εισαχθούν ως είσοδος στο μοντέλο πρόβλεψης. Η απαιτούμενη διαδικασία περιγράφεται παρακάτω.

#### 4.1.1 Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν ή ΑΕΠ

Οι τιμές του ΑΕΠ όπως αντλήθηκαν από το «Ευρωπαϊκό σενάριο για το 2020» μετατράπηκαν από ευρώ σε δολάρια, πολλαπλασιάζοντας τις επιμέρους τιμές με τον συντελεστή 1,13, και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 15 : Τιμές του ΑΕΠ της Ελλάδας( ανά πενταετία ) από το έτος 2005 ως το 2050 (EU Reference Scenario 2020)

Έτη	ΑΕΠ ( Δις \$)
2005	249,08
2010	245,01
2015	200,29
2020	190,02
2025	220,16
2030	226,47
2035	239,94
2040	261,21
2045	283,81
2050	307,42

Για τα ετήσια ποσοστά μεταβολής ισχύουν τα εξής :

- Ετήσια μείωση 2,5% για τα έτη 2010 ως 2020
- Ετήσια αύξηση 1,8% για τα έτη 2020 ως 2030
- Ετήσια αύξηση 1,5% για τα έτη 2030 ως 2050

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα , οι τιμές του ΑΕΠ για τα έτη 2020 ως και 2039 φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί :

Πίνακας 16 : Τιμές του ΑΕΠ της Ελλάδας για τα έτη 2020 ως 2039 (EU Reference Scenario 2020)

Έτη	ΑΕΠ ( Δισ. \$ )
2020	190,02
2021	193,44
2022	196,92
2023	205,47
2024	212,07
2025	220,16
2026	221,13
2027	222,16
2028	223,28
2029	224,66
2030	226,47
2031	229,87
2032	233,32
2033	236,82
2034	2,37
2035	239,94
2036	243,54
2037	247,19
2038	250,90
2039	254,67

#### 4.1.2 Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου

Οι πληροφορίες που αφορούν την παραγωγή ενέργειας από πετρέλαιο και υδρογονάνθρακες είναι οργανωμένες στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 17 : Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου στην Ελλάδα ( ανά πενταετία ) από το έτος 2005 ως το 2050 (EU Reference Scenario 2020)

Έτη	Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου (Ktoe)
2005	98,55
2010	113,24
2015	76,68
2020	43,28

2025	52,79
2030	50,04
2035	48,44
2040	0
2045	0
2050	0

Για τα ετήσια ποσοστά μεταβολής ισχύουν τα εξής :

- Ετήσια μείωση 9,2% για τα έτη 2010 ως 2020
- Ετήσια αύξηση 1,5% για τα έτη 2020 ως 2030
- Ετήσια μείωση 0,4% για τα έτη 2030 ως 2035
- Ετήσια μείωση 40% για τα έτη 2035 ως 2040

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα, οι τιμές της παραγωγής ενέργειας που οφείλεται στο πετρέλαιο και τους υδρογονάνθρακες για τα έτη 2020 ως και 2039 φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί :

*Πίνακας 18 : Παραγωγή ενέργειας λόγω πετρελαίου στην Ελλάδα για τα έτη 2020 ως 2039 (EU Reference Scenario 2020)*

Έτη	Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου (Ktoe)
2020	43,28
2021	43,93
2022	44,58
2023	45,25
2024	45,93
2025	52,79
2026	53,59
2027	54,39
2028	55,21
2029	56,03
2030	50,04
2031	49,84
2032	49,64
2033	49,44
2034	49,24
2035	48,44
2036	29,06
2037	17,43
2038	10,46
2039	6,27

### 4.1.3 Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου

Οι πληροφορίες που αφορούν την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το φυσικό αέριο είναι οργανωμένες στον παρακάτω πίνακα :

*Πίνακας 19 : Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου στην Ελλάδα ( ανά πενταετία ) από το έτος 2005 ως το 2050 (EU Reference Scenario 2020)*

Έτη	Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου (Ktoe)
2005	18,29
2010	7,61
2015	4,71
2020	20,83
2025	548,18
2030	1408,40
2035	1581,58
2040	1800,83
2045	1749,20
2050	2277,57

Για τα ετήσια ποσοστά μεταβολής ισχύουν τα εξής:

- Ετήσια αύξηση 10,6% για τα έτη 2010 ως 2020
- Ετήσια αύξηση 90% για τα έτη 2020 ως 2025
- Ετήσια αύξηση 20% για τα έτη 2025 ως 2030
- Ετήσια αύξηση 2,4% για τα έτη 2030 ως 2040

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα, οι τιμές της παραγωγής ενέργειας που οφείλεται στο φυσικό αέριο για τα έτη 2020 ως και 2039 φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

*Πίνακας 20 : Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου στην Ελλάδα για τα έτη 2020 ως το 2039 (EU Reference Scenario 2020)*

Έτη	Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου (ktoe)
2020	20,83
2021	39,58
2022	75,21
2023	142,91
2024	271,53
2025	548,18

2026	657,82
2027	789,38
2028	947,26
2029	1136,71
2030	1408,40
2031	1442,20
2032	1476,81
2033	1512,26
2034	1548,55
2035	1581,58
2036	1619,54
2037	1658,41
2038	1698,21
2039	1738,97

#### 4.1.4 Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα

Αρχικά πρέπει να υπολογιστεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα. Οι πληροφορίες που αφορούν το συγκεκριμένο μέγεθος είναι οργανωμένες στον παρακάτω πίνακα:

*Πίνακας 21 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα στην Ελλάδα( ανά πενταετία ) από το έτος 2005 ως το 2050 (EU Reference Scenario 2020)*

Έτη	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα (GWh)
2005	35543
2010	30797
2015	22536,06
2020	6884,71
2025	0
2030	0
2035	0
2040	0
2045	0
2050	0

Διαπιστώνεται ότι από το έτος 2025 και έπειτα η παραγωγή ηλεκτρισμού με χρησιμοποιούμενο καύσιμο τον άνθρακα ισούται με μηδέν, και κατ' επέκταση και το αντίστοιχο ποσοστό θα ισούται με μηδέν. Για τα ποσοστά μεταβολής του συγκεκριμένου μεγέθους ισχύουν τα εξής:



- Ετήσια μείωση 13,9% για τα έτη 2010 ως 2020
- Ετήσια μείωση 40% για τα έτη 2020 ως 2025
- Για τα επόμενα έτη δεδομένου ότι η παραγωγή προσεγγίζει το μηδέν δεν ορίζεται ποσοστό μεταβολής

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα, οι τιμές της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που οφείλεται στον άνθρακα για τα έτη 2020 ως και 2039 φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 22 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα λόγω άνθρακα για τα έτη 2020 ως το 2039 (EU Reference Scenario 2020)

Έτη	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα (GWh)
2020	6884,714346
2021	4130,828608
2022	2478,497165
2023	1487,098299
2024	892,2589792
2025	0
2026	0
2027	0
2028	0
2029	0
2030	0
2031	0
2032	0
2033	0
2034	0
2035	0
2036	0
2037	0
2038	0
2039	0

Τα δεδομένα για την συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συγκεντρώνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 23 : Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας ( ανά πενταετία ) από το έτος 2005 ως το 2050 (EU Reference Scenario 2020)

Έτη	Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (GWh)
2005	59427
2010	57367
2015	51813,81
2020	47052,26
2025	50404,97
2030	60586,98
2035	65173,73
2040	67533,18
2045	71630,65
2050	78639,21

Για τα ετήσια ποσοστά μεταβολής ισχύουν τα εξής :

- Ετήσια μείωση 2% για τα έτη 2010 ως 2020
- Ετήσια αύξηση 2,6% για τα έτη 2020 ως 2030
- Ετήσια αύξηση 1,3% για τα έτη 2030 ως 2050

Για την συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζονται μόνο οι τιμές για τα έτη 2020 ως 2024, καθώς για όλα τα υπόλοιπα έτη η ηλεκτροπαραγωγή που οφείλεται στο κάρβουνο ισούται με μηδέν. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα, οι τιμές της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τα έτη 2020 ως και 2024 παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 24 : Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για τα έτη 2020 ως το 2024 (EU Reference Scenario 2020)

Έτη	Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (GWh)
2020	47052,26559
2021	48275,62449
2022	49530,79073
2023	50818,59129
2024	52139,87466

Έχοντας υπολογίζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που οφείλεται στον άνθρακα και την συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί πλέον να υπολογιστεί και το αντίστοιχο ποσοστό, το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 25 : Ποσοστό παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα στην Ελλάδα για τα έτη 2020 ως το 2039 (EU Reference Scenario 2020)

Έτη	Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα (GWh)
2020	0,146
2021	0,085
2022	0,050
2023	0,029
2024	0,017
2025	0
2026	0
2027	0
2028	0
2029	0
2030	0
2031	0
2032	0
2033	0
2034	0
2035	0
2036	0
2037	0
2038	0
2039	0

#### 4.1.5 Κατά κεφαλήν εισόδημα

Για το κατά κεφαλήν εισόδημα, δεδομένου ότι δεν ήταν διαθέσιμες οι τιμές του μέσω του ευρωπαϊκού σεναρίου για το 2020, θεωρήθηκε ότι το ποσοστό μεταβολής του προσεγγίζει το ποσοστό μεταβολής του κατά κεφαλήν ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος, το οποίο προκύπτει από την διαίρεση του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος με τον συνολικό πληθυσμό. Το ετήσιο ποσοστό μεταβολής του κατά κεφαλήν ΑΕΠ για το έτος  $t$  υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Ετήσιο Ποσοστό Μεταβολής κατά κεφαλήν ΑΕΠ (t)} = \frac{\text{κατά κεφαλήν ΑΕΠ (t)} - \text{κατά κεφαλήν ΑΕΠ (t-1)}}{\text{κατά κεφαλήν ΑΕΠ (t-1)}} \quad (33)$$

Για τον υπολογισμό του είναι απαραίτητη η εύρεση των τιμών του πληθυσμού της Ελλάδας για τα έτη 2018 ως 2039 . Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε την ποσοστιαία μεταβολή του κατά κεφαλήν ΑΕΠ και γνωρίζοντας το κατά κεφαλήν εισόδημα για το έτος 2018 από τα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του μοντέλου προβλέψεων, θα προκύψουν και οι τιμές του κατά κεφαλήν εισοδήματος για τα επόμενα έτη

μέχρι και το 2039. Τα δεδομένα για τον πληθυσμό συγκεντρώνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 26 : Πληθυσμός της Ελλάδας (ανά πενταετία) από το έτος 2005 ως το 2050 (EU Reference Scenario 2020)

Έτη	Πληθυσμός
2005	11073713
2010	11183516
2015	10858018
2020	10696535
2025	10510196
2030	10510196
2035	10104622
2040	9910798
2045	9713851
2050	9503127

Για τα ετήσια ποσοστά μεταβολής ισχύουν τα εξής :

- Ετήσια μείωση 0,4% για τα έτη 2010 ως 2050

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα, ο πληθυσμός για τα έτη 2018 ως και 2039 φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 27 : Πληθυσμός της Ελλάδας για τα έτη 2018 ως 2039 (EU Reference Scenario 2020)

Έτη	Πληθυσμός
2018	10728242
2019	10685329
2020	10696535
2021	10653749
2022	10611134
2023	10568689
2024	10526415
2025	10510196
2026	10468155
2027	10426283
2028	10384577
2029	10343039
2030	10510196
2031	10468155
2032	10426283
2033	10384577
2034	10343039
2035	10104622

2036	10064204
2037	10023947
2038	9983851
2039	9943916

Και εφόσον έχουμε ήδη υπολογίσει το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν για τα αντίστοιχα έτη προηγουμένως, το κατά κεφαλήν ακαθάριστο προϊόν προκύπτει ως εξής :

$$\text{Κατά κεφαλήν ΑΕΠ} = \frac{\text{ΑΕΠ}}{\text{Πληθυσμός}} \quad (34)$$

Παρακάτω απεικονίζονται το κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν για έτη 2018 ως 2039 και η ποσοστιαία μεταβολή του για τα έτη 2019 ως 2039:

Πίνακας 28 : Κατά κεφαλήν ΑΕΠ και ετήσια μεταβολή του κατά κεφαλήν ΑΕΠ της Ελλάδας για τα έτη 2018 ως 2039

Έτη	Κατά κεφαλήν ΑΕΠ ( \$ )	Ετήσια ποσοστιαία μεταβολή του κατά κεφαλήν ΑΕΠ (%)
2018	17304,95	
2019	16940,09	-2,10
2020	17764,63	4,86
2021	18156,98	2,20
2022	18557,86	2,20
2023	19441,38	4,76
2024	20146,46	3,62
2025	20947,27	3,97
2026	21124,06	0,84
2027	21307,68	0,86
2028	21501,11	0,90
2029	21720,88	1,02
2030	21547,64	0,79
2031	21958,97	1,90
2032	22378,06	1,90
2033	22804,97	1,90
2034	23046,41	1,05
2035	23745,56	3,03
2036	24198,63	1,90
2037	24659,94	1,90
2038	25130,58	1,90
2039	25610,63	1,91

Το κατά κεφαλήν εισόδημα για τα έτη 2019 ως 2039 παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 29 : Κατά κεφαλήν εισόδημα της Ελλάδας για τα έτη 2018 ως 2039

Έτη	Κατά κεφαλήν εισόδημα ( \$ )
2018	19037,17
2019	18635,78
2020	19542,86
2021	19974,49
2022	20415,50
2023	21387,46
2024	22163,11
2025	23044,09
2026	23238,57
2027	23440,58
2028	23653,37
2029	23895,14
2030	23704,56
2031	24157,06
2032	24618,09
2033	25087,74
2034	25353,35
2035	26122,49
2036	26620,91
2037	27128,39
2038	27646,14
2039	28174,25

#### 4.1.6 Βαθμομέρες θέρμανσης (“Heating Degree Days”)

Για τον υπολογισμό των «βαθμομερών θέρμανσης» (“HDD”) ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία :

Η τιμή της μεταβλητής για κάθε έτος ισούται με τον μέσο όρο των τιμών των προηγούμενων 18 ετών. Πιο συγκεκριμένα η τιμή της μεταβλητής δίνεται από τον τύπο:

$$HDD(t) = \frac{\sum_{i=1}^{18} HDD(t-i)}{18} \quad (35)$$

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές για την μεταβλητή HDD από το έτος 2001 ως 2018, οι οποίες είναι γνωστές καθώς χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του μοντέλου πρόβλεψης, και οι αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν για τα έτη 2019 ως και 2039.

Πίνακας 30 : «Βαθμομημέρες θέρμανσης» της Ελλάδας για τα έτη 2001 ως 2018 (World Energy Balances Highlights)

Έτη	Βαθμομημέρες θέρμανσης
2001	3,48
2002	4,2
2003	4,56
2004	4,38
2005	5,1
2006	4,92
2007	3,66
2008	3,66
2009	3,84
2010	2,58
2011	4,92
2012	3,3
2013	3,3
2014	3,3
2015	4,02
2016	2,94
2017	3,66
2018	2,4

Άρα οι τιμές των «βαθμομημερών θέρμανσης» για τα έτη 2019 ως 2039 προκύπτουν ως εξής:

Πίνακας 31 : «Βαθμομημέρες θέρμανσης» της Ελλάδας για τα έτη 2019 ως 2039 (35)

Έτη	Βαθμομημέρες θέρμανσης
2019	3,79
2020	3,81
2021	3,79
2022	3,74
2023	3,71
2024	3,63
2025	3,56
2026	3,55
2027	3,55
2028	3,53

2029	3,58
2030	3,51
2031	3,52
2032	3,53
2033	3,55
2034	3,52
2035	3,55
2036	3,54
2037	3,61
2038	3,6
2039	3,59

## 4.2 Αποτελέσματα

Παρακάτω, η συνολική ζήτηση ενέργειας παρουσιάζεται σε μορφή πίνακα για τα έτη 2022 ως 2039 αλλά και αναπαρίσταται διαγραμματικά για τα έτη 2005 ως 2039 :

Πίνακας 32 : Συνολική ενεργειακή ζήτηση της Ελλάδας για τα έτη 2022 ως 2039

Έτη	Συνολική ενεργειακή ζήτηση (ktoe)
2022	17757,62
2023	17899,17
2024	18440,21
2025	21032,79
2026	19695,3
2027	20046,09
2028	20070,15
2029	20004,37
2030	19652,72
2031	17657,7
2032	17658,64
2033	17656,6
2034	17730,65
2035	17063,78
2036	17220,23
2037	17309,61
2038	17641,35
2039	17645,32



## Κεφάλαιο 5 : Συμπεράσματα και προεκτάσεις

### 5.1 Αποτίμηση των αποτελεσμάτων

#### 5.1.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης

Για να διαπιστωθεί η ακρίβεια της πρόβλεψης του μοντέλου παλινδρόμησης θα πραγματοποιηθούν τρεις νέες προβλέψεις και θα υπολογιστεί το μέσο ποσοστιαίο σφάλμα (“MAPE”) που παράγουν (28). Οι τεχνικές πρόβλεψης που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι η Naïve,, η απλή εκθετική εξομάλυνση ή μοντέλο σταθερού επιπέδου (“Simple Exponential Smoothing”) και το μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης ARIMA. Τα μέσα ποσοστιαία σφάλματα των τριών τεχνικών θα αποτελέσουν τα σημεία αναφοράς (“benchmark”), ώστε να συγκριθεί με αυτά το σφάλμα που παράγει η γραμμική παλινδρόμηση. Για τα παραπάνω μοντέλα, οι προβλέψεις θα παραχθούν εισάγοντας ως είσοδο δεδομένα ενεργειακής ζήτησης παλαιότερων ετών.

Για την κατασκευή του μοντέλου παλινδρόμησης διακρίθηκαν τρεις περιπτώσεις, κάθε μία με διαφορετικό δείγμα εκπαίδευσης και διαπιστώθηκε ότι το βέλτιστο μοντέλο ήταν εκείνο με το μικρότερο δείγμα εκπαίδευσης και περιείχε δεδομένα μόνο για τα έτη 1990 ως 1997. Για το συγκεκριμένο δείγμα εκπαίδευσης παρήχθησαν προβλέψεις σε ορίζοντα 18 ετών, δηλαδή για τα έτη 1998 ως και 2015. Αντίστοιχα για την παραγωγή των προβλέψεων με τις προαναφερθείσες τεχνικές θα θεωρηθούν γνωστές η παρατηρήσεις που αφορούν την ενεργειακή ζήτηση για έτη 1990 ως και 1997 και θα προβλεφθούν τα επόμενα 18 έτη. Παρακάτω φαίνονται οι τιμές της ενεργειακής ζήτησης που θεωρούνται δεδομένες και σύμφωνα με αυτές θα πραγματοποιηθούν οι επιμέρους προβλέψεις

Πίνακας 33 : Ενεργειακή ζήτηση της Ελλάδας για τα έτη 1990 ως 1997 (World Energy Balances Highlights)

Έτη	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Ενεργειακή ζήτηση (ktoe)	14493,84	14808,35	14801,14	14747,52	14858,69	15349,51	16497,87	17042,18

#### Naive

Για την μέθοδο Naïve, η οποία αποτελεί την πιο απλή στατιστική μέθοδο, η πρόβλεψη για το έτος 1998 είναι ίση με την πραγματική τιμή της ζήτησης ενέργειας για το έτος 1997, δηλαδή της ακριβώς προηγούμενης χρονιάς.

Προφανώς η παραγόμενη πρόβλεψη ισούται με :

$$Y_t = 17042,18 \text{ ktoe,}$$

οπού το  $t$  συμβολίζει τα έτη και λαμβάνει τιμές από 1998 ως 2015

### Απλή εκθετική εξομάλυνση

Για την συγκεκριμένη τεχνική πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε το πακέτο “Forecast” της γλώσσας προγραμματισμού R και η βέλτιστη τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης  $\alpha$  υπολογίστηκε ίση με 0,98. Η εύρεση του βέλτιστου συντελεστή εξομάλυνσης γίνεται αυτοματοποιημένα μέσω της εντολής “ses” δεδομένου της χρονοσειράς που εισάγουμε ως είσοδο στο εκάστοτε μοντέλο.

### Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης ARIMA

Ομοίως χρησιμοποιήθηκε το πακέτο “Forecast” της R και με βάση την δεδομένη είσοδο προέκυψε μοντέλο ARIMA(0,1,0) με σταθερά ίση με 364,05. Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου γίνεται αυτοματοποιημένα μέσω της εντολής “auto.arima” και εξαρτάται από τη χρονοσειρά που θα εισάγουμε ως είσοδο στο εκάστοτε μοντέλο.

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τις προβλέψεις και τις πραγματικές τιμές της ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 1998 ως και 2015.

Πίνακας 34 : Πραγματικές τιμές και προβλέψεις ενεργειακής ζήτησης της Ελλάδας για τα έτη 1998 ως 2015 (περίπτωση1)

Έτη	Ενεργειακή Ζήτηση (ktoe)				
	Γραμμική Παλινδρόμηση	Μοντέλο σταθερού επιπέδου	ARIMA	Naïve	Πραγματική
1998	18626,45	17036,62	16872,02	17042,18	18037,05
1999	18409,66	17036,62	17770,28	17042,18	17837,83
2000	18498,19	17036,62	18134,33	17042,18	18512,12
2001	17796,54	17036,62	18498,38	17042,18	19154,2
2002	18050,04	17036,62	18862,43	17042,18	19558,42
2003	18764,31	17036,62	19226,48	17042,18	20638,38
2004	18527,96	17036,62	19590,53	17042,18	20454,86
2005	16652,97	17036,62	19954,58	17042,18	20852,07
2006	20489,61	17036,62	20318,63	17042,18	21445,22
2007	18890,16	17036,62	20682,68	17042,18	21828,32
2008	18784,39	17036,62	21046,73	17042,18	21228,05
2009	16692,89	17036,62	21410,78	17042,18	20640,61
2010	18521,48	17036,62	21774,83	17042,18	19485,39
2011	17368,58	17036,62	22138,88	17042,18	19070,90
2012	16260,24	17036,62	22502,93	17042,18	17131,40
2013	17501,1	17036,62	22866,98	17042,18	15318,72
2014	15222,07	17036,62	23231,03	17042,18	15509,28
2015	16799,32	17036,62	23595,08	17042,18	16440,87

Τα αντίστοιχα μέσα ποσοστιαία σφάλματα για κάθε τεχνική πρόβλεψης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 35 : Σφάλμα MAPE των επιμέρους προβλέψεων

Τεχνική πρόβλεψης	MAPE (%)
Γραμμική Παλινδρόμηση	8,09%
Μοντέλο σταθερού επιπέδου	12,36%
ARIMA	13,78%
Naive	12,35%

Παρατηρούμε ότι :

- Το μοντέλο σταθερού επιπέδου και η Naïve παράγουν σχεδόν ίσα μέσα ποσοστιαία σφάλματα
- Το μοντέλο ARIMA παράγει 70,33% μεγαλύτερο σφάλμα από αυτό που παράγει το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης
- Το μοντέλο σταθερού επιπέδου παράγει 52,78% μεγαλύτερο σφάλμα από αυτό που παράγει μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Η ίδια διαδικασία θα επαναληφθεί, εισάγοντας στα παραπάνω μοντέλα τη χρονοσειρά της ζήτησης ενέργειας για τα έτη 1971 ως 1997, αυξάνοντας το δείγμα. Για την παραγωγή των προβλέψεων θα θεωρηθούν γνωστές η παρατηρήσεις που αφορούν την ενεργειακή ζήτηση για έτη 1971 ως και 1997 και θα προβλεφθούν τα επόμενα 18 έτη.

### Naive

Για την μέθοδο πρόβλεψης Naïve, είναι λογικό ότι οι προβλέψεις παραμένουν ίδιες.

### Απλή εκθετική εξομάλυνση

Για την συγκεκριμένη τεχνική πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε, όπως προηγουμένως το πακέτο “Forecast” της γλώσσας προγραμματισμού R και η βέλτιστη τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης  $\alpha$  υπολογίστηκε ίση με 0,98.

### Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης ARIMA

Ομοίως χρησιμοποιήθηκε το πακέτο “Forecast” της R και με βάση την νέα είσοδο προέκυψε μοντέλο ARIMA(0,1,0) με σταθερά ίση με 395,55.

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τις προβλέψεις και τις πραγματικές τιμές της ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 1998 ως και 2015, έχοντας αυξήσει σημαντικά το δείγμα:

Πίνακας 36 : Πραγματικές τιμές και προβλέψεις ενεργειακής ζήτησης της Ελλάδας για τα έτη 1998 ως 2015 (περίπτωση 2)

Έτη	Ενεργειακή Ζήτηση (ktoe)				
	Γραμμική Παλινδρόμηση	Μοντέλο σταθερού επιπέδου	ARIMA	Naïve	Πραγματική
1998	18626,45	17072,13	17437,75	17042,18	18037,05
1999	18409,66	17072,13	17833,29	17042,18	17837,83
2000	18498,19	17072,13	18228,84	17042,18	18512,12
2001	17796,54	17072,13	18624,39	17042,18	19154,2
2002	18050,04	17072,13	19019,94	17042,18	19558,42
2003	18764,31	17072,13	19415,49	17042,18	20638,38
2004	18527,96	17072,13	19811,04	17042,18	20454,86
2005	16652,97	17072,13	20206,59	17042,18	20852,07
2006	20489,61	17072,13	20602,14	17042,18	21445,22
2007	18890,16	17072,13	20997,69	17042,18	21828,32
2008	18784,39	17072,13	21393,25	17042,18	21228,05
2009	16692,89	17072,13	21788,80	17042,18	20640,61
2010	18521,48	17072,13	22184,35	17042,18	19485,39
2011	17368,58	17072,13	22579,90	17042,18	19070,90
2012	16260,24	17072,13	22975,45	17042,18	17131,40
2013	17501,1	17072,13	23371	17042,18	15318,72
2014	15222,07	17072,13	23766,55	17042,18	15509,28
2015	16799,32	17072,13	24162,10	17042,18	16440,87

Τα αντίστοιχα μέσα ποσοστιαία σφάλματα για κάθε τεχνική πρόβλεψης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 37 : Σφάλμα MAPE των επιμέρους προβλέψεων

Τεχνική πρόβλεψης	MAPE (%)
Γραμμική Παλινδρόμηση	8,09%
Μοντέλο σταθερού επιπέδου	12,22%
ARIMA	13,56%
Naïve	12,35%

Παρατηρούμε ότι :

- Το μοντέλο σταθερού επιπέδου και η Naïve παράγουν σχεδόν ίσα μέσα ποσοστιαία σφάλματα.
- Το μοντέλο ARIMA παράγει 67,61% μεγαλύτερο σφάλμα από αυτό που παράγει το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.
- Το μοντέλο σταθερού επιπέδου παράγει 51% μεγαλύτερο σφάλμα από αυτό που παράγει το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.

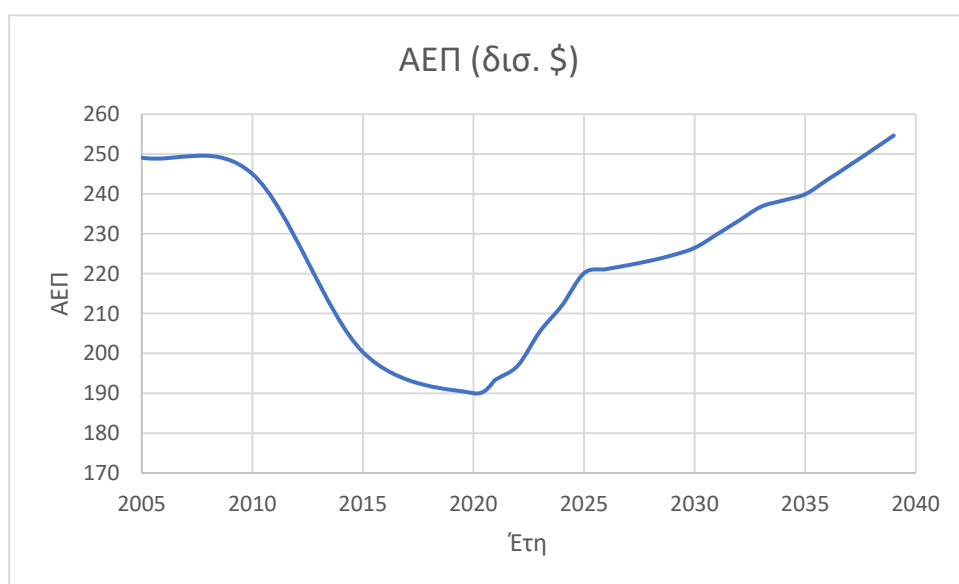
Συμπερασματικά, αποδεικνύεται ότι το μοντέλο της παλινδρόμησης που αναπτύχθηκε στη παρούσα διπλωματική παράγει πιο ακριβείς προβλέψεις σε σχέση με τις άλλες γνωστές τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

### 5.1.2 Παρατηρήσεις

Στην προηγούμενη υποενότητα πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ του μοντέλου που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διπλωματικής και άλλων γνωστών τεχνικών πρόβλεψης και διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης παράγει μικρότερο μέσο ποσοστιαίο σφάλμα σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ακολουθούν ορισμένες παρατηρήσεις που αφορούν το πως επηρεάζεται η συνολική ενεργειακή ζήτηση από την μεταβολή των μεταβλητών εισόδου του μοντέλου:

#### ΑΕΠ



Σχήμα 8 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής του ΑΕΠ για τα έτη 2005 ως 2040

Για την μεταβλητή που αφορά το ΑΕΠ, παρατηρείται ανοδική τάση που σε συνδυασμό με τον θετικό συντελεστή  $\alpha_{x_1} = 2,2 * 10^{-7}$  συνεισφέρει στην αύξηση της συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Πιο συγκεκριμένα, ο ρυθμός μεταβολής του ΑΕΠ την πενταετία 2020 ως 2025 είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο ρυθμό των επόμενων ετών γι' αυτό και η συνεισφορά της μεταβλητής στην αύξηση του ζήτησης είναι πιο καθοριστική σε σχέση με εκείνη των επόμενων ετών.

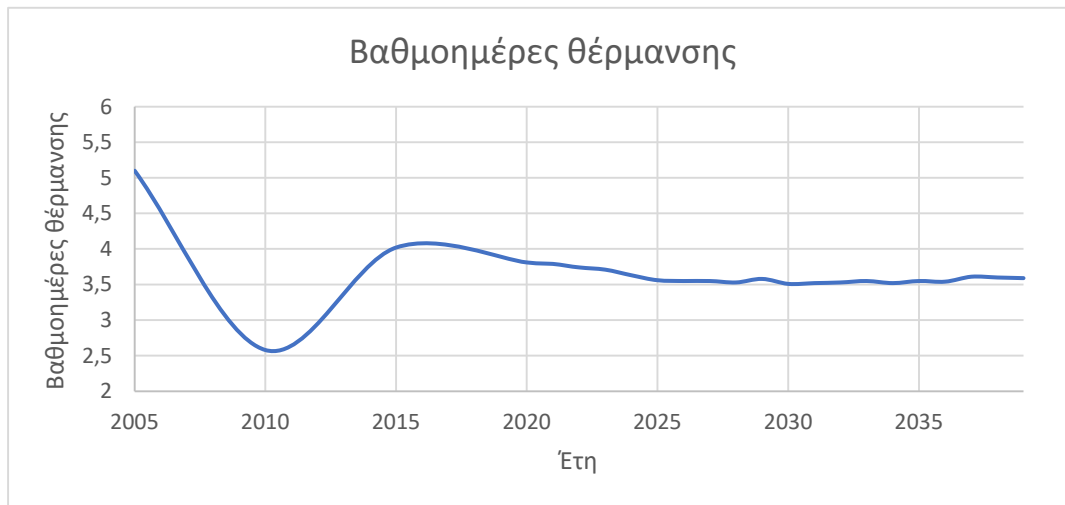
- **Κατά κεφαλήν εισόδημα**



Σχήμα 9 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής του κατά κεφαλήν εισοδήματος για τα έτη 2005 ως 2040

Για την μεταβλητή που αφορά το κατά κεφαλήν εισόδημα, παρατηρείται ομοίως ανοδική τάση που σε συνδυασμό με τον αρνητικό συντελεστή  $\alpha_{x_2} = -2,62$  συνεισφέρει στην μείωση της συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Διαπιστώνεται ότι η μεταβλητή του κατά κεφαλήν εισοδήματος ακολουθεί εκείνη του ΑΕΠ, καθώς νωρίτερα θεωρήσαμε ότι, προσεγγιστικά, τα δύο μεγέθη μεταβάλλονται με τον ίδιο ρυθμό.

- **Βαθμομέρες Θέρμανσης**



Σχήμα 10 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής των βαθμομερών θέρμανσης για τα έτη 2005 ως 2040

Παρατηρούμε ότι η μεταβολή της παραπάνω μεταβλητής είναι της τάξης του  $10^{-2}$  και σε συνδυασμό με τον συντελεστή  $\alpha_{X_3} = 302,02$  μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η συνεισφορά της στην μεταβολή της ενεργειακής ζήτησης είναι αμελητέα.

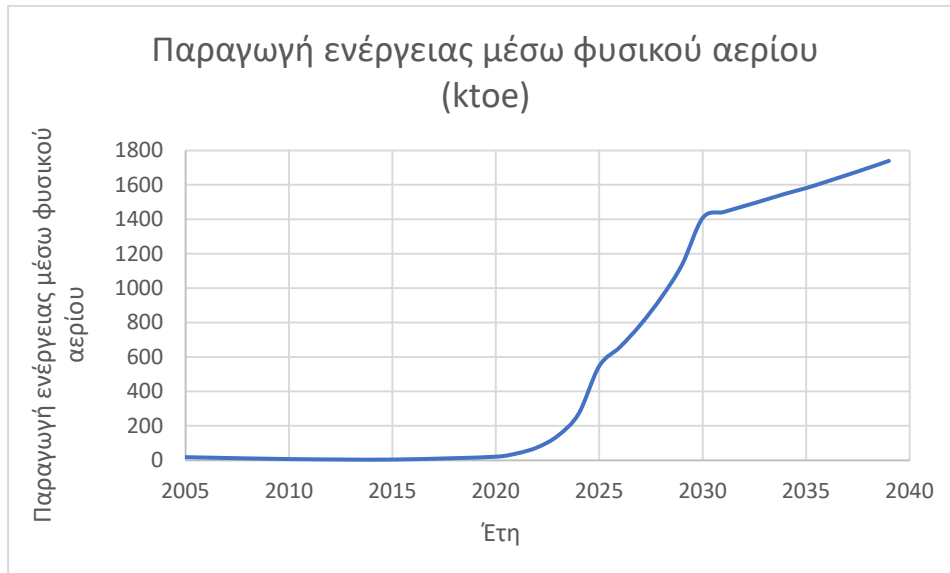
- **Ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής μέσω άνθρακα**



Σχήμα 11 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής του ποσοστού ηλεκτροπαραγωγής μέσω άνθρακα για τα έτη 2005 ως 2040

Για την συγκεκριμένη μεταβλητή παρατηρείται πτωτική τάση μέχρι το έτος 2025, όπου πλέον η μεταβλητή προσεγγίζει το μηδέν. Για την πενταετία 2020 ως 2025, δεδομένου του αρνητικού συντελεστή  $\alpha_{X_4} = -750,37$ , η μεταβλητή συνεισφέρει στην αύξηση της συνολικής ενεργειακής ζήτησης.

- **Παραγωγή ενέργειας μέσω φυσικού αερίου**



Σχήμα 12 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής της παραγωγής ενέργειας μέσω φυσικού αερίου για τα έτη 2005 ως 2040

Για την μεταβλητή που αφορά την παραγωγή ενέργειας μέσω φυσικού αερίου, παρατηρείται ανοδική τάση που σε συνδυασμό με τον θετικό συντελεστή  $\alpha_{\chi 5} = 16,41$  συνεισφέρει στην αύξηση της συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώνεται πως η παραπάνω μεταβλητή αυξάνεται κατακόρυφα την πενταετία 2020 ως και 2025 ξεκινώντας από περίπου 20 ktoe και προσεγγίζοντας τα 550 Ktoe 5 χρόνια μετά. Στη συνέχεια συνεχίζει να αυξάνεται από τα 550 Ktoe το 2025 στα 1400 ktoe το 2030, τριπλασιάζοντας σχεδόν την τιμή της. Από το έτος 2030 και έπειτα αυξάνεται με αισθητά μειωμένο ρυθμό όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα.



- **Παραγωγή ενέργειας μέσω αργού πετρελαίου**



Σχήμα 13 : Διάγραμμα μεταβολής της μεταβλητής της παραγωγής ενέργειας μέσω αργού πετρελαίου για τα έτη 2005 ως 2040

Όσον αφορά την μεταβλητή της παραγωγής ενέργειας μέσω αργού πετρελαίου, παρατηρείται ότι από το έτος 2020 ως και 2035 η συνεισφορά της δεν μπορεί να χαρακτηριστεί καθοριστική για την μεταβολή της ενεργειακής ζήτησης καθώς η τιμή της μεταβάλλεται με πολύ μικρό ρυθμό. Αντίθετα, από το έτος 2035 και έπειτα σημειώνει μεγάλη πτώση, από περίπου 50 ktoe το 2035 σε 6 ktoe το 2039, που σε συνδυασμό με τον αρνητικό συντελεστή  $\alpha_{x2} = -1,63$  οδηγεί σε αύξηση της ενεργειακής ζήτησης.

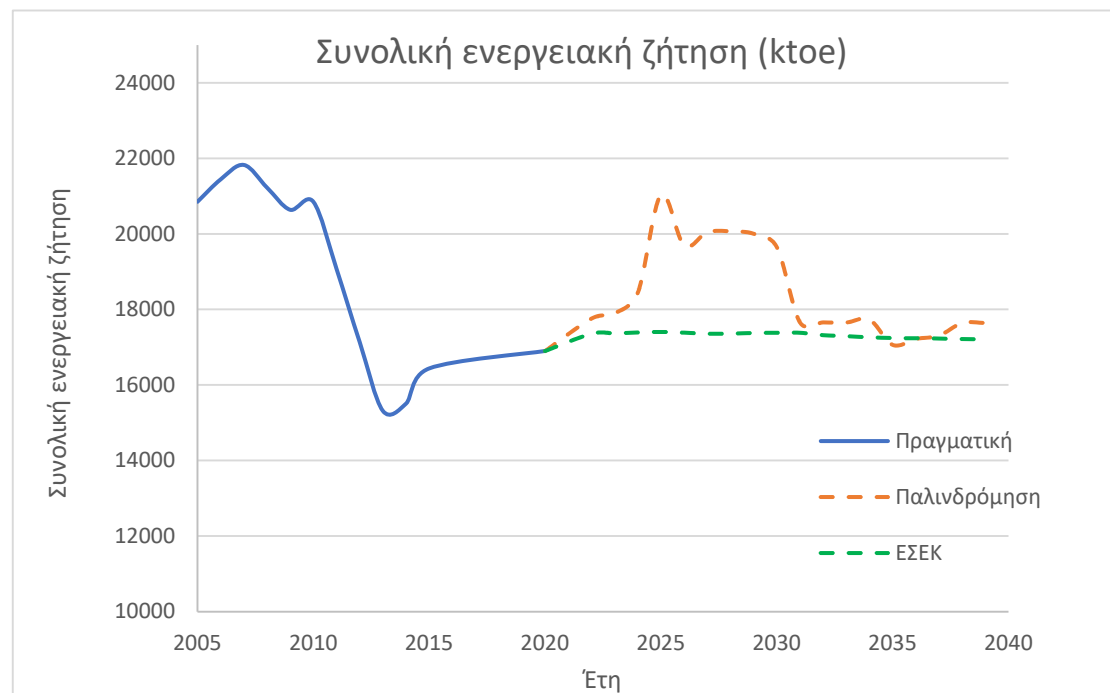
### 5.1.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ γραμμικής παλινδρόμησης και ΕΣΕΚ

Η παρούσα υποενοότητα έχει ως στόχο να παρουσιαστούν ορισμένες διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ των προβλέψεων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και των προβλέψεων που πραγματοποίησε η ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα, και να διερευνηθούν οι λόγοι των αποκλίσεων των δύο προβλέψεων. Τέλος, θα επισημανθούν ορισμένες παρατηρήσεις που αφορούν την μεταβολή της ενεργειακής ζήτησης μέχρι το 2040, όπως προβλέφθηκε για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διπλωματικής.

#### **Μεταβολή της ενεργειακής ζήτησης ως το 2040**

Εφόσον εξετάστηκε η σχέση που συνδέει τις μεταβλητές εισόδου και την ενεργειακή ζήτηση θα προχωρήσουμε στην επισήμανση ορισμένων

παρατηρήσεων που αφορούν την μεταβολή της ενεργειακής ζήτησης μέχρι το 2040, όπως προβλέφθηκε για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διπλωματικής. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν ορισμένες διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ των προβλέψεων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και των προβλέψεων που πραγματοποίησε η ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα, και θα διερευνηθούν οι λόγοι των αποκλίσεων των δύο προβλέψεων.



Σχήμα 14 : Προβλέψεις της ενεργειακής ζήτησης για έτη 2022 ως 2040

Στο παραπάνω διάγραμμα αποτυπώνεται η πραγματική ενεργειακή ζήτηση μέχρι και το έτος 2021, καθώς και οι δυο διαφορετικές προβλέψεις μέχρι το έτος 2040.

Από την παραπάνω διαγραμματική αναπαράσταση διαπιστώνουμε ότι η ελληνική κυβέρνηση, στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ, προβλέπει ότι η ενεργειακή ζήτηση θα αυξηθεί μέχρι το 2022 φτάνοντας τα 17406 ktoe. Το ποσοστό μεταβολής της ζήτησης για τα έτη 2020 ως 2022 προσεγγίζει το 3%. Στη συνέχεια φαίνεται πως παραμένει σταθερή, προσεγγίζοντας τα 17300 ktoe μέχρι το έτος 2040.

Την ίδια στιγμή, το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης προβλέπει αρκετά μεγαλύτερη αύξηση της ενεργειακής ζήτησης, που ξεκινά το έτος 2020 και κορυφώνεται το 2025. Το ποσοστό μεταβολής για τα έτη 2020 ως 2025 προσεγγίζει το 18%. Η ραγδαία αύξηση οφείλεται στην αύξηση της παραγόμενης ενέργειας μέσω φυσικού αερίου, που ενώ το 2020 προσεγγίζει τα 21 ktoe, 5 χρόνια αργότερα εκτοξεύεται στα 548 ktoe, εικοσιπέντε φορές μεγαλύτερη από εκείνη το 2020, σε συνδυασμό με την αύξηση του ΑΕΠ την ίδια χρονική περίοδο.

Έπειτα παρατηρείται ελάττωση της ενεργειακής ζήτησης, που από 21032 ktoe το έτος 2025 μειώνεται στα 20046 ktoe το 2027 και φτάνει τελικά τα 17657 ktoe το 2031. Η μείωση αυτή οφείλεται στην πτωτική τάση της μεταβλητής που αφορά την ηλεκτροπαραγωγή μέσω άνθρακα, που μετά το 2025 προσεγγίζει πλέον το μηδέν, στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής πολιτικής της Ελλάδος που θέτει ως βασικό στόχο την «απολιγνιτοποίηση», καθώς και στην μεταβολή της μεταβλητής του ΑΕΠ, η οποία συνεχίζει να αυξάνεται, αλλά με μικρότερο ρυθμό σε σχέση με την προηγούμενη πενταετία.

Την επομένη πενταετία, από το 2030 ως το 2035 η ενεργειακή ζήτηση συνεχίζει να μειώνεται φτάνοντας μέχρι τα 17063 ktoe, ως αποτέλεσμα της σταθερής αύξησης του κατά κεφαλήν εισοδήματος, σε συνδυασμό με την μείωση του ρυθμού αύξησης της μεταβλητής που αφορά την παραγωγή ενέργειας μέσω φυσικού αερίου.

Τέλος από το 2035 και έπειτα, παρατηρείται μικρή αύξηση της ενεργειακής ζήτησης που πιθανόν οφείλεται στην κατακόρυφη μείωση της μεταβλητής που αφορά την παραγωγή ενέργειας μέσω αργού πετρελαίου, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές συνεχίζουν να μεταβάλλονται με σταθερό ρυθμό.

#### **Αποκλίσεις μεταξύ των δύο προβλέψεων**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι προβλέψεις του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζουν αποκλίσεις σε σχέση με εκείνες της κυβέρνησης. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την παλινδρόμηση, η μέση ενεργειακή ζήτηση από το 2022 ως και το 2030 υπολογίζεται ίση με 19400 ktoe και είναι 11,6% μεγαλύτερη από τα 17377 ktoe που προβλέπει η ελληνική κυβέρνηση στην αντίστοιχη χρονική περίοδο. Η μέγιστη απόκλιση σημειώνεται το έτος 2025 και ισούται με 21%. Από το έτος 2030 και έπειτα, η μέση ενεργειακή ζήτηση που προβλέφθηκε μέσω του μοντέλου παλινδρόμησης ισούται με 17463 ktoe και είναι 1,1% μεγαλύτερη από τα 17266 που προβλέπει η κυβέρνηση για τα αντίστοιχα έτη. Η ιδιαίτερα αυξημένη πρόβλεψη για την περίοδο 2022 ως και 2030 οφείλεται στην μεγάλη απόκλιση της μεταβλητής που αφορούσε την παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τις σχετικές τιμές της ενέργειας που παράχθηκε μέσω φυσικού αερίου και οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για να παραχθούν οι προβλέψεις.

*Πίνακας 38 : Αποκλίσεις στις τιμές της παραγωγής ενέργειας μέσω φυσικού αερίου για τα έτη 2020,2025 και 2030 (EU Reference Scenario 2020 / ΕΣΕΚ)*

Πρόβλεψη / Έτη	Παραγωγή ενέργειας μέσω φυσικού αερίου (ktoe)		
	2020	2025	2030
Γραμμική παλινδρόμηση	21	548	1408

ΕΣΕΚ	21	48	64
------	----	----	----

Οι απαιτούμενες τιμές των μεταβλητών εισόδου, στην παρούσα διπλωματική, αντλήθηκαν μέσω του ευρωπαϊκού σενάριου για το 2020 (“EU Reference Scenario, 2020”). Είναι προφανές, λοιπόν, ότι το συγκεκριμένο σενάριο υιοθετεί διαφορετική εξέλιξη όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας μέσω φυσικού αερίου σε σχέση με εκείνο που υιοθετεί ο ΕΣΕΚ οδηγώντας σε αποκλίσεις μεταξύ των δύο προβλέψεων. Συμπερασματικά, δεδομένου ότι η μεταβλητή της παραγωγής ενέργειας μέσω φυσικού αερίου συνεισφέρει στην αύξηση της ενεργειακής ζήτησης και σε συνδυασμό με την μεγάλη απόκλιση στις προβλέψεις που αφορούν την μεταβολή της παραγωγής ενέργειας μέσω φυσικού αερίου είναι λογικό το μοντέλο παλινδρόμησης να παράγει πιο «αισιόδοξες» προβλέψεις από εκείνες της κυβέρνησης.

## 5.2 Συμπεράσματα και Προεκτάσεις

### Συμπεράσματα

- Η Ελλάδα μετά τη σταδιακή ύφεση της πανδημίας από το 2022 και έπειτα, και σε συνδυασμό με την γενικότερη ανάκαμψη της οικονομίας, που αποτυπώνεται από την αύξηση του ακαθάριστο εγχώριου προϊόντος και του εισοδήματος, αυξάνει σημαντικά την ενεργειακή της ζήτηση. Αυτό, συμβαίνει, διότι η προσπάθεια για αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας δεν είναι τόσο έντονη με αποτέλεσμα να αδυνατεί να ακολουθήσει τον ρυθμό της ανάπτυξης.
- Από το 2025 και έπειτα, επέρχεται σταθεροποίηση όσον αφορά την ανάπτυξη και ξεκινά να εντείνεται η προσπάθεια για ενεργειακή αποδοτικότητα. Κατ’ επέκταση η ενεργειακή ζήτηση παρουσιάζει μη γραμμική πτωτική τάση.
- Το 2030, η ζήτηση ενέργειας μειώνεται ομαλά στα 17,5 Mtoe και παραμένει προσεγγιστικά σε αυτά τα επίπεδα μέχρι το 2040, συνοδευόμενη από ορισμένες αυξομειώσεις. Αυτό συμβαίνει, διότι από το 2030 και έπειτα παγιώνονται οι «πράσινες ενεργειακές πολιτικές», που ξεκίνησαν να εφαρμόζονται το 2025,. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται διεύρυνση της χρήσης φυσικού αερίου ως καύσιμο που αντικαθιστά την παρούσα κατανάλωση στερεών ορυκτών καυσίμων, καθώς από το 2025 και έπειτα η Ελλάδα παύει να παράγει ενέργεια μέσω γαιάνθρακα στα πλαίσια της απολιγνιτοποίησης. Το φυσικό αέριο, ως καύσιμο, προσφέρει σημαντική ενεργειακή εξοικονόμηση, καθώς προσφέρει καλύτερη

ποιότητα καύσης λόγω μεγαλύτερης θερμογόνου δύναμης. Επιπλέον, το αργό πετρέλαιο και γενικότερα τα πετρελαιοειδή κατέχουν πλέον μικρό μερίδιο όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας, με την κυβέρνηση να στρέφεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ώστε να καλύψει την υπάρχουσα ζήτηση. Παράλληλα, η Ελλάδα προχωρά σε κινήσεις που αφορούν την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια, βιομηχανίες και υποδομές, όπως η χρήση αντλιών θερμότητας για κάλυψη θερμικών και ψυκτικών αναγκών. Τέλος, η εφαρμογή βασικών αρχών κυκλικής οικονομίας με παροχή οικονομικών κινήτρων σε επιχειρήσεις που επιλέγουν περιβαλλοντικές τεχνολογίες συνεισφέρει στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

- Σύμφωνα με τις προβλέψεις της παρούσας εργασίας, η Ελλάδα αδυνατεί να πετύχει τους ενεργειακούς στόχους που έχει θέσει και αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας, δηλαδή η ενεργειακή ζήτηση το 2030 ξεπερνάει κατά πολύ την αντίστοιχη ζήτηση του 2017. Πιο συγκεκριμένα, το έτος 2030 η πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης αντιστοιχεί σε 19652 ktoe, έναντι των 16300 ktoe που αντιστοιχεί στο έτος 2017, στόχος που είχε τεθεί από το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα στο πλαίσιο της καταπολέμησης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι οι τιμές των μεταβλητών που εισήχθησαν στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης ακολουθούσαν το σενάριο εξέλιξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU Reference Scenario 2020), που παρουσίαζε σημαντικές αποκλίσεις σε σχέση με τον ΕΣΕΚ, με σημαντικότερη εκείνη της μεταβλητής παραγωγής ενέργειας λόγω φυσικού αερίου που αναφέρθηκε παραπάνω. Επιπλέον, η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης υποθέτει την γραμμική σύνδεση των ανεξάρτητων μεταβλητών εισόδου και της μεταβλητής πρόβλεψης, γεγονός που συμβαίνει για κάθε μεταβλητή.
- Τέλος, μέσω της προτεινομένης μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στο τρίτο κεφάλαιο εξάγεται ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα που αφορά το μέγεθος του δείγματος για την παραγωγή των προβλέψεων. Πιο συγκεκριμένα, ελήφθησαν υπόψη τρεις διαφορετικές περιπτώσεις που κάθε μια περιλάμβανε διαφορετικό μέγεθος training sample και διαφορετικό μεταβλητών. Διαπιστώθηκε πως η περίπτωση που παράγαγε το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν εκείνη με το μικρότερο δείγμα εκπαίδευσης αλγορίθμου, αλλά και τον μεγαλύτερο αριθμό μεταβλητών. Παρατηρείται λοιπόν, ότι το μικρότερο δείγμα παράγει τις πιο ακριβείς προβλέψεις και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι προστέθηκαν ορισμένες μεταβλητές, εισάγοντας περισσότερα δεδομένα στο μοντέλο.

## Προεκτάσεις

Στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν η παραγωγή προβλέψεων που αφορούν την μελλοντική ζήτηση ενέργειας στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας ως τεχνική πρόβλεψης την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε απαιτούσε την συλλογή δεδομένων που θα αποτελούσαν τις εξωγενείς μεταβλητές εισόδου του μοντέλου, ώστε μέσω δοκιμών να επιλέξουμε το συνδυασμό μεταβλητών που παράγει τις πιο ακριβείς προβλέψεις. Το κριτήριο με το οποίο ελέγχθηκε η ακρίβεια των προβλέψεων ήταν το μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

Είναι βέβαιο πως υπάρχει χώρος για περαιτέρω διερεύνηση και βελτιστοποίηση της μεθόδου και παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα βήματα προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση.

- Η παραγωγή των προβλέψεων θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μέσω νευρωνικών δικτύων ή κάποιας άλλης τεχνικής και να συγκριθούν τα αποτελέσματα με εκείνα της παρούσας διπλωματικής ως προς την ακρίβεια.
- Η ακρίβεια των προβλέψεων θα μπορούσε να ελεγχθεί και με άλλα κριτήρια, πέραν του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, όπως το μέσο απόλυτο σφάλμα, το μέσο σφάλμα ή το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα, ώστε να διαπιστωθεί και πειραματικά ποιο είναι το καλύτερο μέτρο ακρίβειας της πρόβλεψης.
- Τέλος, θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη και δεδομένα άλλων χωρών, και όχι μόνο της Ελλάδας, που είναι διαθέσιμα μέσω του Διεθνή Ενεργειακού Οργανισμού IEA (“International Energy Agency”). Έτσι, σε κάθε χώρα θα αντιστοιχούσε και ένα μοντέλο πρόβλεψης που θα κατασκευαζόταν, δοκιμάζοντας τους διάφορους συνδυασμούς των μεταβλητών εισόδου. Για την πρόβλεψη θα επιλεγόταν το μοντέλο της χώρας που θα παρήγαγε το μικρότερο σφάλμα και για τις μελλοντικές προβλέψεις θα εισάγονταν ως είσοδοι οι τιμές των μεταβλητών που αφορούν την Ελλάδα, όπως έγινε και στη παρούσα διπλωματική.

## Βιβλιογραφία

- AA Aziz, NHN Mustapha, R. I. (2013). Factors affecting energy demand in developing countries : A dynamic panel analysis. *International Journal of Energy*.
- Al-Bajjali, S. K., & Shamayleh, A. Y. (2018). Estimating the determinants of electricity consumption in Jordan. *Energy*, 147, 1311–1320. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.010>
- Angelopoulos, D., Psarras, J., & Siskos, Y. (2017). Long-term electricity demand forecasting via ordinal regression analysis: The case of Greece. *2017 IEEE Manchester PowerTech*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/PTC.2017.7981153>
- Bakhat, M., & Rosselló, J. (2011). Estimation of tourism-induced electricity consumption: The case study of Balearics Islands, Spain. *Energy Economics*, 33(3), 437–444. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.12.009>
- Bianco, V., Manca, O., & Nardini, S. (2009). Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models. *Energy*, 34(9), 1413–1421. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.06.034>
- Bueno, J., Romero-Jordán, D., & del Río, P. (2020). Analysing the Drivers of Electricity Demand in Spain after the Economic Crisis. *Energies*, 13(20), 5336. <https://doi.org/10.3390/en13205336>
- Chapagain, K., Kittipiyakul, S., & Kulthanavit, P. (2020). Short-Term Electricity Demand Forecasting: Impact Analysis of Temperature for Thailand. *Energies*, 13(10), 2498. <https://doi.org/10.3390/en13102498>
- Çunkaş, M., & Altun, A. A. (2010). Long Term Electricity Demand Forecasting in Turkey Using Artificial Neural Networks. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 5(3), 279–289. <https://doi.org/10.1080/15567240802533542>
- de Felice, M., Alessandri, A., & Catalano, F. (2015). Seasonal climate forecasts for medium-term electricity demand forecasting. *Applied Energy*, 137, 435–444. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.030>
- de Felice, M., Alessandri, A., & Ruti, P. M. (2013). Electricity demand forecasting over Italy: Potential benefits using numerical weather prediction models. *Electric Power Systems Research*, 104, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2013.06.004>
- Deka, A., Hamta, N., Esmaeilian, B., & Behdad, S. (2016). Predictive Modeling Techniques to Forecast Energy Demand in the United States: A Focus on Economic

and Demographic Factors. *Journal of Energy Resources Technology*, 138(2).  
<https://doi.org/10.1115/1.4031632>

- Duran Toksarı, M. (2007). Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey. *Energy Policy*, 35(8), 3984–3990.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.01.028>
- Egelioglu, F., Mohamad, A. A., & Guven, H. (2001). Economic variables and electricity consumption in Northern Cyprus. *Energy*, 26(4), 355–362.  
[https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(01\)00008-1](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(01)00008-1)
- Gallo Cassarino, T., Sharp, E., & Barrett, M. (2018). The impact of social and weather drivers on the historical electricity demand in Europe. *Applied Energy*, 229, 176–185.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.108>
- Geem, Z. W., & Roper, W. E. (2009). Energy demand estimation of South Korea using artificial neural network. *Energy Policy*, 37(10), 4049–4054.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.04.049>
- Inglesi, R., & Pouris, A. (2010). Forecasting electricity demand in South Africa: A critique of Eskom's projections. *Sabinet*.
- Jiang, L., & Wang, J. (2009). Energy Demand Forecast in China Based on Wavelet Neural Network. *2009 Second International Workshop on Computer Science and Engineering*, 8–12. <https://doi.org/10.1109/WCSE.2009.755>
- Jo, H.-H., Jang, M., & Kim, J. (2020). How Population Age Distribution Affects Future Electricity Demand in Korea: Applying Population Polynomial Function. *Energies*, 13(20), 5360. <https://doi.org/10.3390/en13205360>
- Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., & Özşahin, T. Ş. (2011). Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables. *Applied Energy*, 88(5), 1927–1939.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.12.005>
- Latif, E. (2015). A Panel Data Analysis of the Demand for Electricity in Canada. *Economic Papers: A Journal of Applied Economics and Policy*, 34(3), 192–205.  
<https://doi.org/10.1111/1759-3441.12103>
- Mikayilov, J. I., Darandary, A., Alyamani, R., Hasanov, F. J., & Alatawi, H. (2020). Regional heterogeneous drivers of electricity demand in Saudi Arabia: Modeling regional residential electricity demand. *Energy Policy*, 146, 111796.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111796>



- Mohamed, Z., & Bodger, P. (2005). Forecasting electricity consumption in New Zealand using economic and demographic variables. *Energy*, 30(10), 1833–1843. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.08.012>
- Momani, M. A. (2013). Factors Affecting Electricity Demand in Jordan. *Energy and Power Engineering*, 05(01), 50–58. <https://doi.org/10.4236/epe.2013.51007>
- Odhiambo, N. M. (2009). Electricity consumption and economic growth in South Africa: A trivariate causality test. *Energy Economics*, 31(5), 635–640. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.01.005>
- Pérez-García, J., & Moral-Carcedo, J. (2017). Why Electricity Demand Is Highly Income-Elastic in Spain: A Cross-Country Comparison Based on an Index-Decomposition Analysis. *Energies*, 10(3), 347. <https://doi.org/10.3390/en10030347>
- Psiloglou, B. E., Giannakopoulos, C., Majithia, S., & Petrakis, M. (2009). Factors affecting electricity demand in Athens, Greece and London, UK: A comparative assessment. *Energy*, 34(11), 1855–1863. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.033>
- Ünler, A. (2008). Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025. *Energy Policy*, 36(6), 1937–1944. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.018>
- Wang, J., & Liang, X. (2009). The Forecast of Energy Demand on Artificial Neural Network. *2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 31–35. <https://doi.org/10.1109/AICI.2009.93>
- Zachariadis, T., & Pashourtidou, N. (2007). An empirical analysis of electricity consumption in Cyprus. *Energy Economics*, 29(2), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.05.002>
- Φώτιος Πετρόπουλος, Βασίλειος Ασημακόπουλος, «Επιχειρησιακές Προβλέψεις» Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2013
- The World Bank, World Development Indicators (2022). GDP (constant 2015 US\$), Atlas method[Datafile]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD?end=2020&locations=GR&start=1970>
- The World Bank, World Development Indicators (2022). Unemployment, total, Atlas method[Datafile]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/SL.UEM.TOTL.NE.ZS>
- The World Bank, World Development Indicators (2022). Adjusted net national income per capita (constant 2015 US\$), Atlas method[Datafile]. Available:

<https://data.worldbank.org/indicator/NY.ADJ.NNTY.PC.KD>

- The World Bank, World Development Indicators (2022). Electricity production from renewable sources, excluding hydroelectric (% of total), Atlas method[Datafile]. Available:  
<https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.RNWX.ZS>
- The World Bank, World Development Indicators (2022). Electricity production from hydroelectric sources (% of total), Atlas method[Datafile]. Available:  
<https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.HYRO.ZS>
- The World Bank, World Development Indicators (2022). Electricity production from coal sources (% of total), Atlas method[Datafile]. Available:  
<https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.COAL.ZS>
- The World Bank, World Development Indicators (2022). Electricity production from oil sources (% of total), Atlas method[Datafile]. Available:  
<https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.PETR.ZS>
- Macrotrends.net.2022. Energy, Crude Oil Prices - 70 Year Historical Chart. Available:  
<https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart>
- Macrotrends.net.2022. Energy, Natural Gas Prices - 70 Year Historical Chart. Available:  
<https://www.macrotrends.net/2478/natural-gas-prices-historical-chart>
- OECD 2022, Inflation (CPI)(Indicator). Available:  
<https://data.oecd.org/price/inflation-cpi.htm>
- European Commission, EU Reference Scenario 2020, main results on energy, transport and GHG emissions. Available:  
[https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/eu-reference-scenario-2020\\_en](https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/eu-reference-scenario-2020_en)
- IEA (2020), World Energy Balances Highlights 2020, IEA, Greece. Available:  
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances-highlights>
- Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος 2020, Ενέργεια, ΕΣΕΚ. Available:  
<https://ypen.gov.gr/energeia/esek/>
- uea.ac, cru data, cru\_ts\_4.03 Variables. Available:  
[https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.03/crucy.1905151143.v4.03/new\\_countries/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.03/crucy.1905151143.v4.03/new_countries/)

## Παράρτημα

### Πίνακες Σφαλμάτων

#### Ενδεικτικοί πίνακες σφαλμάτων 1<sup>ης</sup> περίπτωσης

Πίνακας 35 : Πίνακας σφαλμάτων 1<sup>ης</sup> περίπτωσης

<b>Μοντέλο</b>	<b>MSE</b>
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν	6622984
Κατά κεφαλήν εισόδημα	7100544
Ποσοστό ανεργίας	6521730
Πληθυσμός	6332809
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα	5554558
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Ποσοστό ανεργίας	6723017
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν/ Πληθυσμός	6420146
Κατά κεφαλήν εισόδημα / Ποσοστό ανεργίας	7072029
Κατά κεφαλήν εισόδημα / Πληθυσμός	6846208
Ποσοστό ανεργίας / Πληθυσμός	6313410

Πίνακας 36 : Πίνακας σφαλμάτων 1<sup>ης</sup> περίπτωσης

<b>Μοντέλο</b>	<b>MSE</b>
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Ποσοστό ανεργίας	6367338
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Πληθυσμός	5577956
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας	6537000

Πληθυσμός / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Ποσοστό ανεργίας	6844507
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Ποσοστό ανεργίας / Πληθυσμός	7215455
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «βαθμομημέρες θέρμανσης»	5501758
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Ποσοστό συννεφιάς	5725724
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Μεταβολή μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας	5580292
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Συχνότητα βροχοπτώσεων	5562166
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ΑΠΕ (εκτός υδροηλεκτρικών )	38206916
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω φυσικού αερίου	10476399
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω λόγω Υδροηλεκτρικών	5546440
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω λόγω Άνθρακα	4842352
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω λόγω Πετρελαιοειδών	5159091
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων	7481051
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ΑΠΕ	5524154

Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω Άνθρακα / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω Πετρελαιοειδών	6237529
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω Άνθρακα / Κόστος αργού πετρελαίου	6276000
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω Άνθρακα / Δείκτης τιμών καταναλωτή	5184868
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα	5283028
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα	4817871
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα	5423024
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου	19123623
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου	4859712
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου	4919052
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών	4878517

<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές πετρελαιοειδών</i>	<i>5548077</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές πετρελαιοειδών</i>	<i>4410828</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω ΑΠΕ και αποβλήτων</i>	<i>5086033</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και αποβλήτων</i>	<i>4842352</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και αποβλήτων</i>	<i>4842352</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	<i>5587862</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	<i>8940161</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	<i>5332867</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4203188</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4598400</i>

Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου	4842352
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω θερμότητας	4780091
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα	4242144
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εισαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα	4206160
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εξαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα	4335163
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου	3914390
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εισαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου	4193222
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εξαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου	4184890
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Παραγωγή ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών	4229659
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών	4244716

Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εξαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών	4213965
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Παραγωγή ενέργειας λόγω ΑΠΕ και αποβλήτων	4486068
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και αποβλήτων	4203188
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και αποβλήτων	4203188
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Παραγωγή ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού	4210247
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού	4230789
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού	4168631
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Παραγωγή ενέργειας λόγω θερμότητας	4214825
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εισαγωγές φυσικού αερίου	4231591
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / «Βαθμοημέρες θέρμανσης» / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εξαγωγές φυσικού αερίου	4203188



## Ενδεικτικοί πίνακες σφαλμάτων 2<sup>ης</sup> περίπτωσης

Πίνακας 36 : Πίνακας σφαλμάτων 2<sup>ης</sup> περίπτωσης

<b>Μοντέλο</b>	<b>MSE</b>
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν	6252807
Κατά κεφαλήν εισόδημα	6524406
Ποσοστό ανεργίας	6385305
Πληθυσμός	6340051
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα	6328116
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Ποσοστό ανεργίας	6228124
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός	6167774
Κατά κεφαλήν εισόδημα / Ποσοστό ανεργίας	6629433
Κατά κεφαλήν εισόδημα / Πληθυσμός	6459552

Πίνακας 37 : Πίνακας σφαλμάτων 2<sup>ης</sup> περίπτωσης

<b>Μοντέλο</b>	<b>MSE</b>
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Ποσοστό ανεργίας	6497610
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Πληθυσμός	6293126
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας	6146226
Πληθυσμός / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Ποσοστό ανεργίας	6601705
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Κατά κεφαλήν εισόδημα / Ποσοστό ανεργίας / Πληθυσμός	6552638
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / «Βαθμομηέρες θέρμανσης»	6175521
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό συννεφιάς	6185766
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Μεταβολή μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας	6162081
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Συχνότητα βροχοπτώσεων	6147478

<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ΑΠΕ (εκτός υδροηλεκτρικών )</i>	<i>15083055</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω φυσικό αερίου</i>	<i>13498359</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω υδροηλεκτρικών</i>	<i>6153974</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα</i>	<i>6008137</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών</i>	<i>6270160</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων</i>	<i>6145920</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ΑΠΕ</i>	<i>6148196</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική ηλεκτρική ενέργεια λόγω ορυκτών καυσίμων</i>	<i>5905509</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα</i>	<i>5969189</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εισαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα</i>	<i>5904808</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων ν / Εξαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα</i>	<i>5908400</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>5882296</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική ηλεκτρική ενέργεια λόγω ορυκτών καυσίμων / Εισαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>5794718</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εξαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>6067817</i>

<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Παραγωγή ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών</i>	5939350
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών</i>	5716825
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εξαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών</i>	5959980
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Παραγωγή ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	6526892
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	5905509
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Άνθρακας / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	5905509
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Παραγωγή ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	6000264
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	6081981
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	5748510
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	6064925
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εισαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	5334297













Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εισαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Εισαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου/ Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού	9645085
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Πληθυσμός / Ποσοστό ανεργίας / Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άνθρακα / Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ορυκτών καυσίμων / Εισαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Εισαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου/ Παραγωγή ενέργειας λόγω θερμότητας	1049349718

### Ενδεικτικοί πίνακες σφαλμάτων 3<sup>ης</sup> περίπτωσης

Πίνακας 37 : Πίνακας σφαλμάτων 3<sup>ης</sup> περίπτωσης

<b>Μοντέλο</b>	<b>MSE</b>
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν	4622614
Κατά κεφαλήν εισόδημα	5282855
Πληθυσμός	4768246
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν/ Κατά κεφαλήν εισόδημα	4890713
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν/ Πληθυσμός	4706485
Κατά κεφαλήν εισόδημα / Πληθυσμός	5404148
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν/ Κατά κεφαλήν εισόδημα / Πληθυσμός	5004335

Πίνακας 38 : Πίνακας σφαλμάτων 3<sup>ης</sup> περίπτωσης

<b>Μοντέλο</b>	<b>MSE</b>
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμοημέρες θέρμανσης»	4581630
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Ποσοστό συννεφιάς	4685216
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Μεταβολή μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας	4679817
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / Συχνότητα βροχοπτώσεων	4630845
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμοημέρες θέρμανσης»/ Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα	4388078
Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμοημέρες θέρμανσης»/ Εισαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα	4625506

<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εξαγωγές ενέργειας λόγω άνθρακα</i>	<i>4591229</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>4602142</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εισαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>4545214</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εξαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>4600573</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών</i>	<i>4636903</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών</i>	<i>4485677</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εξαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών</i>	<i>4590322</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	<i>4590920</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	<i>4581630</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	<i>4581630</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	<i>4536658</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	<i>4660301</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	<i>4517326</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4646612</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εισαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4683609</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	<i>4581630</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω θερμότητας</i>	<i>4597344</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>4408969</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>4363327</i>

<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>4429258</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών</i>	<i>4436546</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών</i>	<i>4262052</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών</i>	<i>4394698</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω ΑΠΕ και αποβλήτων</i>	<i>4351734</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και αποβλήτων</i>	<i>4388078</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και αποβλήτων</i>	<i>4388078</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	<i>4390132</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	<i>4462997</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού</i>	<i>4210797</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4468554</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εισαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4480658</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4388078</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Παραγωγή ενέργειας λόγω θερμότητας</i>	<i>4408532</i>



<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εξαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4210797</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / παραγωγή ενέργειας λόγω θερμότητας</i>	<i>4336529</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>4070171</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών) / Εισαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>4093653</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών) / Εξαγωγές ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου</i>	<i>4147365</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	<i>4121929</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών) / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	<i>4091131</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών) / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	<i>4091131</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4118611</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών) / Εισαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4144792</i>
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών) / Εξαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	<i>4091131</i>

<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω θερμότητας</i>	4169170
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου / Παραγωγή ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	4113238
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου / Εισαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	4070171
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ΑΠΕ και Αποβλήτων</i>	4070171
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου / Παραγωγή ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	4104661
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου / Εισαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	4124361
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου / Εξαγωγές ενέργειας λόγω φυσικού αερίου</i>	4070171
<i>Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν / «Βαθμομημέρες θέρμανσης» / Παραγωγή ενέργειας λόγω άνθρακα / Εξαγωγές ενέργειας λόγω ηλεκτρισμού / Εισαγωγές ενέργειας λόγω πετρελαιοειδών / Παραγωγή ενέργειας λόγω αργού πετρελαίου / Παραγωγή ενέργειας λόγω θερμότητας</i>	4129394