



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

**Χωροχρονική διερεύνηση της ζήτησης ηλεκτρικής  
ενέργειας στην Ελλάδα**

**Χρήστος Τύραλης, Πολιτικός Μηχανικός**

Μεταπτυχιακή Εργασία η οποία υποβάλλεται για μερική  
εκπλήρωση των απαιτήσεων για το Διεπιστημονικό-  
Διατμηματικό Δίπλωμα Ειδίκευσης του Δ.Π.Μ.Σ. του  
Ε.Μ. Πολυτεχνείου "Περιβάλλον και Ανάπτυξη"

**Περιβάλλον  
και  
Ανάπτυξη**

**Αθήνα, Ιούνιος 2016**

**Επιβλέπων: Ν. Μαμάσης, Επίκουρος Καθηγητής**

**Επιτροπή παρακολούθησης:  
Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής  
Γ. Φώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής  
Ν. Μαμάσης, Επίκουρος Καθηγητής**



## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή Ν. Μαμάση, ο οποίος συνέλαβε την ιδέα της εργασίας. Το 2<sup>ο</sup> και το 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιέχουν υλικό σχετικό με θέματα με τα οποία είχε ασχοληθεί εκτεταμένα στο παρελθόν. Οι συμβουλές του βελτίωσαν αρκετά την εργασία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή Γ. Φώτη ο οποίος με δίδαξε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Το 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο είναι η εργασία του μαθήματός του «Μεθοδολογία και Μέθοδοι Γεωγραφικής Έρευνας». Τέλος ευχαριστώ τον Καθηγητή Ε. Μπαλτά για τις διορθώσεις οι οποίες συνέβαλαν στην βελτίωση της εργασίας.

Η εργασία αποτελεί τμήμα του ερευνητικού προγράμματος «Συνδυασμένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών για αειφορική ενεργειακή ανάπτυξη» (CRESENDO) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Είμαι ιδιαίτερα χαρούμενος που συμμετείχα στο εν λόγω ερευνητικό πρόγραμμα.



## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για την χρονική περίοδο 2002-2014 και προσομοιώνουμε την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και την Θεσσαλία.

Επιχειρούμε την οπτικοποίηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για την χρονική περίοδο 2002-2014. Αναζητούμε την σχέση μεταξύ της ενεργειακής ζήτησης και του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος (ΑΕΠ) και της θερμοκρασίας. Από την ανάλυση προκύπτει ότι σε γενικές γραμμές τα συμπεράσματα των Psiloglou et al. (2009) εξακολουθούν να ισχύουν. Ωστόσο από το 2010, όταν το ΑΕΠ άρχισε να μειώνεται, το σχήμα της ενεργειακής ζήτησης άλλαξε κατά την χειμερινή περίοδο. Επιπλέον διερευνούμε και την αποτελεσματικότητα του συστήματος πρόβλεψης ενεργειακής ζήτησης του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ, Independent Power Transmission Operator, IPTO). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι χρήσιμα για την πρόβλεψη ζήτησης ενέργειας και για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών. Τα δεδομένα και ο κώδικας από τον οποίον προέκυψαν τα αποτελέσματα της εργασίας, διατίθενται ως υποστηρικτικό υλικό.

Διερευνούμε χωρικά την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Παρουσιάζουμε σχήματα της ζήτησης ενέργειας για διάφορες χρήσεις και συνδυασμούς μεταβλητών της ζήτησης ενέργειας για διάφορες χρήσεις με μεταβλητές όπως το ΑΕΠ, ο πληθυσμός, η έκταση και η πυκνότητα πληθυσμού για τα έτη 2008-2012. Πραγματοποιούμε ανάλυση ακραίων τιμών, συστάδων, ενεργών σημείων και ομαδοποίησης. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα των ανωτέρω επεξεργασιών και αναλύσεων παρουσιάζονται στο κυρίως σώμα της εργασίας, ενώ το σύνολο των 1 125 σχημάτων που παρήχθησαν κατά την εργασία, παρέχονται ως υποστηρικτικό υλικό. Θεωρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι χρήσιμα για να κατανοήσουμε θέματα σχετικά με την χωρική κατανομή της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα και τον αναπτυξιακό προσανατολισμό της χώρας, επιπρόσθετα των εργασιών, στις οποίες άμεσα διερευνώνται κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές.

Προσομοιώνουμε την συνολική ζήτηση ενέργειας, έχοντας αφαιρέσει νωρίτερα την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα και την Θεσσαλία. Επιπλέον προσομοιώνουμε την ζήτηση ενέργειας για αγροτική χρήση στην Θεσσαλία. Η προσομοίωση αφορά μεγάλη χρονική περίοδο και πραγματοποιείται για την εκτίμηση ενός ενεργειακού έργου σε βάθος χρόνου, οπότε δεν λαμβάνονται υπόψη

χαρακτηριστικά όπως η εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες. Η προσομοίωση των ζητήσεων ενέργειας πραγματοποιείται αφού πρώτα αφαιρεθούν οι ετήσιοι μέσοι και οι παρατηρούμενες περιοδικότητες. Οι συνθετικές χρονοσειρές παράγονται με την μέθοδο bootstrap από τμήματα τυχαίου μήκους παραγόμενα από μια γεωμετρική κατανομή. Στην συνέχεια προστίθενται τα στοιχεία που προηγουμένως αφαιρέθηκαν.

Συνοψίζοντας σε ότι αφορά στην ανάλυση στον χρόνο, παρατηρούμε κατά την διάρκεια της ημέρας δύο τοπικά μέγιστα περίπου στις 12:00 και 20:00 και δύο τοπικά ελάχιστα περίπου στις 04:00 και 16:00. Παρατηρούμε τα ημερήσια μέγιστα ζήτησης ενέργειας τις Τετάρτες ή Πέμπτες και τα ελάχιστα τις Κυριακές. Το σχήμα της ημερήσιας ζήτησης ενέργειας είναι σχεδόν ανεξάρτητο του μήνα. Παρατηρούμε τοπικά μέγιστα μηνιαίας ζήτησης ενέργειας τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο και τοπικά ελάχιστα τον Οκτώβριο και τον Απρίλιο. Η μηνιαία ζήτηση ενέργειας του Δεκεμβρίου παρουσίασε αξιοσημείωτη αύξηση μετά το υδρολογικό έτος 2011. Παρατηρούμε μικρότερες διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας κατά την χρονική περίοδο μεταξύ Δεκεμβρίου και Απριλίου. Ένα γραμμικό μοντέλο για την σχέση μεταξύ ζήτησης ενέργειας και ΑΕΠ φαίνεται λογικό. Επιπλέον η αύξηση του ΑΕΠ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης ενέργειας (ή και αντίστροφα). Ωστόσο την αύξηση του ΑΕΠ κατά το υδρολογικό έτος 2008 ακολούθησε μείωση της ζήτησης ενέργειας. Παρατηρούμε ένα ολικό ελάχιστο για την ζήτηση ενέργειας για θερμοκρασίες περίπου 17-18 °C και τοπικά μέγιστα για θερμοκρασίες περίπου στους 3 °C και 32 °C. Μια καμπύλη παλινδρόμησης για την ζήτηση ενέργειας (στον y άξονα) και την θερμοκρασία (στον x άξονα) θα ήταν κυρτή. Οι ημερήσιες προβλέψεις του IPTO συνήθως υπερεκτιμούν την ζήτηση ενέργειας. Τα αποτελέσματα της διερεύνησης θα είναι χρήσιμα για την κατασκευή ενός μοντέλου βραχυπρόθεσμης και μεσοπρόθεσμης πρόβλεψης ζήτησης ενέργειας.

Σε ότι αφορά στην χωρική ανάλυση, επιλέξαμε ορισμένα σχήματα του υποστηρικτικού υλικού τα οποία παρουσιάζουν σημαντικά αποτελέσματα. Προκύπτει ότι στην Ελλάδα υπάρχει μια περιοχή στο κέντρο της η οποία χαρακτηρίζεται ως βιομηχανική αλλά συγχρόνως και ως γεωργική. Η νησιωτική Ελλάδα χαρακτηρίζεται κυρίως ως εμπορική, ενώ η περιοχή γύρω από τον νομό Αττικής χαρακτηρίζεται από μεγάλες τιμές χρήσεις οικιακής ενέργειας. Γενικότερα η Ελλάδα χωρίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις, ως προς το μοντέλο ανάπτυξης που ακολουθείται, στο κυρίως ηπειρωτικό τμήμα, το οποίο περιλαμβάνει περιοχές από το κέντρο και βορειότερα, στην Κεντρική Ελλάδα και στις νησιωτικές περιοχές οι οποίες κατά

περίπτωση έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τον νομό Αττικής και την Πελοπόννησο. Τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να είναι χρήσιμα για την διαχείριση του ηλεκτρικού δικτύου και για την εύρεση βέλτιστων πολιτικών για το αναπτυξιακό μοντέλο της χώρας.

Σε ό,τι αφορά στην προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τα οποία δεν είχε αφαιρεθεί η βιομηχανική χρήση, η οποία παρουσιάζει διαφορετικές περιοδικότητες σε σχέση π.χ. με την ηλεκτρική ενέργεια οικιακής χρήσης. Το επιθυμητό αποτέλεσμα ήταν η παραγωγή μιας συνθετικής χρονοσειράς για την προσομοίωση ενός συστήματος ενέργειας και το ενδιαφέρον ήταν η μακροπρόθεσμη απόδοσή του. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή αρκούσε η εξέταση της χρονοσειράς ηλεκτρικής ζήτησης μόνη της. Ωστόσο στην περίπτωση που ενδιαφερόμαστε για πρόβλεψη, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι προβλέψεις της θερμοκρασίας, του ΑΕΠ κλπ. Σε αυτήν την περίπτωση είναι απαραίτητος ο συσχετισμός μεταξύ της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και των άλλων μεταβλητών.





## **Abstract**

In this study we analyse the electricity demand in Greece for the time period 2002-2014 and we simulate the electricity demand in Greece and Thessaly.

We visualize the electricity demand in Greece for the time period 2002-2014. We search the relationship between the energy demand and the Gross Domestic Product (GDP) and the temperature. The analysis shows that in general the conclusions of Psiloglou et al. (2009) are still valid. However, since 2010, when the GDP began to decline, the pattern of the energy demand has changed in the winter. Moreover, we investigate the effectiveness of the energy demand forecasting system of the Independent Transmission System Operator (IPTO). The results of the analysis are useful for forecasting the energy demand and for generating synthetic time series. The data and the code of this work are available as supporting material.

We analyse the spatial patterns of the energy demand. We present patterns of energy demand for various uses and combinations of energy demand variables for various uses with variables such as the GDP, the population, the area and the population density for the time period 2008-2012. We perform clusters and outliers analysis, hot spot analysis and grouping analysis. The most important results of these analyses are presented in the main body of work, while the total of 1 125 Figures produced during the work, are provided as supporting material. We believe that the results are useful to understand issues related to the spatial distribution of the energy demand in Greece and the developmental orientation of the state, to improve previous works, which use socioeconomic variables.

We simulate the total energy demand in Greece and Thessaly, after the removal of the energy demand for agricultural use. Furthermore, we simulate the energy demand for agricultural use in Thessaly. The simulation concerns a long time period. It is performed to assess the long-term properties of an energy project. Therefore, it neglects features such as the dependence on initial conditions. The simulation of energy demand is performed after the removal of the annual averages and the observed periodicities. The synthetic series is produced using a bootstrap method with blocks of random length derived from a geometric distribution. The removed elements are added to the synthetic time series.

Summarizing the results of the analysis in the time domain, we observe during the day two local maxima at approximately 12:00 and 20:00, and two local minima at about 04:00 and 16:00. We observe daily maxima of the energy demand on Wednesdays or Thursdays and daily minima on Sundays. The shape of the daily energy demand is almost independent of the month. We observe local maxima of the monthly energy demand in January and July and local minima in October and April. The December monthly energy demand increased significantly after the hydrological year 2011. We observe less variation in energy demand in the period between December and April. A linear model for the relationship between the energy demand and the GDP seems reasonable. Moreover, we observe that the GDP increase results in increased energy demand (or vice versa). Nevertheless, the GDP increase in the hydrological year 2008 was followed by a decrease in energy demand. We observe a global minimum of the energy demand for temperatures at about 17-18° C, and local maxima of temperatures at about 3° C and 32° C. A regression line for the energy demand (the y axis) and temperature (the x axis) would be a convex curve. The IPTO's daily predictions usually overestimate the energy demand. The results of the investigation will be useful for the construction of a short and a medium-term energy demand forecasting model.

Regarding the spatial analysis, we show some Figures from the support material which present significant results. It seems that in Greece's middle there is an area which is classified as industrial but also agricultural. The Greek islands are mainly characterized as commercial, while the area around Athens is characterized by high values of household energy use. Regarding its development model Greece is divided to the main continental part, which includes areas in the middle and North, to Central Greece and to island regions. The island regions are similar to the Athens area and Peloponnese in specific cases. These results may be useful for the management of the electricity grid and for finding optimal policies for the development model of the state.

In regard to the simulation, we did not remove the industrial energy demand use from the data. The industrial use is characterized by different periodicities compared e.g. with the household use. The result of interest was the production of a synthetic time series to simulate a power system and assess its long-term performance. For this specific application it was sufficient to examine only the time series electricity demand. However, if we are interested in forecasting we must take into account the forecasts of temperature,

GDP etc. In this case it is necessary to correlate the electricity demand with other variables.



## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	iii
Περίληψη .....	v
Abstract .....	ix
Περιεχόμενα .....	xiii
Κατάλογος σχημάτων.....	xv
Κατάλογος πινάκων .....	xxi
1. Εισαγωγή.....	1
2. Οπτικοποίηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα σε πολλαπλές χρονικές κλίμακες .....	3
2.1 Εισαγωγή .....	3
2.2 Δεδομένα .....	4
2.2.1 Ζήτηση ενέργειας .....	4
2.2.2 Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν.....	5
2.2.3 Θερμοκρασία.....	6
2.3 Επεξεργασία δεδομένων .....	7
2.4 Οπτική διερεύνηση.....	11
2.4.1 Οπτική διερεύνηση για διάφορες χρονικές κλίμακες .....	11
2.4.2 Σύγκριση ζήτησης ισχύος και πρόβλεψης ζήτησης ισχύος .....	16
2.4.3 Ζήτηση ισχύος και ΑΕΠ.....	17
2.4.4 Ζήτηση ισχύος και θερμοκρασία.....	19
3. Σχήματα της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στον Ελλαδικό χώρο .....	23
3.1 Εισαγωγή .....	23
3.2 Δεδομένα και μέθοδοι ανάλυσης .....	24
3.3 Απεικόνιση μεταβλητών στον χώρο .....	27
3.3.1 Πληθυσμιακά και οικονομικά δεδομένα .....	27
3.3.2 Συνδυασμοί μεταβλητών ζήτησης ενέργειας και οικονομικών – πληθυσμιακών μεταβλητών .....	29
3.4 Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I) .....	33
3.5 Hot Spot Analysis (Getis-Ord $G_i^*$ ).....	36
3.6 Grouping Analysis.....	40
4. Προσομοίωση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Θεσσαλία και την Ελλάδα .	45
4.1 Εισαγωγή .....	45
4.2 Δεδομένα .....	46
4.2.1 Δεδομένα .....	46
4.2.2 Παρουσίαση δεδομένων της Hellenic Statistical Authority.....	46
4.3 Διαδικασία προσομοίωσης .....	51
4.3.1 Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα .....	51
4.3.2 Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας στην Θεσσαλία .....	55
4.3.3 Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία .....	60
5. Συμπεράσματα.....	63
5.1 Ανάλυση στον χρόνο.....	63
5.2 Ανάλυση στον χώρο.....	63
5.3 Προσομοίωση της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα και την Θεσσαλία.....	64
5.4 Περιορισμοί και περαιτέρω έρευνα.....	64
Αναφορές.....	67



## Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1. Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος για την Ελλάδα. ....	5
Σχήμα 2.2. Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας πρόβλεψης ζήτησης ισχύος η οποία διενεργείται από τον ΙΠΤΟ για την Ελλάδα.....	5
Σχήμα 2.3. Θέση του σταθμού της Ηλιούπολης.....	7
Σχήμα 2.4. Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος στις 27-03-2011.....	8
Σχήμα 2.5. Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος στις 25-03-2012.....	8
Σχήμα 2.6. Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος στις 31-03-2013.....	8
Σχήμα 2.7. Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος στις 30-03-2014.....	9
Σχήμα 2.8. Ωριαία ζήτηση ισχύος. ....	9
Σχήμα 2.9. Ιστόγραμμα ωριαίων ζητήσεων ισχύος για την χρονική περίοδο 01/09/2002 – 31/08/2014. ....	10
Σχήμα 2.10. Ωριαία πρόβλεψη ζήτησης ισχύος η οποία διενεργείται από τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).....	10
Σχήμα 2.11. Ιστόγραμμα ωριαίων προβλέψεων ζήτησης ισχύος για την χρονική περίοδο 01/09/2002 – 31/08/2014 η οποία διενεργείται από τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).....	10
Σχήμα 2.12. Μέσες μηνιαίες τιμές ζήτησης και πρόβλεψης ζήτησης ισχύος. ....	11
Σχήμα 2.13. Μέση ωριαία ζήτηση ισχύος ανά μήνα.....	12
Σχήμα 2.14. Κατανομή στην ημέρα μέσης ωριαία ζήτηση ισχύος ανά μήνα. ....	12
Σχήμα 2.15. 100 ελάχιστες τιμές ωριαίας ζήτησης ανά υδρολογικό έτος. ....	12
Σχήμα 2.16. 100 μέγιστες τιμές ωριαίας ζήτησης ανά υδρολογικό έτος.....	13
Σχήμα 2.17. Μέση ημερήσια ζήτηση ισχύος ανά μήνα.....	13
Σχήμα 2.18. Κατανομή μέσης ημερήσιας ζήτησης ισχύος ανά μήνα.....	14
Σχήμα 2.19. Μέση μηνιαία ζήτηση ισχύος ανά υδρολογικό έτος.....	14
Σχήμα 2.20. Κατανομή μέσης μηνιαίας ζήτησης ισχύος στο έτος, ανά υδρολογικό έτος. 15	
Σχήμα 2.21. Μέση μηνιαία ζήτηση ισχύος ανά υδρολογικό έτος, για τα υδρολογικά έτη 2003, 2006, 2009, 2013.....	15
Σχήμα 2.22. Κατανομή μέσης μηνιαίας ζήτησης ισχύος στο έτος, ανά υδρολογικό έτος, για τα υδρολογικά έτη 2003, 2006, 2009, 2013.....	15
Σχήμα 2.23. Βoxplot με τα ποσοστημόρια 0.25 και 0.75 για τις μέσες μηνιαίες τιμές ζήτησης ισχύος.....	16
Σχήμα 2.24. Ωριαία ζήτηση ισχύος την πρωτοχρονιά του 2014 και σύγκρισή της με κοντινές αργίες.....	16
Σχήμα 2.25. Ιστόγραμμα των τιμών της πρόβλεψης της ωριαίας ζήτησης ισχύος μείον την ζήτηση ισχύος.....	17
Σχήμα 2.26. Διάγραμμα πρόβλεψης ωριαίας ζήτησης ισχύος και ζήτησης ισχύος. Η κόκκινη γραμμή σχηματίζει γωνία 45° με τον οριζόντιο άξονα.....	17
Σχήμα 2.27. Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (πάνω) και μέση ετήσια ζήτηση ισχύος (κάτω) ανά υδρολογικό έτος.....	18
Σχήμα 2.28. Διάγραμμα Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος και μέσης ετήσιας ζήτησης ισχύος ανά υδρολογικό έτος. ....	18
Σχήμα 2.29. Μέση ημερήσια θερμοκρασία στον σταθμό Ηλιούπολης (πάνω), ωριαία ζήτηση ισχύος προς Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν υδρολογικού έτους (μέση) και ωριαία ζήτηση ισχύος προς Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν ημερολογιακού έτους (κάτω).....	20
Σχήμα 2.30. Μέση μηνιαία θερμοκρασία ανά υδρολογικό έτος στον σταθμό Ηλιούπολης (πάνω) και μέση μηνιαία ζήτηση ισχύος προς Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν ανά υδρολογικό έτος (κάτω).....	21

Σχήμα 2.31. Διάγραμμα μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στον σταθμό Ηλιούπολης και ωριαίας ζήτησης ισχύος προς Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν υδρολογικού έτους.....	22
Σχήμα 3.1. Νομοί της Ελλάδας.....	25
Σχήμα 3.2. Πληθυσμός των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	27
Σχήμα 3.3. Πυκνότητα πληθυσμού των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	28
Σχήμα 3.4. ΑΕΠ των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	28
Σχήμα 3.5. ΑΕΠ ανά κάτοικο των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	29
Σχήμα 3.6. Συνολική ζήτηση ενέργειας των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	29
Σχήμα 3.7. Λόγος ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	30
Σχήμα 3.8. Ζήτηση ενέργειας για αγροτική χρήση ανά κάτοικο των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	30
Σχήμα 3.9. Λόγος ζήτησης ενέργειας για εμπορική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	31
Σχήμα 3.10. Λόγος ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	31
Σχήμα 3.11. Ζήτηση ενέργειας για οικιακή χρήση ανά κάτοικο των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	32
Σχήμα 3.12. Λόγος ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	32
Σχήμα 3.13. Συνολική ζήτηση ενέργειας ανά ΑΕΠ των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.....	33
Σχήμα 3.14. Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών του λόγου ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Συστάδες υψηλών τιμών συμβολίζονται ως high-high, χαμηλών τιμών ως low-low, ακραίες υψηλές τιμές οι οποίες περιστοιχίζονται από χαμηλές τιμές ως high-low και ακραίες χαμηλές τιμές οι οποίες περιστοιχίζονται από υψηλές τιμές ως low-high.....	33
Σχήμα 3.15. Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών της ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.....	34
Σχήμα 3.16. Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών του λόγου ζήτησης ενέργειας για εμπορική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14....	34
Σχήμα 3.17. Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών του λόγου ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.....	35
Σχήμα 3.18. Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών της ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.....	35
Σχήμα 3.19. Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών του λόγου ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.....	36
Σχήμα 3.20. Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών της συνολικής ζήτησης ενέργειας ανά ΑΕΠ της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.....	36



Σχήμα 3.21. Ενεργές και μη ενεργές περιοχές του λόγου ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord Gi*.....	37
Σχήμα 3.22. Ενεργές και μη ενεργές περιοχές της ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord Gi*.....	37
Σχήμα 3.23. Ενεργές και μη ενεργές περιοχές του λόγου ζήτησης ενέργειας για εμπορική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord Gi*.....	38
Σχήμα 3.24. Ενεργές και μη ενεργές περιοχές του λόγου ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord Gi*.....	38
Σχήμα 3.25. Ενεργές και μη ενεργές περιοχές της ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord Gi*.....	39
Σχήμα 3.26. Ενεργές και μη ενεργές περιοχές του λόγου ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord Gi*.....	39
Σχήμα 3.27. Ενεργές και μη ενεργές περιοχές της συνολική ζήτηση ενέργειας ανά ΑΕΠ της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord Gi*.....	40
Σχήμα 3.28. Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει του λόγου ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012....	40
Σχήμα 3.29. Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει της ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012.....	41
Σχήμα 3.30. Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει του λόγου ζήτησης ενέργειας για εμπορική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 ...	41
Σχήμα 3.31. Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει του λόγου ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012.....	42
Σχήμα 3.32. Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει της ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012.....	42
Σχήμα 3.33. Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει του λόγου ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012.....	43
Σχήμα 3.34. Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει της συνολικής ζήτησης ενέργειας ανά ΑΕΠ της Ελλάδας για το έτος 2012.....	43
Σχήμα 4.1. Ετήσια ζήτηση ενέργειας για βιομηχανική χρήση στην Θεσσαλία και την Ελλάδα.....	47
Σχήμα 4.2. Λόγος ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας για την Θεσσαλία και την Ελλάδα.....	47
Σχήμα 4.3. Ετήσια ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία και την Ελλάδα.....	48
Σχήμα 4.4. Λόγος ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας για την Θεσσαλία και την Ελλάδα.....	48
Σχήμα 4.5. Λόγος συνολικής ζήτησης ενέργειας της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα....	48
Σχήμα 4.6. Λόγος ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα.....	49
Σχήμα 4.7. Λόγος ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα.....	49



Σχήμα 4.24. Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, της μηνιαίας και της εβδομαδιαίας περιοδικότητας.....	58
Σχήμα 4.25. Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, της μηνιαίας και της εβδομαδιαίας περιοδικότητας, για την Θεσσαλία από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.....	58
Σχήμα 4.26. Συνθετική χρονοσειρά συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα.....	59
Σχήμα 4.27. Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνθετική χρονοσειρά της συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, για την Θεσσαλία.....	59
Σχήμα 4.28. Συνθετική χρονοσειρά συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ωριαία κλίμακα.....	60
Σχήμα 4.29. Συνθετική χρονοσειρά ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα.....	60
Σχήμα 4.30. Συνθετική χρονοσειρά ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ωριαία κλίμακα.....	61



## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1. Ελληνικό Ετήσιο Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (Πηγή: The World Bank 2015). .....	6
Πίνακας 3.1. Εξεταζόμενες μεταβλητές για κάθε νομό της Ελλάδας για την χρονική περίοδο 2008-2012. Τα δεδομένα είναι σε ετήσια κλίμακα. Η στήλη των περιπτώσεων περιλαμβάνει τον αριθμό των μεταβλητών που απεικονίζονται στο υποστηρικτικό υλικό (Πηγή δεδομένων: Hellenic Statistical Authority).....	25
Πίνακας 3.2. Εξεταζόμενοι συνδυασμοί μεταβλητών οι οποίες προκύπτουν μετά από μετασχηματισμό μεταβλητών που περιέχει ο Πίνακας 3.1. Η στήλη των περιπτώσεων περιλαμβάνει τον αριθμό των μεταβλητών που απεικονίζονται στο υποστηρικτικό υλικό. .....	26
Πίνακας 3.3. Εργαλεία της Esri (2015) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και παράμετροι. Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν η αντίστροφη απόσταση ως ένδειξη της χωρικής σχέσης και η Ευκλείδεια απόσταση για τον υπολογισμό των αποστάσεων.....	26
Πίνακας 4.1. Κατανομή στην ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση (Πηγή: Νικολόπουλος 2015, Πίνακας 2.12). .....	49



## 1. Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για την χρονική περίοδο 2002-2014 και προσομοιώνουμε την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και την Θεσσαλία.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζουμε οπτικά την κατανομή της ζήτησης ενέργειας στον χρόνο για την ωριαία, ημερήσια, εποχιακή και ετήσια κλίμακα σε σχέση με την μέση ημερήσια θερμοκρασία και το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ) της Ελλάδας για την ίδια χρονική περίοδο. Συγκρίνουμε οπτικά την πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης του Ελληνικού Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με το πραγματικό φορτίο ζήτησης. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζουμε είναι παρόμοια με αυτά προηγούμενων αντίστοιχων μελετών στην Ελλάδα, αλλά για διαφορετικές χρονικές περιόδους. Παρατηρούμε τέλος μια αλλαγή στο σχήμα ενεργειακής ζήτησης στην διάρκεια του έτους, μετά το έτος 2010. Αυτή η αλλαγή πιθανόν να οφείλεται στην μείωση του ΑΕΠ κατά την διάρκεια της χρονικής περιόδου 2010-2014.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο συνδυάζουμε μεταβλητές ζήτησης ενέργειας για διάφορες χρήσεις (αγροτική, εμπορική, οικιακή, βιομηχανική, δημόσιες υπηρεσίες και φωτισμός οδών) με μεταβλητές όπως ο πληθυσμός, η έκταση, η πυκνότητα πληθυσμού και το ακαθάριστο εθνικό προϊόν για κάθε νομό της Ελλάδας για τα έτη 2008-2012. Παρουσιάζουμε οπτικά τους συνδυασμούς αυτών των μεταβλητών. Πραγματοποιούμε ανάλυση ακραίων τιμών, συστάδων, ενεργών σημείων και ομαδοποίησης. Η οπτικοποίηση των ανωτέρω μεταβλητών και αναλύσεων στον χώρο είναι δυνατόν να μας παρέχει χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με το αναπτυξιακό χωρικό μοντέλο της Ελλάδας.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο προσομοιώνουμε την συνολική ζήτηση ενέργειας, έχοντας αφαιρέσει νωρίτερα την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα και την Θεσσαλία. Επιπλέον προσομοιώνουμε την ζήτηση ενέργειας για αγροτική χρήση στην Θεσσαλία. Η προσομοίωση αφορά μεγάλη χρονική περίοδο και πραγματοποιείται για την εκτίμηση ενός ενεργειακού έργου σε βάθος χρόνου, οπότε δεν λαμβάνονται υπόψη χαρακτηριστικά όπως η εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες. Η προσομοίωση των ζητήσεων ενέργειας πραγματοποιείται αφού πρώτα αφαιρεθούν οι ετήσιοι μέσοι και οι παρατηρούμενες περιοδικότητες. Οι συνθετικές χρονοσειρές παράγονται με την μέθοδο bootstrap από τμήματα τυχαίου μήκους παραγόμενα από μια γεωμετρική κατανομή. Στην συνέχεια προστίθενται τα στοιχεία που προηγουμένως αφαιρέθηκαν.

Συνοψίζουμε στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο με τα αποτελέσματα της εργασίας, αναφορές στον κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για να παράγουμε τα αποτελέσματα και συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση.



## **2. Οπτικοποίηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα σε πολλαπλές χρονικές κλίμακες**

### *2.1 Εισαγωγή*

Η διερεύνηση της ενεργειακής ζήτησης για διάφορες χρονικές κλίμακες και η συσχέτισή της με διάφορες μεταβλητές, όπως κλιματικές και οικονομικές είναι απαραίτητη για την πρόβλεψή της (Hyndman and Fan 2010). Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε οπτικά τις ανωτέρω μεταβλητές για την Ελλάδα.<sup>1</sup>

Η επιστημονική βιβλιογραφία περιλαμβάνει πολλά άρθρα σχετικά με την ζήτηση ενέργειας στην Ελλάδα. Οι Psiloglou et al. (2009) έχουν διερευνήσει την ενεργειακή ζήτηση της Αθήνας την χρονική περίοδο 1997-2001, προσπαθώντας να βρουν την συσχέτισή της με έναν οικονομικό δείκτη, δηλαδή το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ) και έναν κλιματικό δείκτη, δηλαδή την θερμοκρασία. Οι Mirasgedis et al. (2006) παρουσιάζουν μια παρόμοια ανάλυση για την ζήτηση ενέργειας στην Ελλάδα, για την χρονική περίοδο 1993-2002. Οι Pappas et al. (2010) υπολογίζουν στατιστικά της χρονοσειράς ζήτησης ενέργειας, για την χρονική περίοδο 2004-2005, ώστε να προσαρμόσουν ένα στοχαστικό μοντέλο, το οποίο χρησιμοποιούν για πρόβλεψη. Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται παρόμοια αποτελέσματα, μετά από μια λεπτομερέστερη ανάλυση.

Επιπρόσθετα θέματα σχετικά με την ζήτηση της ενέργειας στην Ελλάδα και την γειτονική Κύπρο για τα οποία έχουν συνταχθεί επιστημονικές εργασίες είναι αυτά της αγοράς ενέργειας (Andrianesis et al. 2011), της συσχέτισης μεταξύ ζήτησης ενέργειας και οικονομικής δραστηριότητας (Dergiades et al. 2013, Fuinhas et al. 2012, Marques et al. 2014, Polemis and Dagoumas 2013, Tsani 2010), της συσχέτισης μεταξύ ζήτησης ενέργειας και κλιματικών ή γεωλογικών μεταβλητών (Katsoulakos and Kaliampakos 2014, Panagiotopoulos and Katsoulakos 2014), της πρόβλεψης ζήτησης ενέργειας (Ekonomou 2010), της κατανάλωσης ενέργειας για αστική χρήση (Hondroyiannis 2004, Rapanos and Polemis 2006), της μελέτης του συστήματος παραγωγής ενέργειας (Kalampalikas and Pilavachi 2010a,b), της εξέργειας (Koroneos et al. 2011) και θέματα σχετικά με την Κύπρο (Zachariadis and Pashourtidou 2007).

---

<sup>1</sup> Βασίζεται στους Tyralis et al. (2015, 2016a).

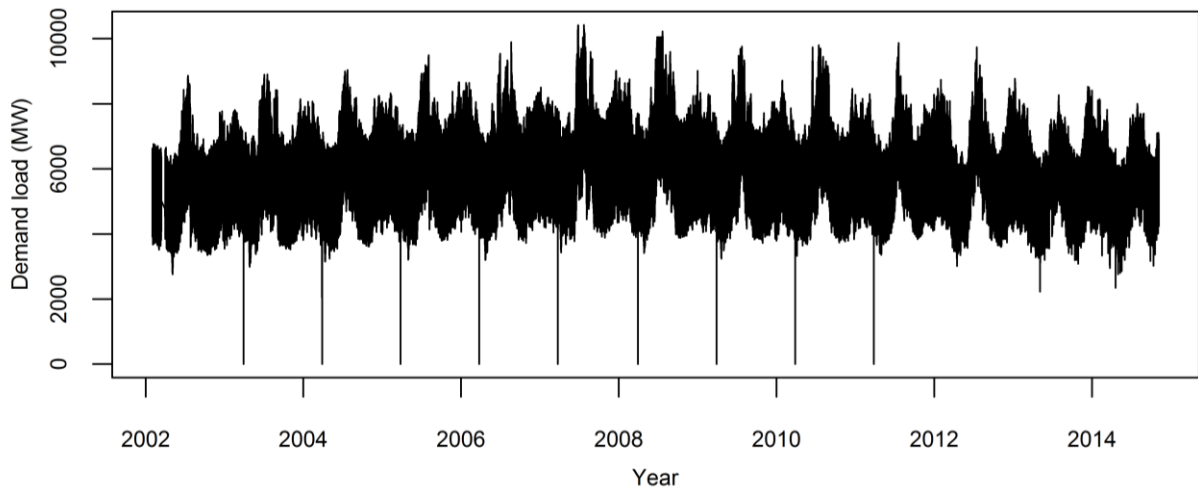
Η βιβλιογραφία περιλαμβάνει επίσης αρκετές επιστημονικές εργασίες, σχετικά με θέματα ανάλυσης της ζήτησης ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο. Τέτοια θέματα είναι η συσχέτιση μεταξύ ζήτησης ενέργειας και οικονομικής δραστηριότητας (Akinlo 2009, Gam and Rejeb 2012, Hainoun et al. 2006, Kiran et al. 2012, Kumar and Jain 2010, Morales-Acevedo 2014, Mozumder and Marathe 2007, Ouédraogo 2010, Payne 2010, Shan et al. 2012, Soytaş and Sari 2003, Yu et al. 2012), η συσχέτιση μεταξύ ζήτησης ενέργειας και κλιματικών ή γεωλογικών μεταβλητών (De Cian et al. 2013, Hor et al. 2005, Moral-Carcedo and Vicens-Otero 2005, Pardo et al. 2002), η ζήτηση ενέργειας για διάφορους τομείς της οικονομίας (Dilaver and Hunt 2011, Dimitropoulos et al. 2005), η διερεύνηση της κατανομής ζήτησης ενέργειας σε διάφορες χρονικές κλίμακες (Farzan et al. 2015, Filik et al. 2011), η οικιακή ζήτηση (Richardson et al. 2010, Widén and Wäckelgård 2010). Μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας επιχειρούν οι Jebaraj and Iniyar (2006).

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο επιχειρούμε την οπτικοποίηση της ενεργειακής ζήτησης στην Ελλάδα για την χρονική περίοδο 2002-2014. Αναζητούμε την σχέση μεταξύ της ενεργειακής ζήτησης και του ΑΕΠ και της θερμοκρασίας. Από την ανάλυση προκύπτει ότι, ενώ σε γενικές γραμμές τα συμπεράσματα των Psiloglou et al. (2009) εξακολουθούν να ισχύουν, ωστόσο από το 2010 όταν το ΑΕΠ άρχισε να μειώνεται, το σχήμα της ενεργειακής ζήτησης άλλαξε κατά την χειμερινή περίοδο. Επιπλέον διερευνούμε και την αποτελεσματικότητα του συστήματος πρόβλεψης ενεργειακής ζήτησης του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ, Independent Power Transmission Operator, IPTO). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι χρήσιμα για την πρόβλεψη ζήτησης ενέργειας και για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών. Τα δεδομένα και ο κώδικας από τον οποίον προέκυψαν τα αποτελέσματα της εργασίας, διατίθενται ως υποστηρικτικό υλικό από τους Tyralis et al. (2016a).

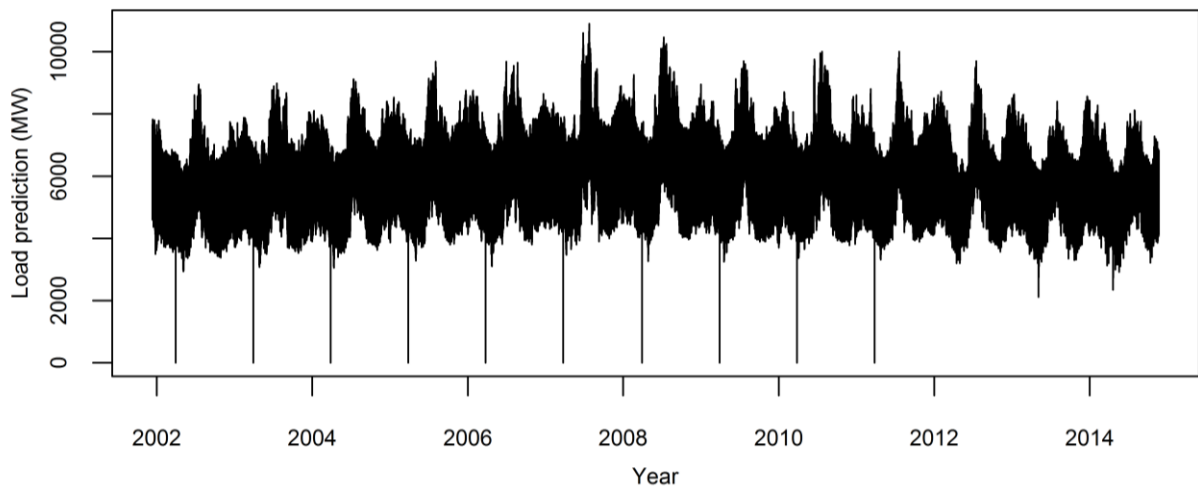
## 2.2 Δεδομένα

### 2.2.1 Ζήτηση ενέργειας

Ο IPTO (2015) παρέχει πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος. Η ωριαία ζήτηση ισχύος απεικονίζεται στο Σχήμα 2.1 και η πρόβλεψη της ωριαίας ζήτησης ισχύος απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2. Με μια πρώτη ματιά φαίνεται να υπάρχει κάποια περιοδικότητα στην ζήτηση ισχύος η οποία οφείλεται στην εποχικότητα.



**Σχήμα 2.1.** Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος για την Ελλάδα.



**Σχήμα 2.2.** Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας πρόβλεψης ζήτησης ισχύος η οποία διενεργείται από τον ΙΡΤΟ για την Ελλάδα.

### 2.2.2 Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν

Η The World Bank (2015) παρέχει πρωτογενή δεδομένα του ΑΕΠ, τα οποία παρουσιάζει ο Πίνακας 2.1. Στην παρούσα εργασία, για λόγους απλοποίησης της ανάλυσης, ορίζουμε ως υδρολογικό έτος, το έτος το οποίο αρχίζει τον Σεπτέμβριο της μιας χρονιάς και λήγει τον Αύγουστο της επόμενης. Υπολογίζουμε το ΑΕΠ του υδρολογικού έτους σύμφωνα με την εξ. (2.1).

$$\text{ΑΕΠ}_{\text{υδρ},i} = (1/3) \text{ΑΕΠ}_i + (2/3) \text{ΑΕΠ}_{i+1}, i = 2002, 2003, \dots \quad (2.1)$$

**Πίνακας 2.1.** Ελληνικό Ετήσιο Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (Πηγή: The World Bank 2015).

Έτος	Ετήσιο Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (10 <sup>6</sup> €)	Υδρολογικό έτος	Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν υδρολογικού έτους (10 <sup>6</sup> €)
2002	155 192.4	2002	165 641.0
2003	170 865.3	2003	179 344.0
2004	183 583.3	2004	189 894.2
2005	193 049.7	2005	203 431.1
2006	208 621.8	2006	218 314.0
2007	223 160.1	2007	229 851.8
2008	233 197.7	2008	231 786.7
2009	231 081.2	2009	225 128.1
2010	222 151.5	2010	213 071.6
2011	208 531.7	2011	198 408.6
2012	193 347.0	2012	185 818.5
2013	182 054.2	2013	

### 2.2.3 Θερμοκρασία

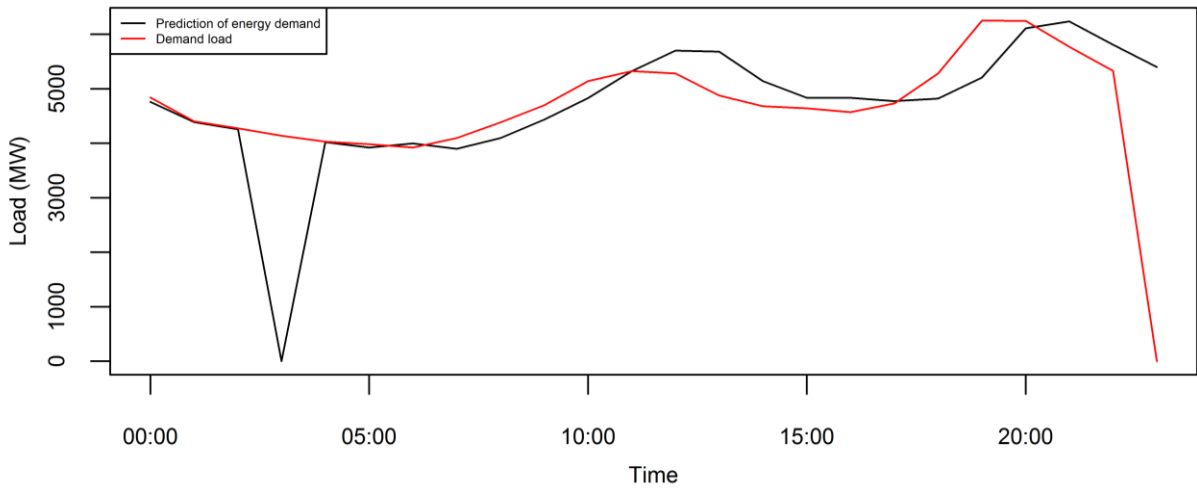
Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα θερμοκρασίας του σταθμού της Ηλιούπολης στην Αττική (The Hydrological Observatory of Athens 2015). Ο σταθμός βρίσκεται κοντά στην θάλασσα (Σχήμα 2.3). Θεωρούμε ότι για αυτήν την ανάλυση μπορεί να αντιπροσωπεύσει την θερμοκρασία στην Ελλάδα, διότι στην Αττική κατοικεί το 35% του πληθυσμού της Ελλάδας, είναι συγκεντρωμένη η κύρια βιομηχανική δραστηριότητα, και επίσης λόγω του ήπιου κλίματος στην Αττική και της θέσης του σταθμού είναι λιγότερο ευαίσθητος σε τοπικά ακραία καιρικά φαινόμενα.



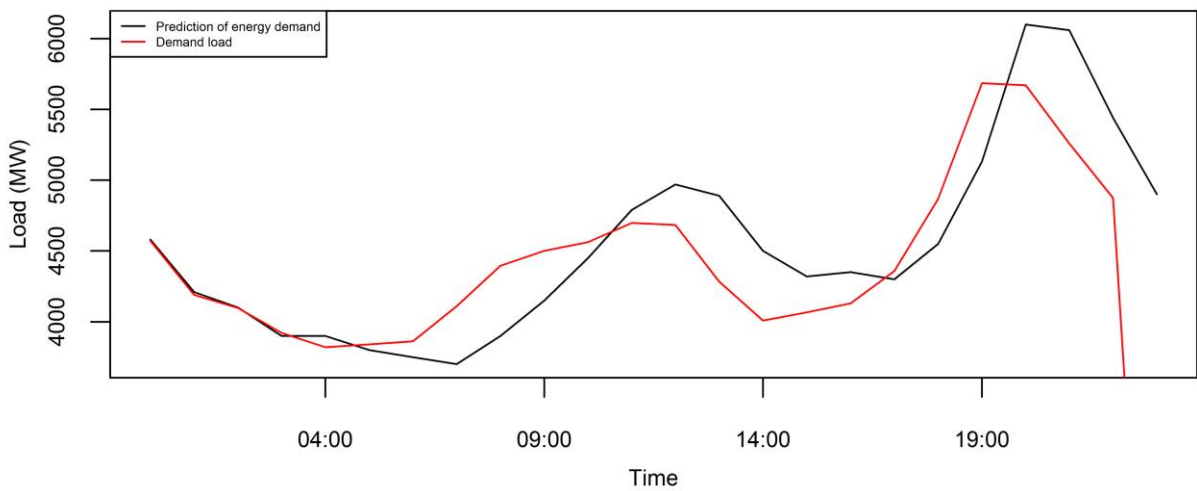
**Σχήμα 2.3.** Θέση του σταθμού της Ηλιούπολης.

### 2.3 Επεξεργασία δεδομένων

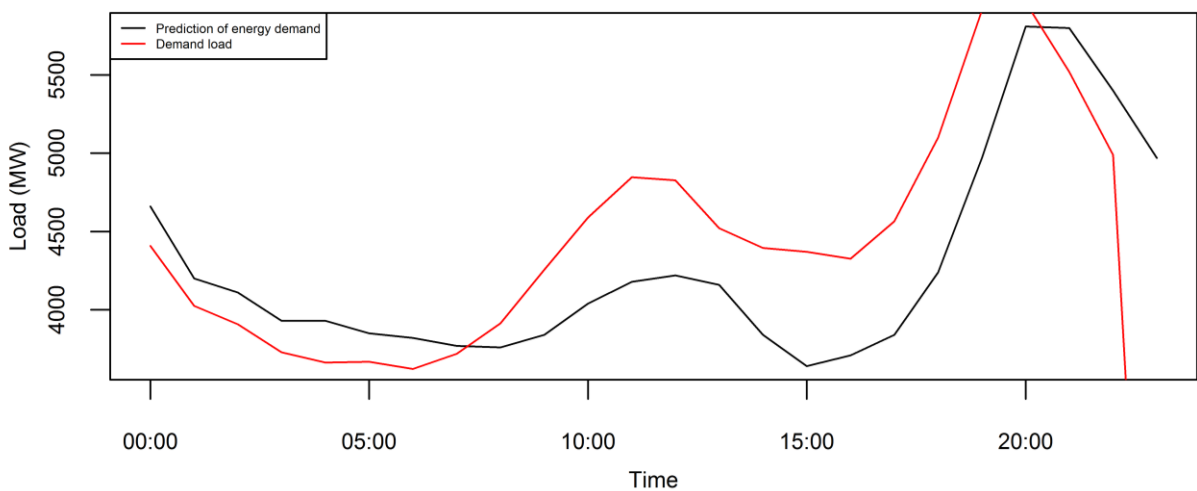
Πριν αναλύσουμε τα δεδομένα της ενέργειας, προχωρήσαμε σε μια διαδικασία επεξεργασίας και καθαρισμού τους. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 2.1 και το Σχήμα 2.2 παρατηρούμε κάποιες μηδενικές τιμές, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έλλειπαν ορισμένες τιμές. Μετά από διερεύνηση προέκυψε ότι αυτές οι τιμές παρατηρούνται σε ημέρες στις οποίες έχουμε θερινή ώρα (π.χ. βλ. Σχήμα 2.4, Σχήμα 2.5, Σχήμα 2.6, Σχήμα 2.7). Ακολουθήσαμε την συνήθη πρακτική, κατά την οποία οι τιμές αυτές αντικαθίστανται από τον μέσο της προηγούμενης και της επόμενης τιμής.



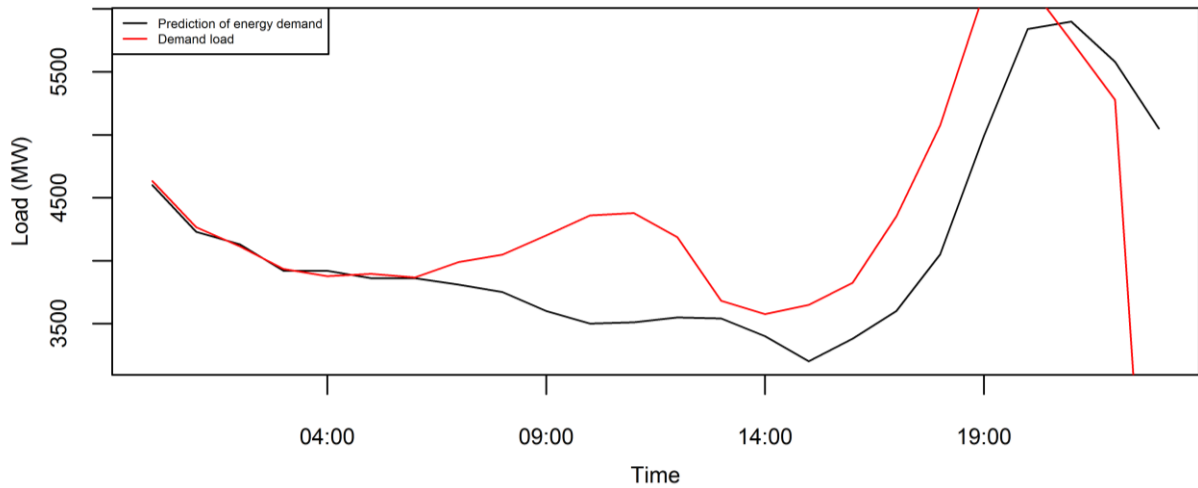
**Σχήμα 2.4.** Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος στις 27-03-2011.



**Σχήμα 2.5.** Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος στις 25-03-2012.

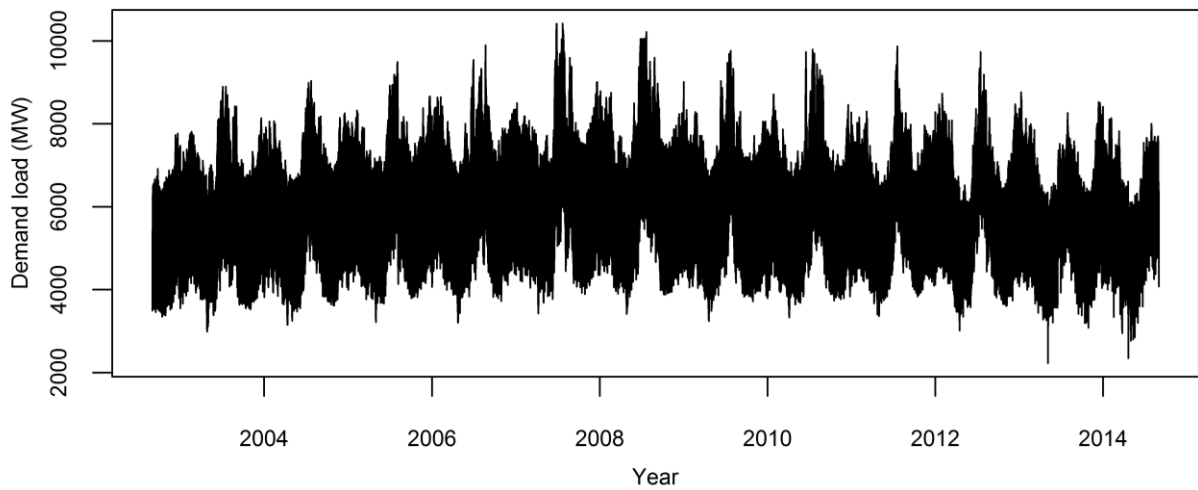


**Σχήμα 2.6.** Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος στις 31-03-2013.

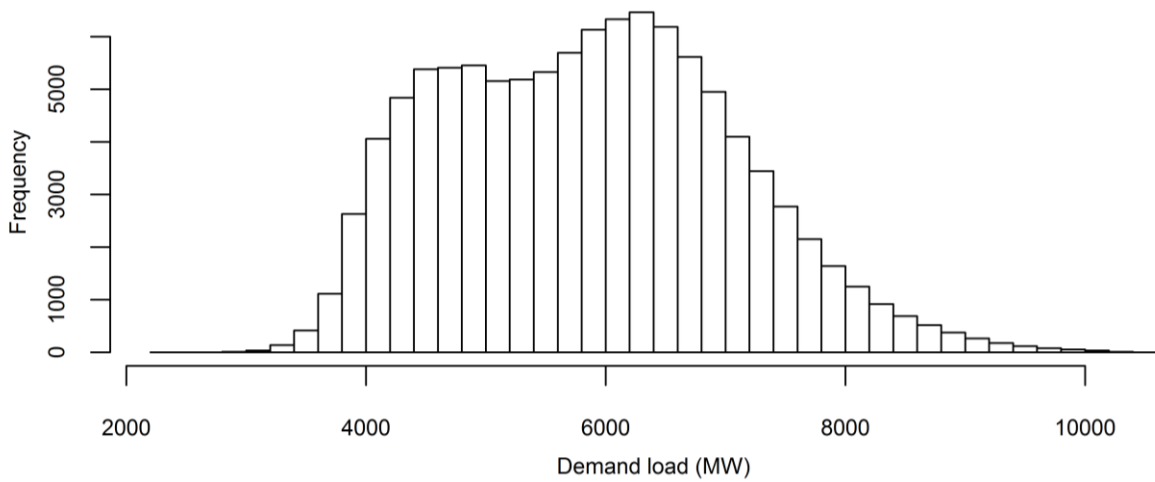


**Σχήμα 2.7.** Πρωτογενή δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος στις 30-03-2014.

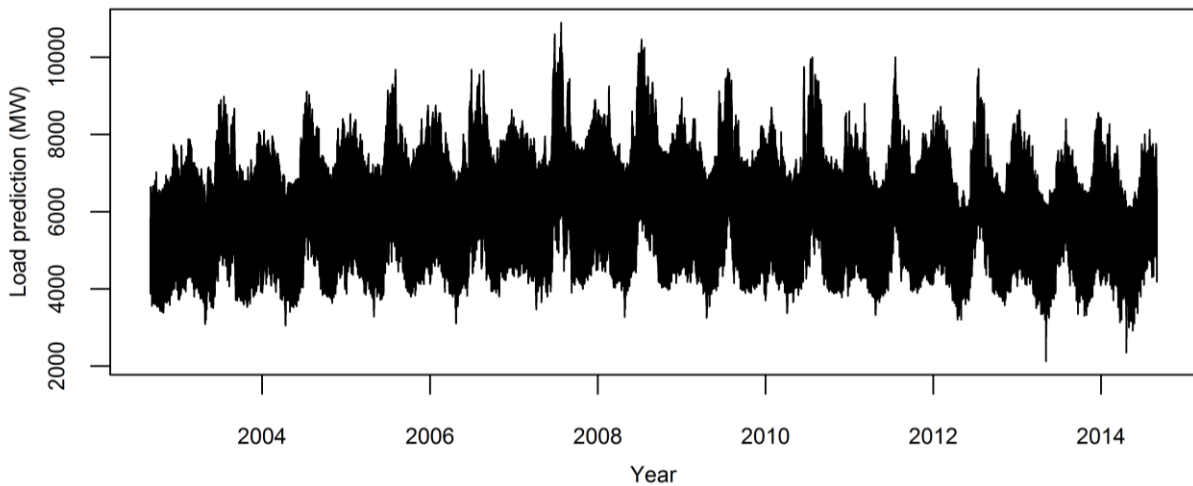
Μετά την επεξεργασία των δεδομένων απεικονίζεται η ζήτηση ισχύος στο Σχήμα 2.8 και το ιστόγραμμα των ωριαίων τιμών στο Σχήμα 2.9, ενώ στο Σχήμα 2.10 και το Σχήμα 2.11 απεικονίζονται οι ίδιες μεταβλητές για την πρόβλεψη της ζήτησης ισχύος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9 και το Σχήμα 2.11 τα διαγράμματα έχουν δύο κορυφές περίπου στα 5 000 MW και τα 6 400 MW για την ζήτηση ισχύος.



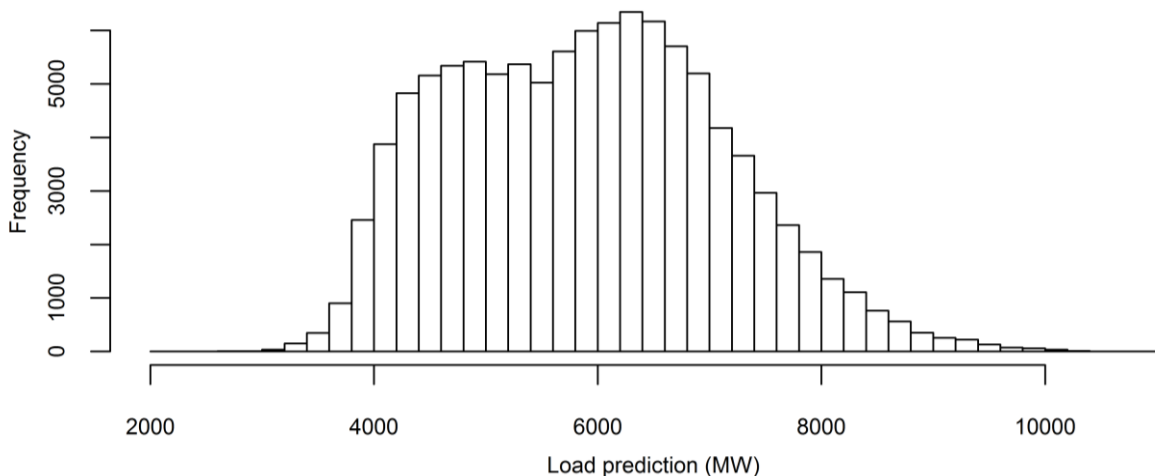
**Σχήμα 2.8.** Ωριαία ζήτηση ισχύος.



**Σχήμα 2.9.** Ιστόγραμμα ωριαίων ζητήσεων ισχύος για την χρονική περίοδο 01/09/2002 – 31/08/2014.



**Σχήμα 2.10.** Ωριαία πρόβλεψη ζήτησης ισχύος η οποία διενεργείται από τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).

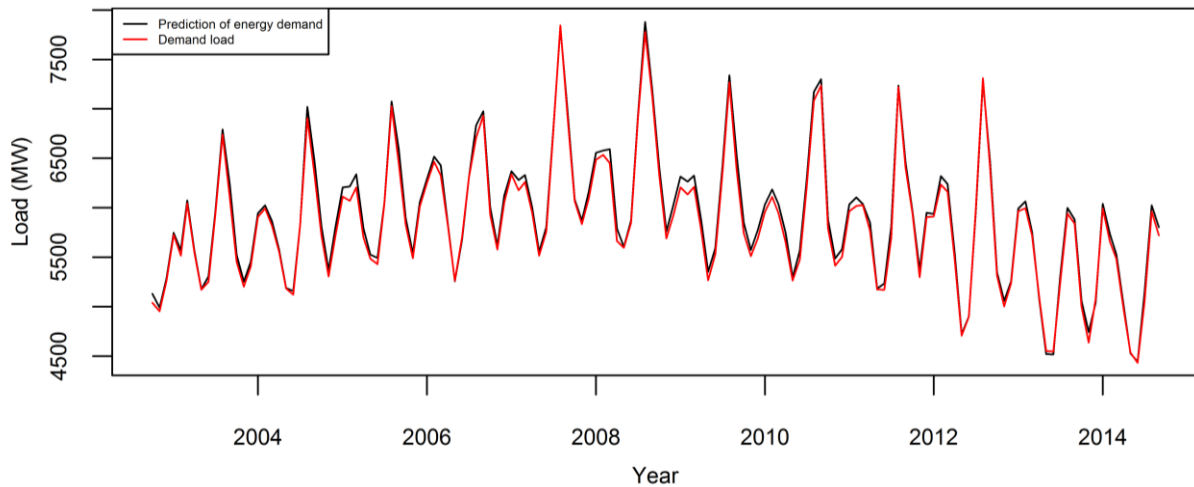


**Σχήμα 2.11.** Ιστόγραμμα ωριαίων προβλέψεων ζήτησης ισχύος για την χρονική περίοδο 01/09/2002 – 31/08/2014 η οποία διενεργείται από τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).

Στο Σχήμα 2.12 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές ζήτησης ισχύος και πρόβλεψης ζήτησης ισχύος, από όπου φαίνεται ότι γενικά η πρόβλεψη συστηματικά υπερεκτιμά την



ζήτηση στις περιοχές τοπικών μεγίστων οι οποίες βρίσκονται στις αρχές και τέλη κάθε έτους.



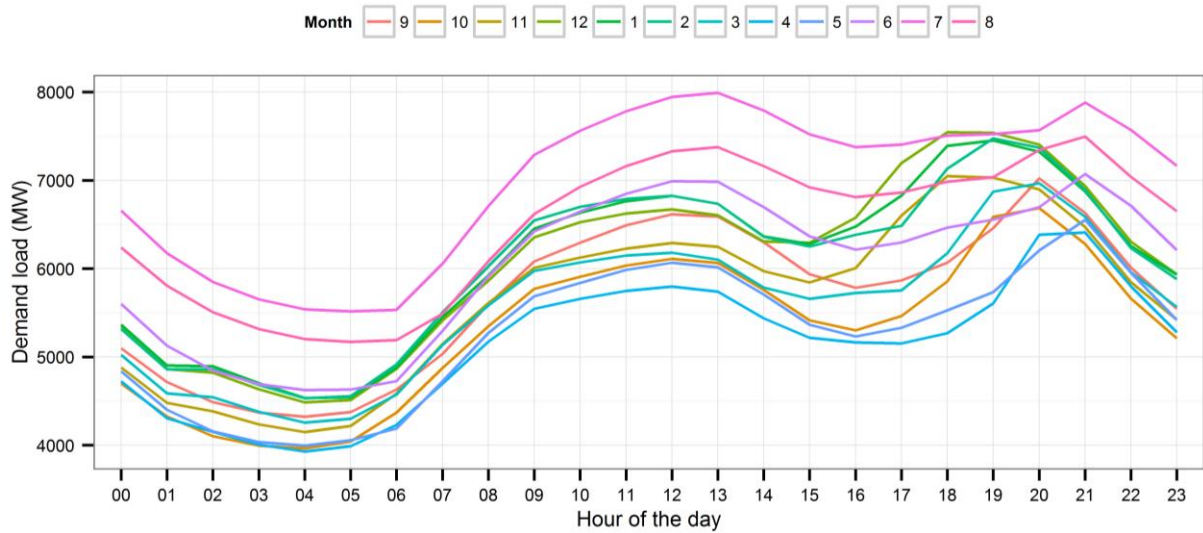
**Σχήμα 2.12.** Μέσες μηνιαίες τιμές ζήτησης και πρόβλεψης ζήτησης ισχύος.

## 2.4 Οπτική διερεύνηση

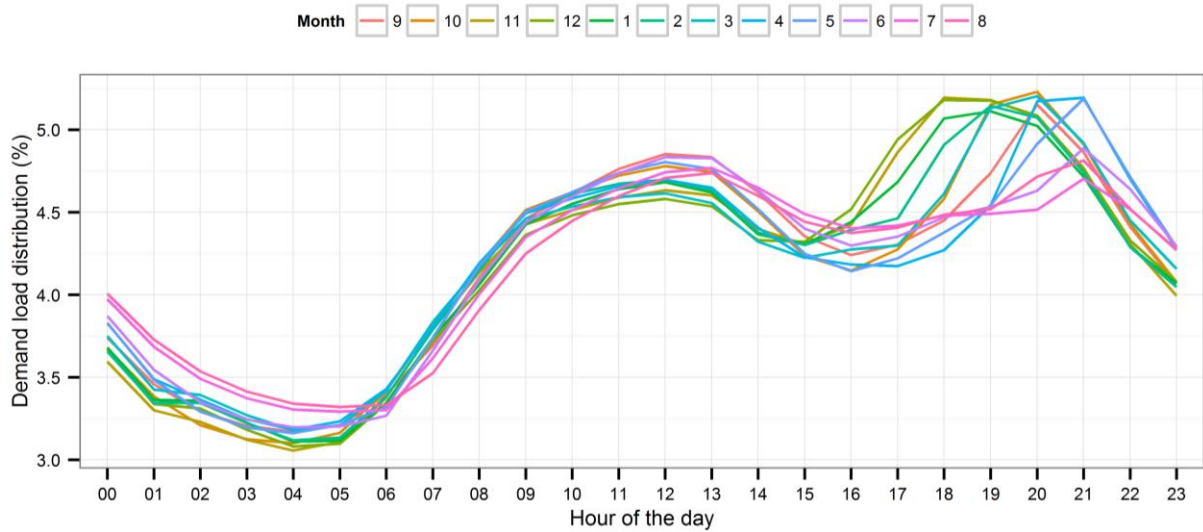
### 2.4.1 Οπτική διερεύνηση για διάφορες χρονικές κλίμακες

Στην Ενότητα 2.4.1 πραγματοποιείται οπτική διερεύνηση της ζήτησης ισχύος για διάφορες χρονικές κλίμακες. Οι χρονικές κλίμακες που εξετάζουμε είναι η ωριαία, η ημερήσια και η μηνιαία, ξεκινώντας από την μικρότερη στην μεγαλύτερη, ενώ στο τέλος της ενότητας εξετάζεται η ειδική περίπτωση της 01-01-2014.

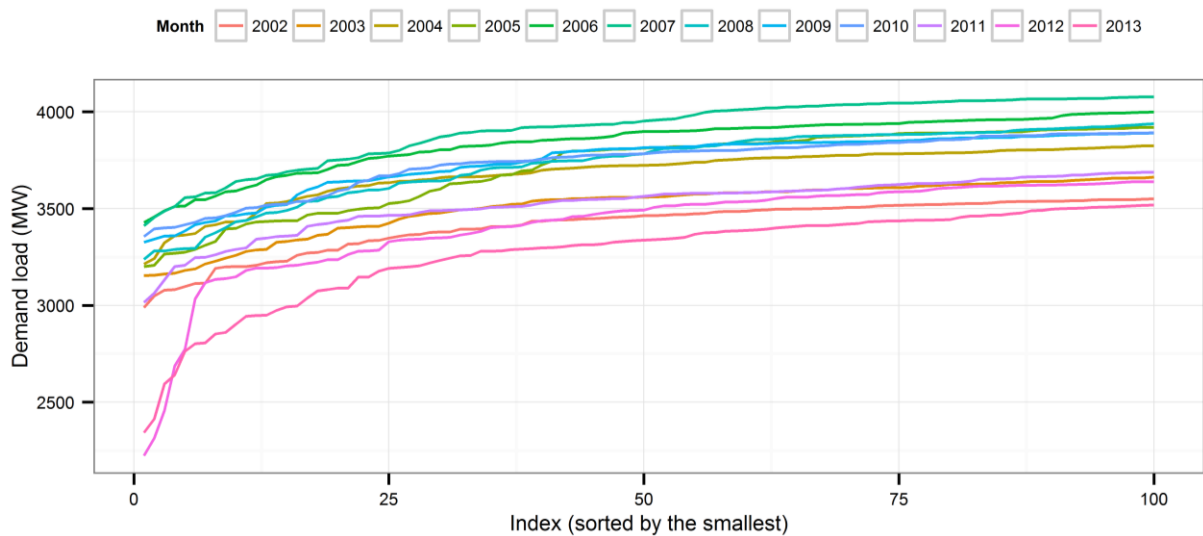
Στο Σχήμα 2.13 παρουσιάζεται η μέση ωριαία ζήτηση ισχύος για κάθε μήνα, ενώ στο Σχήμα 2.14 η κατανομή της στην διάρκεια της ημέρας. Οι ελάχιστες τιμές ζήτησης παρουσιάζονται περίπου στις 03:00 – 05:00 καθημερινά, ενώ παρατηρούνται δύο τοπικά μέγιστα. Το πρώτο τοπικό μέγιστο παρατηρείται στις 13:00 ανεξαρτήτως του μήνα, ενώ το δεύτερο τοπικό μέγιστο παρατηρείται στις 20:00 για τους μήνες Σεπτέμβριο – Φεβρουάριο και στις 21:00 για τους μήνες Μάρτιο – Αύγουστο. Στο Σχήμα 2.15 και στο Σχήμα 2.16 παρουσιάζονται οι ελάχιστες και μέγιστες αντίστοιχα ωριαίες τιμές ζήτησης ισχύος για τα υδρολογικά έτη 2002 – 2013. Παρατηρούμε ότι την περίοδο 2002 – 2011 οι καμπύλες μετατοπίζονταν προς τα πάνω, αλλά τα έτη 2012 και 2013 παρατηρήθηκε μείωση των τιμών σε επίπεδα μικρότερα από αυτά του 2002.



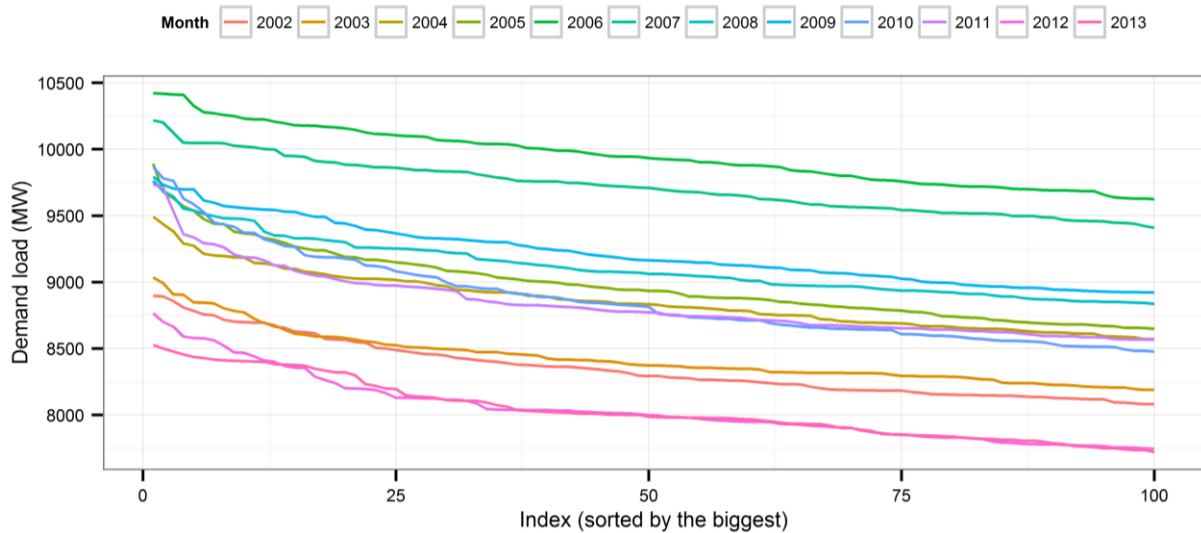
Σχήμα 2.13. Μέση ωριαία ζήτηση ισχύος ανά μήνα.



Σχήμα 2.14. Κατανομή στην ημέρα μέσης ωριαία ζήτηση ισχύος ανά μήνα.

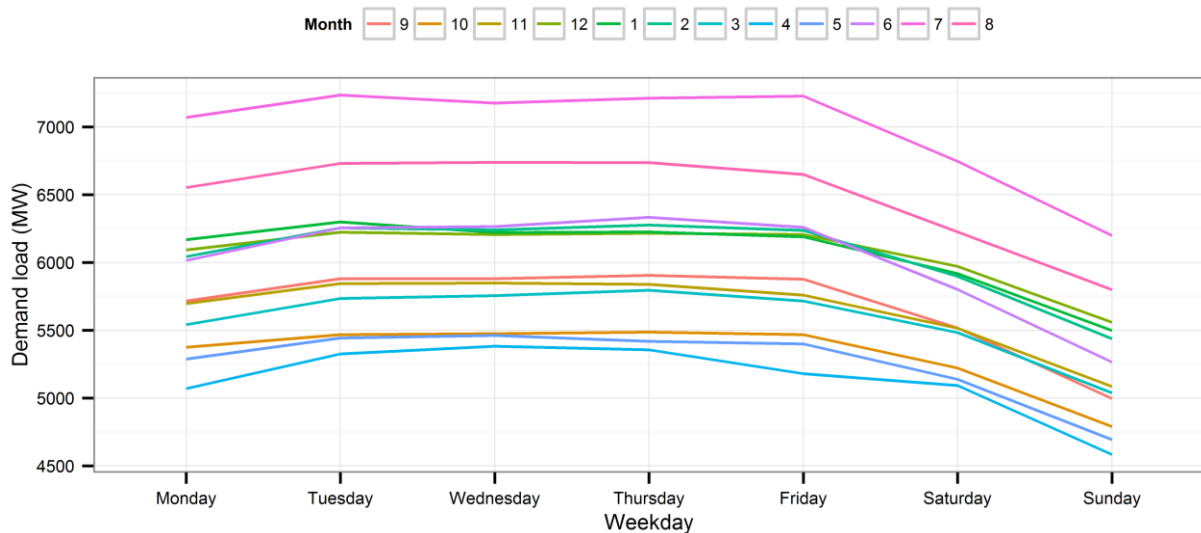


Σχήμα 2.15. 100 ελάχιστες τιμές ωριαίας ζήτησης ανά υδρολογικό έτος.

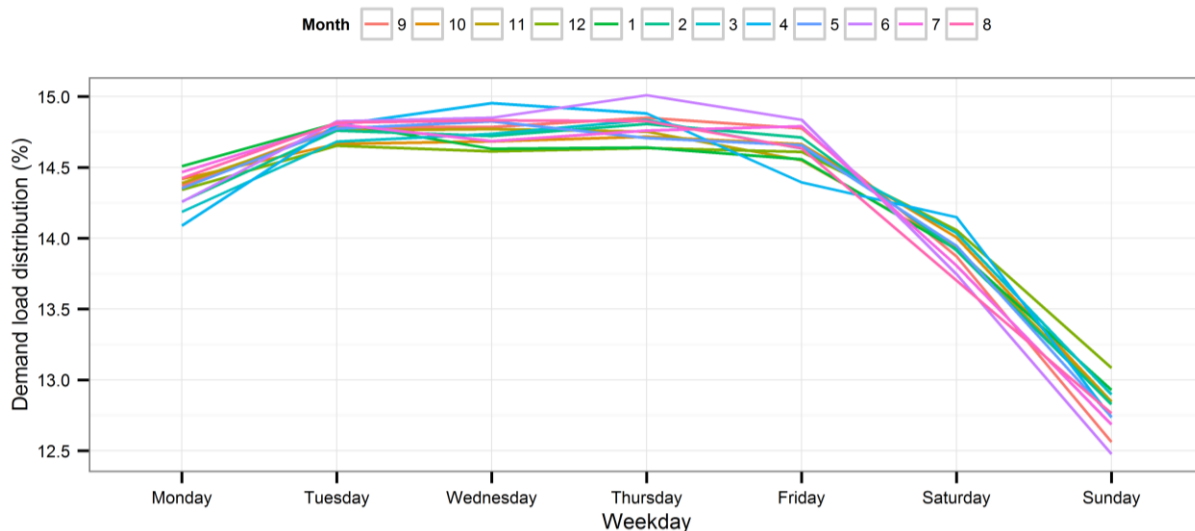


**Σχήμα 2.16.** 100 μέγιστες τιμές ωριαίας ζήτησης ανά υδρολογικό έτος.

Στο Σχήμα 2.17 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια ζήτηση ισχύος για κάθε μήνα, ενώ στο Σχήμα 2.18 παρουσιάζεται η κατανομή της στην διάρκεια της εβδομάδας. Για κάθε μήνα η κατανομή παραμένει περίπου ίδια στην διάρκεια της εβδομάδας, με την μέγιστη διακύμανση να παρατηρείται την Κυριακή όπου η μέγιστη από την ελάχιστη τιμή να διαφέρουν περίπου 0.60%. Ο μόνος μήνας που φαίνεται να διαφέρει σημαντικά, ως προς το σχήμα ζήτησης είναι ο Μάρτιος με μια μεγάλη μείωση μεταξύ Πέμπτης και Παρασκευής.

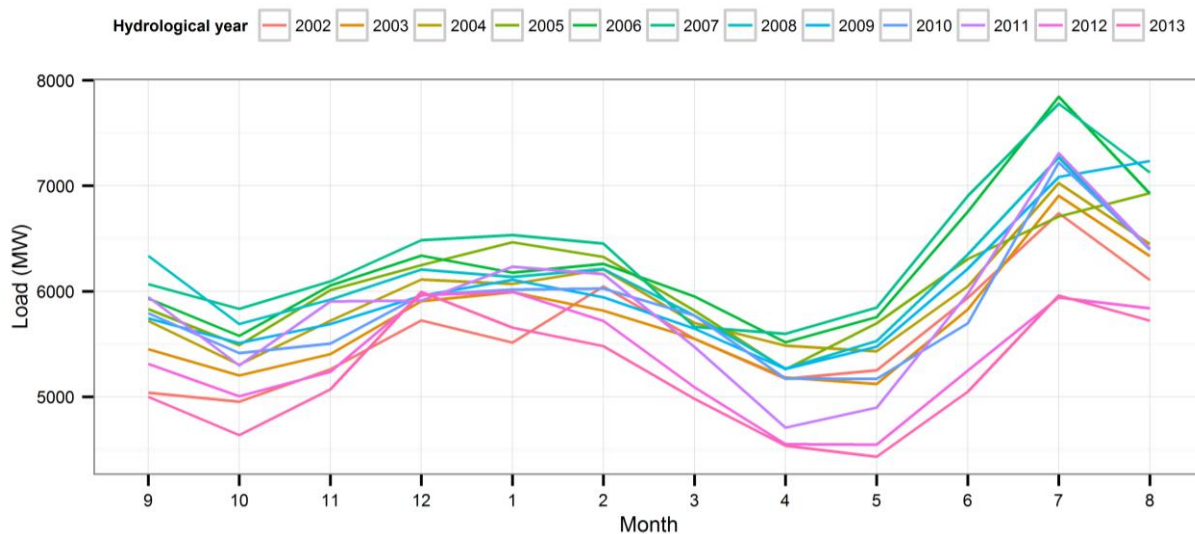


**Σχήμα 2.17.** Μέση ημερήσια ζήτηση ισχύος ανά μήνα.

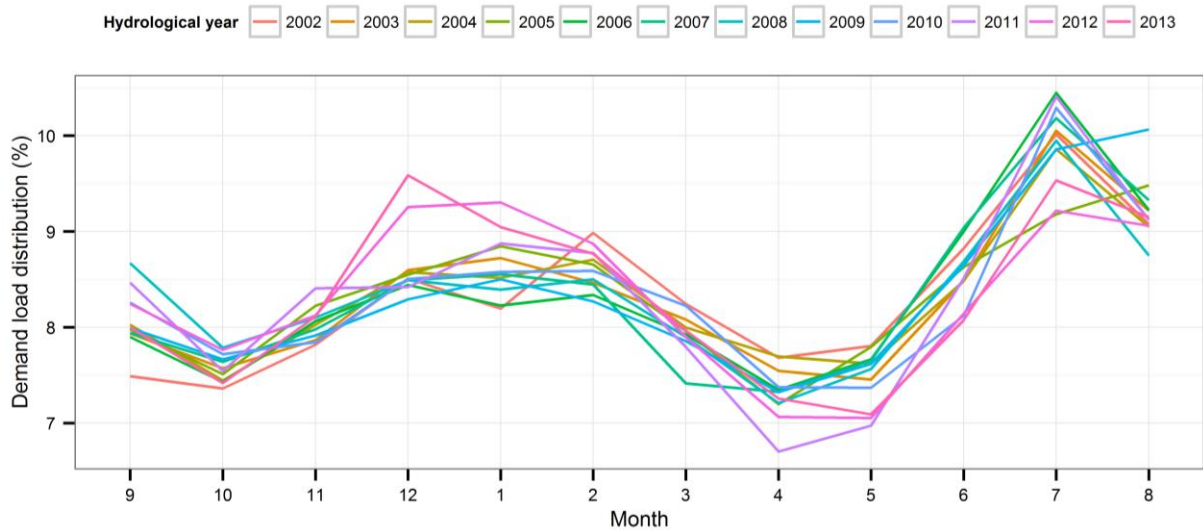


**Σχήμα 2.18.** Κατανομή μέσης ημερήσιας ζήτησης ισχύος ανά μήνα.

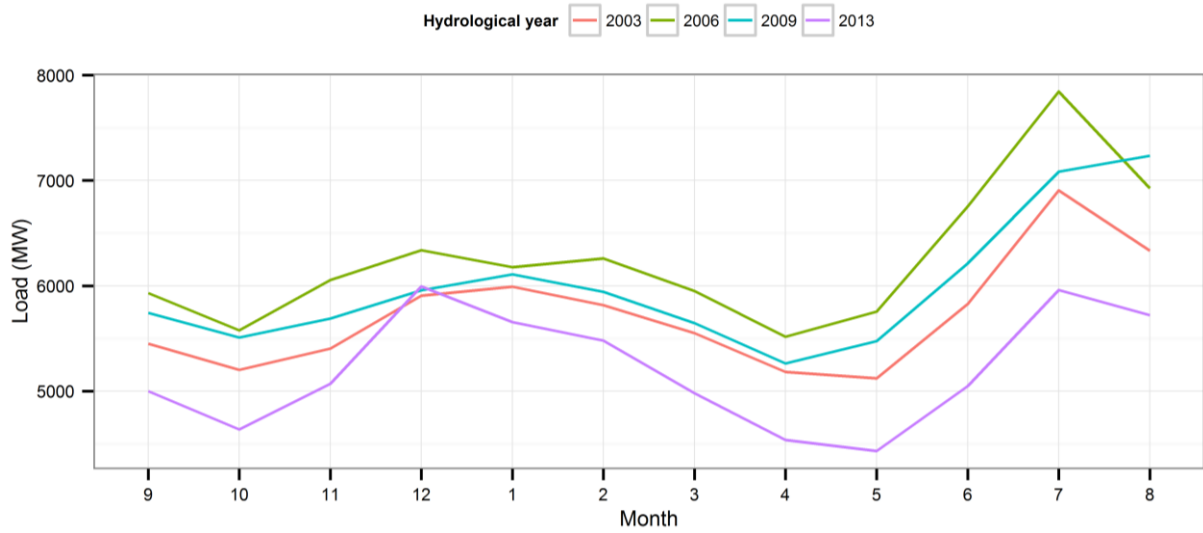
Στο Σχήμα 2.19 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ζήτηση ισχύος για κάθε υδρολογικό έτος. Παρατηρούμε ότι από το υδρολογικό έτος 2007 και έπειτα παρατηρείται μια πτώση της ζήτησης. Αυτό είναι περισσότερο φανερό στο Σχήμα 2.21, όπου φαίνεται η μεγάλη μείωση ζήτησης ισχύος, η οποία παρατηρήθηκε το υδρολογικό έτος 2013. Στο Σχήμα 2.20 παρουσιάζεται η κατανομή της μέσης μηνιαίας ζήτησης στην διάρκεια του υδρολογικού έτους. Είναι αξιοσημείωτη η αλλαγή στο σχήμα ζήτησης τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο για τα υδρολογικά έτη 2012 και 2013, όπου παρατηρείται μεγάλη αύξηση. Αυτό είναι περισσότερο εμφανές στο Σχήμα 2.22 για το υδρολογικό έτος 2013. Στο Σχήμα 2.23 παρουσιάζεται και η διακύμανση της μέσης μηνιαίας ζήτησης για το σύνολο των υδρολογικών ετών. Παρατηρείται μικρή διακύμανση για τους μήνες Δεκέμβριο – Απρίλιο, ωστόσο υπάρχουν κάποιες ακραίες τιμές, οι οποίες μάλλον από την αλλαγή του σχήματος ζήτησης κατά τα υδρολογικά έτη 2012 και 2013.



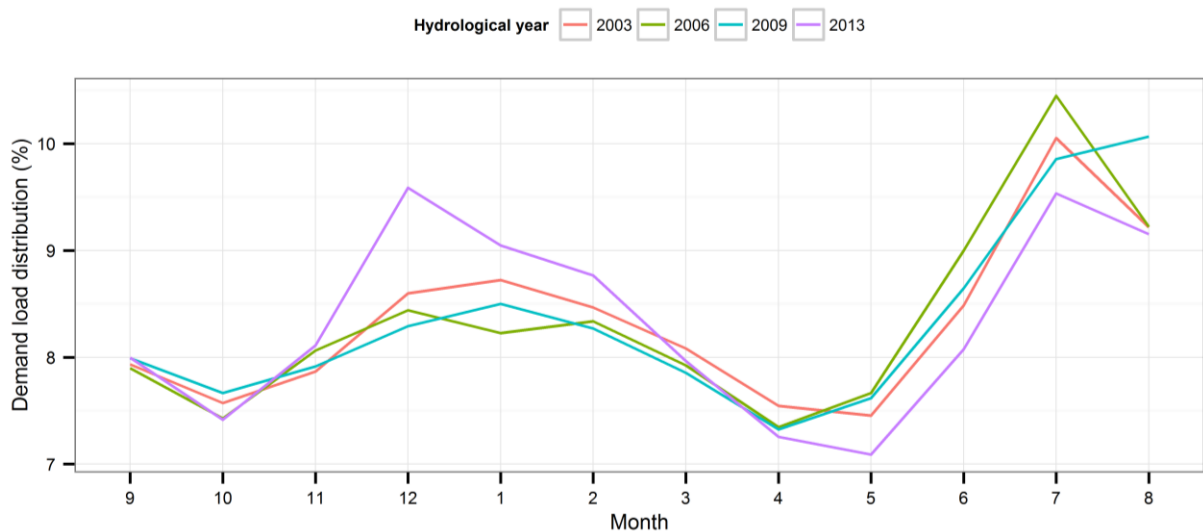
**Σχήμα 2.19.** Μέση μηνιαία ζήτηση ισχύος ανά υδρολογικό έτος.



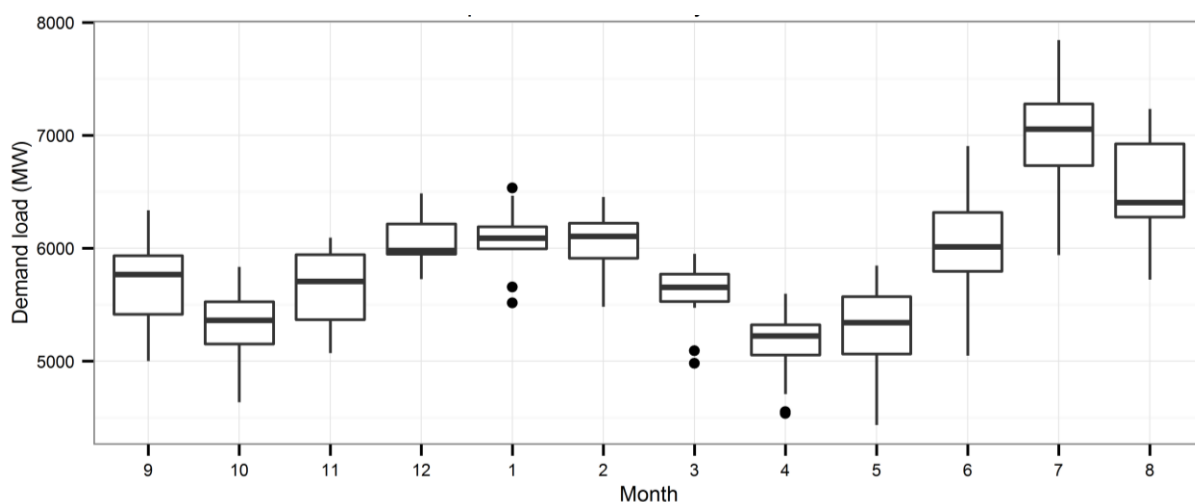
Σχήμα 2.20. Κατανομή μέσης μηνιαίας ζήτησης ισχύος στο έτος, ανά υδρολογικό έτος.



Σχήμα 2.21. Μέση μηνιαία ζήτηση ισχύος ανά υδρολογικό έτος, για τα υδρολογικά έτη 2003, 2006, 2009, 2013.

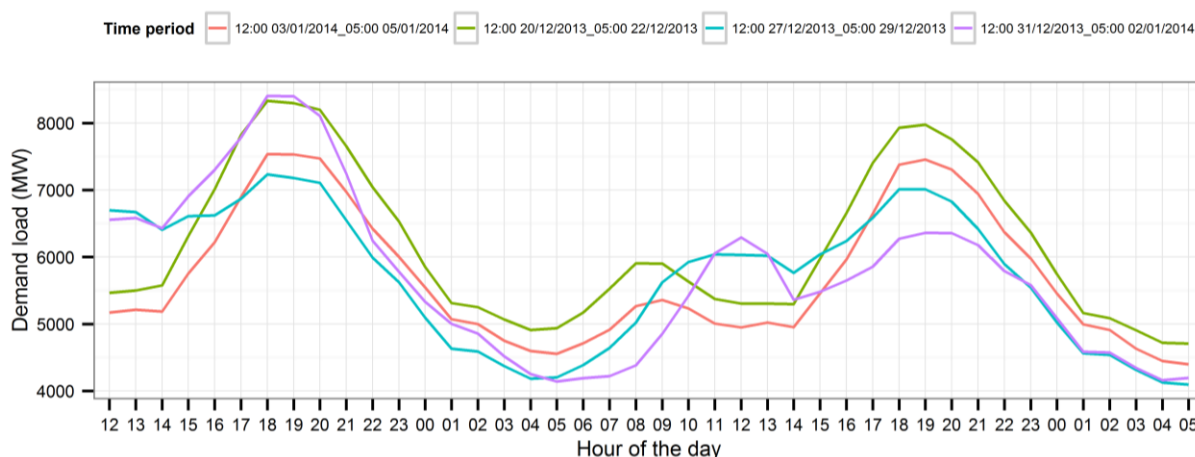


Σχήμα 2.22. Κατανομή μέσης μηνιαίας ζήτησης ισχύος στο έτος, ανά υδρολογικό έτος, για τα υδρολογικά έτη 2003, 2006, 2009, 2013.



**Σχήμα 2.23.** Boxplot με τα ποσοστημόρια 0.25 και 0.75 για τις μέσες μηνιαίες τιμές ζήτησης ισχύος.

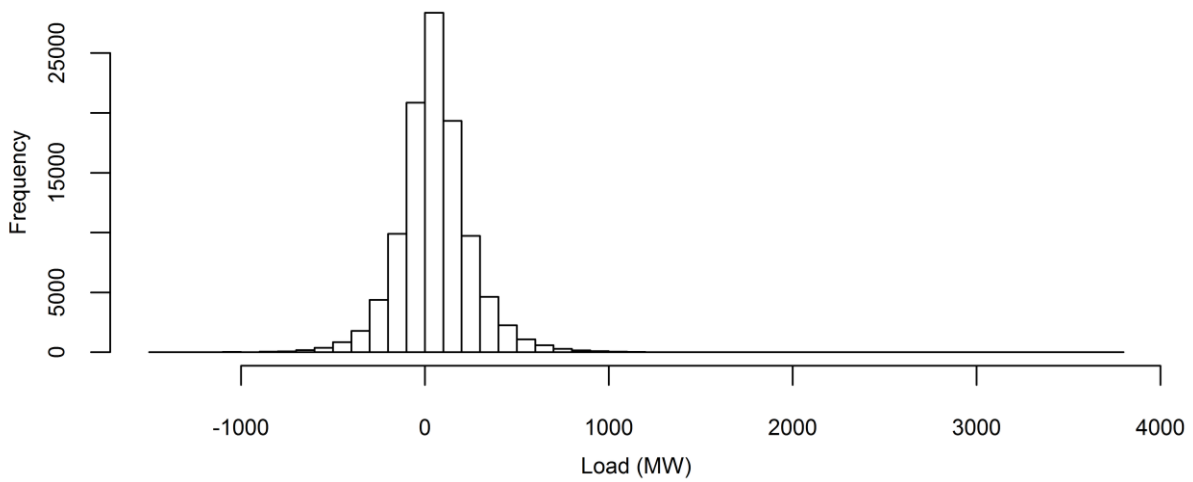
Στο Σχήμα 2.24 παρατηρούμε τι συνέβη με την ωριαία ζήτηση ισχύος την πρωτοχρονιά του 2014 συγκρίνοντας την με την ωριαία ζήτηση ισχύος τα αμέσως κοντινότερα τρίμηνα. Δεν βλέπουμε κάτι αξιοσημείωτο για αυτήν την ημέρα.



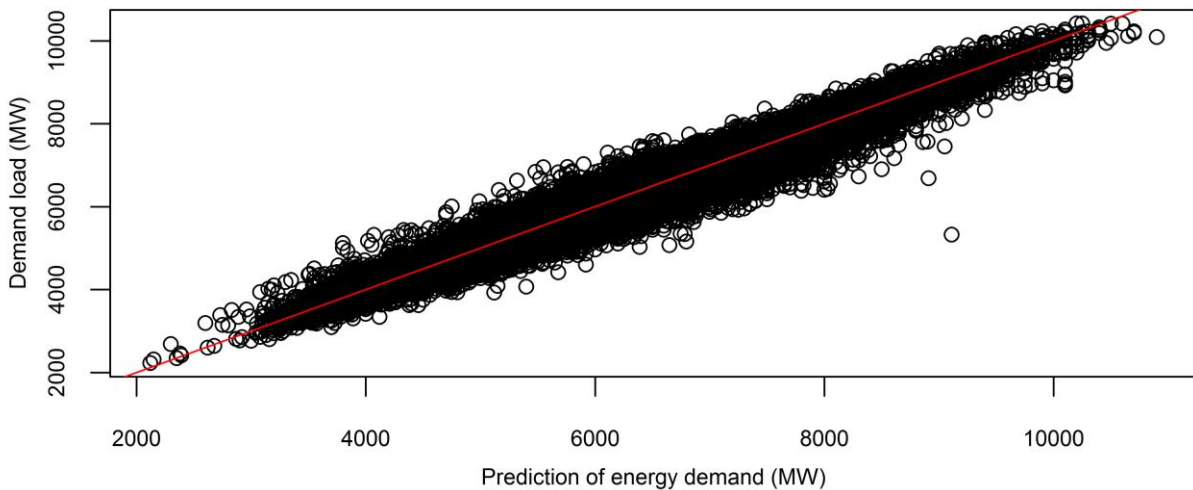
**Σχήμα 2.24.** Ωριαία ζήτηση ισχύος την πρωτοχρονιά του 2014 και σύγκρισή της με κοντινές αργίες.

#### 2.4.2 Σύγκριση ζήτησης ισχύος και πρόβλεψης ζήτησης ισχύος

Στο Σχήμα 2.25 παρατηρούμε το ιστόγραμμα των διαφορών πρόβλεψης ζήτησης ισχύος μείον την ωριαία ζήτηση ισχύος. Όπως παρατηρούμε και από το Σχήμα 2.26, υπάρχει μια τάση να υπερεκτιμάται η ζήτηση ισχύος, σε διπλάσιο ποσό σε σχέση με την υποεκτίμησή της. Η διαφορές στην εκτίμηση είναι περίπου 200 MW.



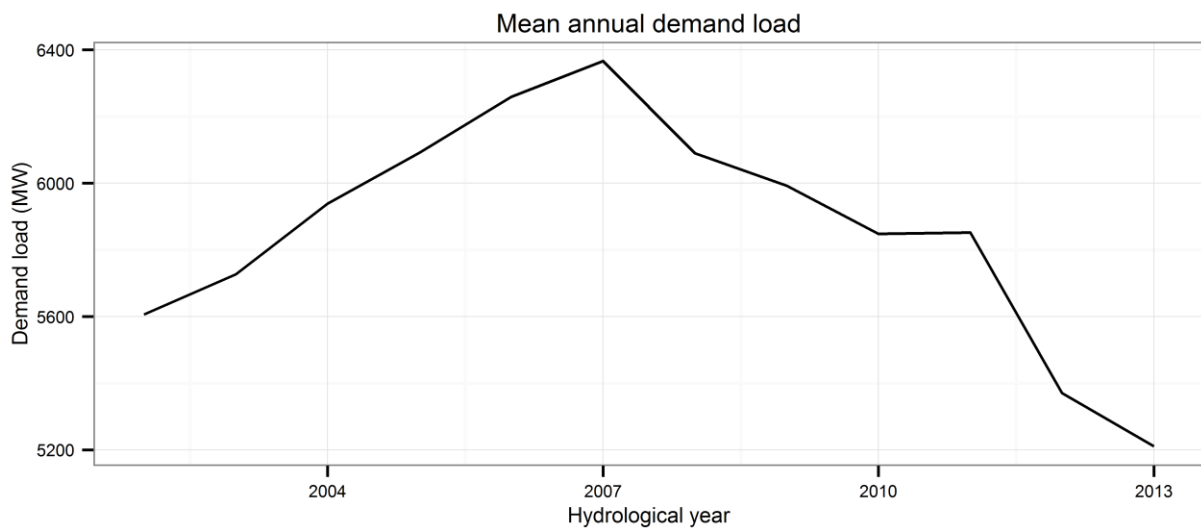
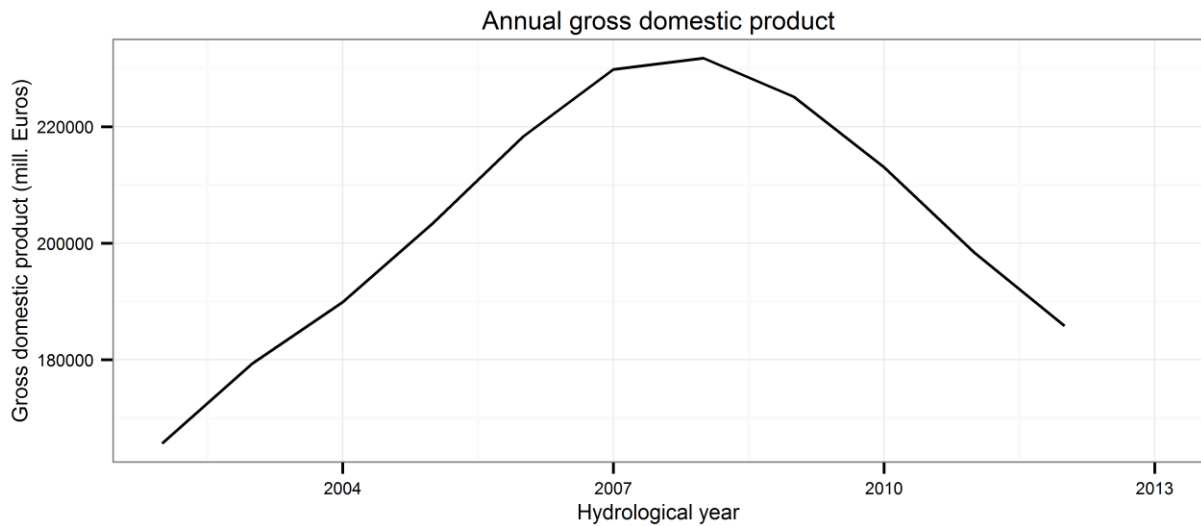
**Σχήμα 2.25.** Ιστόγραμμα των τιμών της πρόβλεψης της ωριαίας ζήτησης ισχύος μείον την ζήτηση ισχύος.



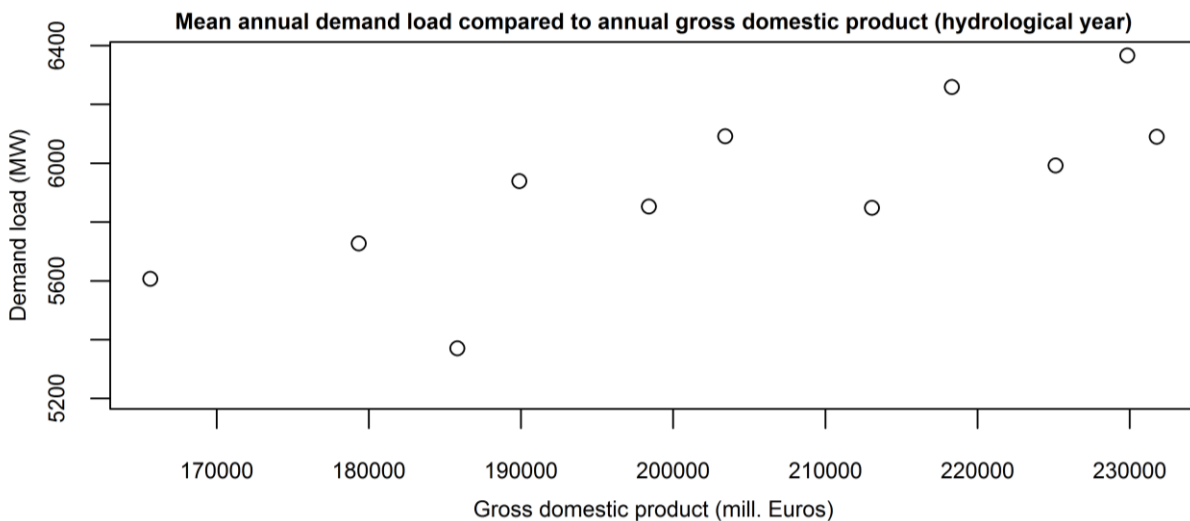
**Σχήμα 2.26.** Διάγραμμα πρόβλεψης ωριαίας ζήτησης ισχύος και ζήτησης ισχύος. Η κόκκινη γραμμή σχηματίζει γωνία  $45^\circ$  με τον οριζόντιο άξονα.

### 2.4.3 Ζήτηση ισχύος και ΑΕΠ

Στο Σχήμα 2.27 και το Σχήμα 2.28 παρουσιάζεται η σχέση ΑΕΠ υδρολογικού έτους και μέσης ετήσιας ζήτησης ισχύος. Η σχέση μεταξύ τους είναι μοιάζει γραμμική, όπως περισσότερο φαίνεται από το Σχήμα 2.28. Παρατηρούμε ότι το υδρολογικό έτος 2008, παρά την αύξηση του ΑΕΠ υδρολογικού έτους, υπάρχει μεγάλη μείωση της μέσης ετήσιας ζήτησης ισχύος, το οποίο κατά την άποψη μας ίσως εξηγείται από το γεγονός ότι το ΑΕΠ δεν είναι από μόνο του αντιπροσωπευτικό της οικονομικής κατάστασης.



**Σχήμα 2.27.** Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (πάνω) και μέση ετήσια ζήτηση ισχύος (κάτω) ανά υδρολογικό έτος.

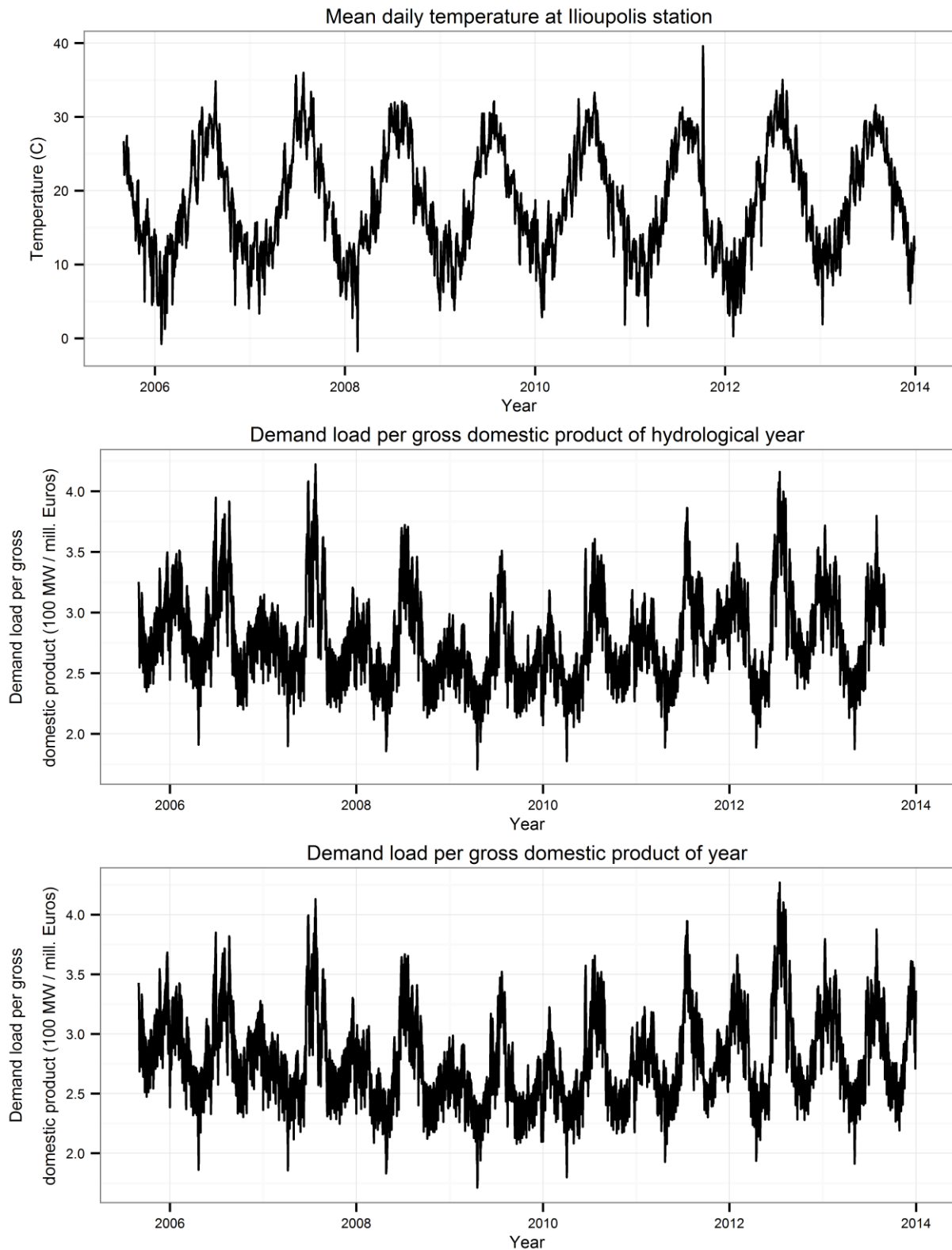


**Σχήμα 2.28.** Διάγραμμα Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος και μέσης ετήσιας ζήτησης ισχύος ανά υδρολογικό έτος.

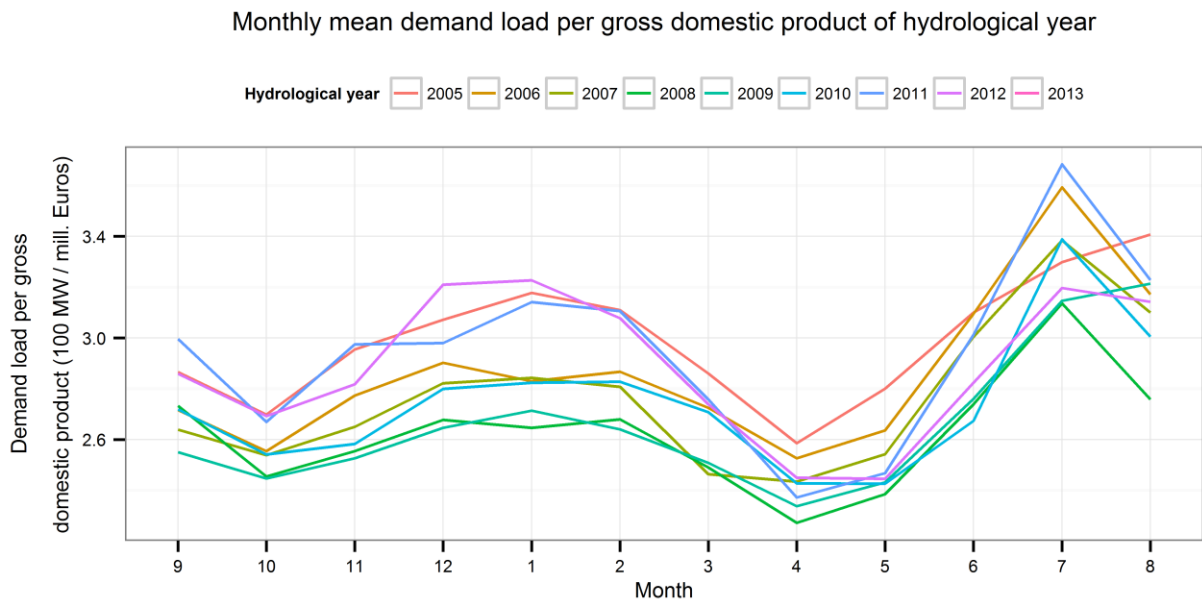
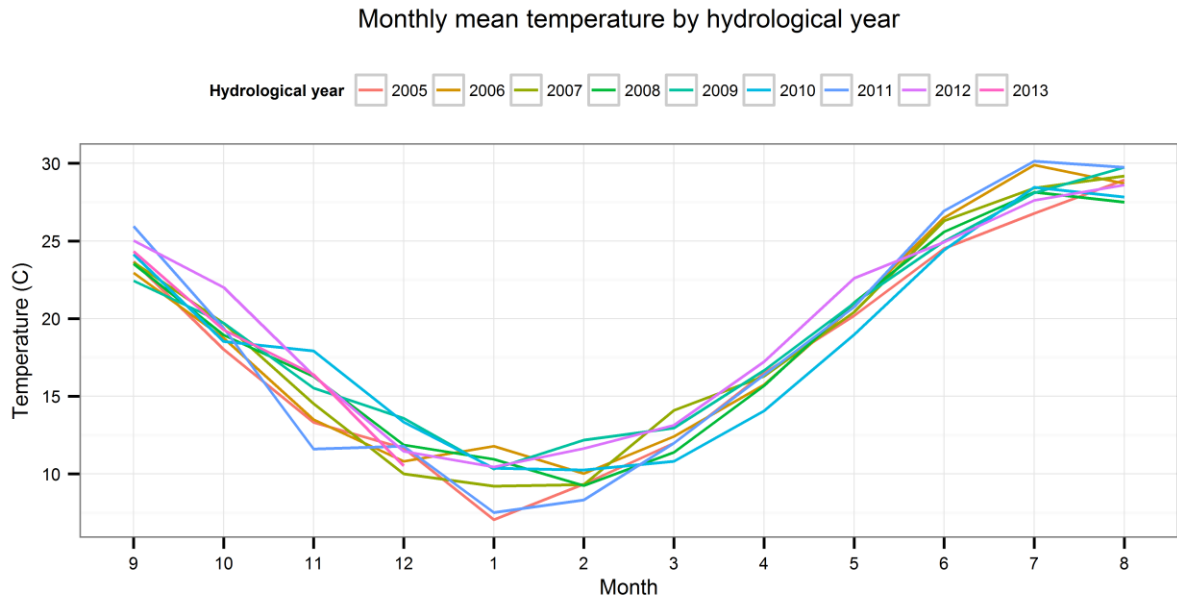


#### 2.4.4 Ζήτηση ισχύος και θερμοκρασία

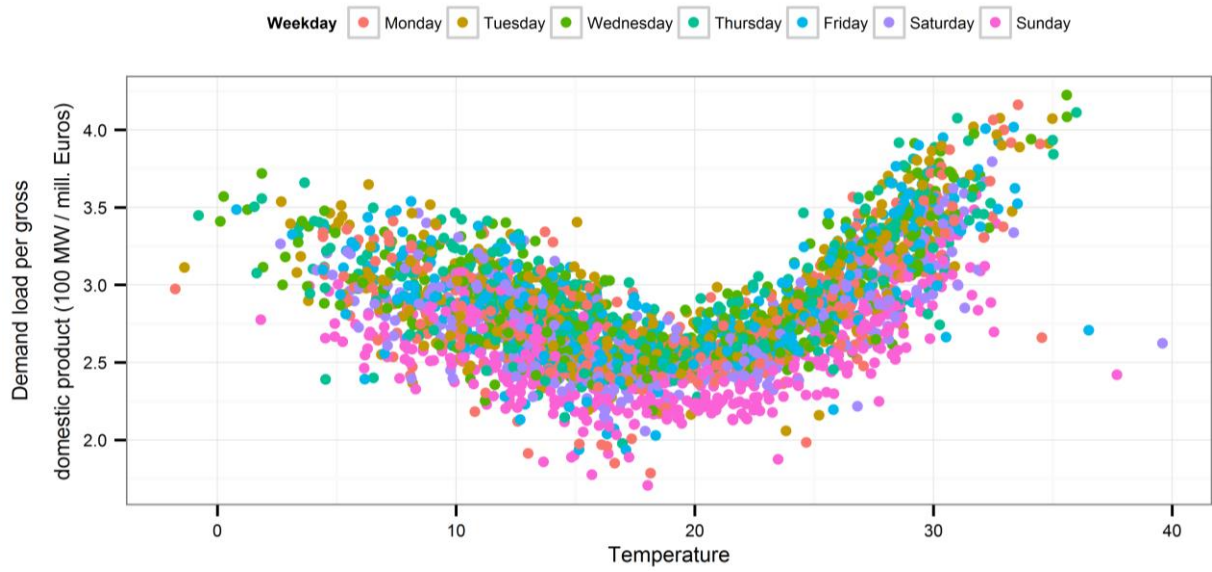
Στο Σχήμα 2.29 παρουσιάζονται η μέση ημερήσια θερμοκρασία του σταθμού της Ηλιούπολης και οι λόγοι των μέσων ημερήσιων ζητήσεων ισχύος δια του ΑΕΠ του αντίστοιχου έτους (υδρολογικού και μη). Παρατηρούμε μια περιοδικότητα 12 μηνών σε όλες τις περιπτώσεις. Στο Σχήμα 2.30 παρατηρούμε ότι τα τοπικά μέγιστα στην ζήτηση ισχύος παρουσιάζονται την χειμερινή περίοδο, που παρατηρούνται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες και την θερινή περίοδο που παρατηρούνται οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το Σχήμα 2.31, όπου παρατηρούμε ένα κυρτό σχήμα στο διάγραμμα θερμοκρασίας και ζήτησης ισχύος. Μάλιστα το Σχήμα 2.31 είναι παρόμοιο με αυτό των Psiloglou et al. (2009) για την Αθήνα, το οποίο αναφέρεται στην χρονική περίοδο 1997-2001, των Mirasgedis et al. (2006) για την Ελλάδα, το οποίο αναφέρεται στην χρονική περίοδο 1993-2002 και με αυτό των Moral-Carcedo and Vicens-Otero (2005) για την Ισπανία με παρόμοιο κλίμα. Ωστόσο διαφέρει από αυτό των Hor et al. (2005) για το Ηνωμένο Βασίλειο.



**Σχήμα 2.29.** Μέση ημερήσια θερμοκρασία στον σταθμό Ηλιούπολης (πάνω), ωριαία ζήτηση ισχύος προς Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν υδρολογικού έτους (μέση) και ωριαία ζήτηση ισχύος προς Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν ημερολογιακού έτους (κάτω).



**Σχήμα 2.30.** Μέση μηνιαία θερμοκρασία ανά υδρολογικό έτος στον σταθμό Ηλιούπολης (πάνω) και μέση μηνιαία ζήτηση ισχύος προς Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν ανά υδρολογικό έτος (κάτω).



**Σχήμα 2.31.** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στον σταθμό Ηλιούπολης και ωριαίας ζήτησης ισχύος προς Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν υδρολογικού έτους.

### 3. Σχήματα της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στον Ελλαδικό χώρο

#### 3.1 Εισαγωγή

Η χωρική ανάλυση της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα είναι ένα θέμα με το οποίο ασχολήθηκαν οι Katsoulakos and Kaliampakos (2014), οι οποίοι περιέγραψαν την σχέση μεταξύ ζήτησης ενέργειας και υψομέτρου και οι Panagiotopoulos and Katsoulakos (2014), οι οποίοι χρησιμοποίησαν γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών για να κατανοήσουν τα χωρικά σχήματα της ζήτησης ενέργειας, κατανάλωσης και κόστους.<sup>2</sup>

Στην διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με την χωρική ανάλυση της ζήτησης ενέργειας υπάρχουν πολλές μελέτες για την περίπτωση της Κίνας. Σε αυτές διερευνάται κυρίως η σχέση της ζήτησης ενέργειας με κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές. Οι Ito et al. (2010) για παράδειγμα εκτίμησαν ένα άνω όριο στην ζήτηση ενέργειας αναλύοντας χωρικά την οικονομική κατάσταση, τις βιομηχανικές υποδομές και ιστορικά δεδομένα ζήτησης ενέργειας. Οι Ma and Oxley (2012) ανέλυσαν την συμπεριφορά των αλλαγών των τιμών της ενεργειακής αγοράς. Οι Sheng et al. (2014) εξέτασαν την σχέση μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης, ζήτησης-παραγωγής ενέργειας και σχετιζόμενων πολιτικών. Οι Wang et al. (2012) διενήργησαν μια εμπειρική ανάλυση της ενεργειακής αποδοτικότητας του βιομηχανικού τομέα για 30 επαρχίες και δήμους. Οι Zhang and Lahr (2014) εμφάνισαν τις χωρικές ανομοιότητες στην κατανάλωση ενέργειας και τις συσχετίζουν με οικονομικές μεταβλητές. Οι Zhang et al. (2013) διερεύνησαν χωρικά το ισοζύγιο παραγωγής-κατανάλωσης ενέργειας για το σύνολο των επαρχιών. Οι Zhang et al. (2009a,b) διερεύνησαν την κατανάλωση ενέργειας στην υπαίθρια Κίνα και οι Zhang et al. (2011) στις μεγάλες αστικές περιοχές. Στον υπόλοιπο κόσμο αναφέρουμε ότι οι Ihara et al. (2008) και οι Taylor et al. (2014) διερεύνησαν θέματα ζήτησης ενέργειας σε αστική κλίμακα, ενώ ο Kaijuka (2007), οι Khan and Ahmad (2008) και οι Lee and Chang (2008) σε κλίμακα κράτους.

Υπάρχουν αρκετές μελέτες σχετικά με το χωρικό αναπτυξιακό μοντέλο της Ελλάδας. Στις μελέτες αυτές εξετάζονται για παράδειγμα διάφορες μεταβλητές όπως το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ) (Benos and Karagiannis 2008), οι επενδύσεις κεφαλαίου (Liargovas and Daskalopoulou 2011), οι δημόσιες επενδύσεις (Psycharis 2008) ή άλλες κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές (Monastiriotis 2009, 2011). Σε άλλες περιπτώσεις διερευνάται η εξειδίκευση της παραγωγής στον χώρο (Christofakis and

---

<sup>2</sup> Βασίζεται στους Tyrallis et al. (2016b,c,d).

Gkouzou 2013), γίνεται απόπειρα περιγραφής του μοντέλου (Christofakis and Papadaskalopoulos 2011) ή ακόμη η Ελλάδα χωρίζεται σε περιοχές ανόμοιες μεταξύ τους στον τύπο ανάπτυξης (Goletsis and Chletsos 2011).

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο διερευνήσαμε χωρικά την ζήτηση ενέργειας στην Ελλάδα. Παρουσιάζουμε σχήματα της ζήτησης ενέργειας για διάφορες χρήσεις και συνδυασμούς μεταβλητών της ζήτησης ενέργειας για διάφορες χρήσεις με μεταβλητές όπως το ΑΕΠ, ο πληθυσμός, η έκταση και η πυκνότητα πληθυσμού για τα έτη 2008-2012. Πραγματοποιήσαμε ανάλυση ακραίων τιμών, συστάδων, ενεργών σημείων και ομαδοποίησης. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα των ανωτέρω επεξεργασιών και αναλύσεων παρουσιάζονται στο κυρίως σώμα της εργασίας, ενώ το σύνολο των 1 125 σχημάτων που παρήχθησαν κατά την εργασία, παρέχονται ως υποστηρικτικό υλικό από τους Tyralis et al. (2016d). Θεωρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι χρήσιμα για να κατανοήσουμε θέματα σχετικά με την χωρική κατανομή της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα και τον αναπτυξιακό προσανατολισμό της χώρας, επιπρόσθετα των εργασιών, στις οποίες άμεσα διερευνώνται κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές.

### *3.2 Δεδομένα και μέθοδοι ανάλυσης*

Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς και την ανάλυση. Τα δεδομένα αφορούν κάθε νομό από τους 51 στους οποίους διαιρέθηκε διοικητικά η Ελλάδα μέχρι το 2012 και οι οποίοι απεικονίζονται στο Σχήμα 3.1, την χρονική περίοδο 2008-2012 και είναι σε ετήσια κλίμακα. Το Σχήμα 3.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια ως αναφορά στις ονομασίες των περιοχών. Ο Πίνακας 3.2 παρουσιάζει τους συνδυασμούς μεταβλητών, τους οποίους εξετάσαμε. Το σύνολο των μεταβλητών που απεικονίστηκαν είναι 45 (Άθροισμα των περιπτώσεων που περιέχουν ο Πίνακας 3.1 και ο Πίνακας 3.2. Οι μεταβλητές αυτές απεικονίστηκαν για πέντε έτη, οπότε το υποστηρικτικό υλικό που αφορά την απλή απεικόνιση περιέχει 225 Σχήματα.

**Πίνακας 3.1.** Εξεταζόμενες μεταβλητές για κάθε νομό της Ελλάδας για την χρονική περίοδο 2008-2012. Τα δεδομένα είναι σε ετήσια κλίμακα. Η στήλη των περιπτώσεων περιλαμβάνει τον αριθμό των μεταβλητών που απεικονίζονται στο υποστηρικτικό υλικό (Πηγή δεδομένων: Hellenic Statistical Authority).

Μεταβλητή	Μονάδα μέτρησης	Περιπτώσεις
Ζήτηση ενέργειας (Αγροτική χρήση, βιομηχανική χρήση, εμπορική χρήση, οικιακή χρήση, δημόσιες υπηρεσίες, φωτισμός οδών, συνολική χρήση)	MWh	7
ΑΕΠ	10 <sup>6</sup> €	1
Επιφάνεια	m <sup>2</sup>	
Πληθυσμός	Κάτοικοι	1



**Σχήμα 3.1.** Νομοί της Ελλάδας.

**Πίνακας 3.2.** Εξεταζόμενοι συνδυασμοί μεταβλητών οι οποίες προκύπτουν μετά από μετασχηματισμό μεταβλητών που περιέχει ο Πίνακας 3.1. Η στήλη των περιπτώσεων περιλαμβάνει τον αριθμό των μεταβλητών που απεικονίζονται στο υποστηρικτικό υλικό.

Μεταβλητή	Μονάδα μέτρησης	Περιπτώσεις
Πυκνότητα πληθυσμού	κάτοικοι / km <sup>2</sup>	1
ΑΕΠ / κάτοικο	€ / κάτοικο	1
Ζήτηση ενέργειας ανά χρήση / Συνολική ζήτηση ενέργειας		6
Ζήτηση ενέργειας ανά χρήση / ΑΕΠ	MWh / 10 <sup>6</sup> €	7
Ζήτηση ενέργειας ανά χρήση / κάτοικο	MWh / κάτοικο	7
Ζήτηση ενέργειας ανά χρήση / επιφάνεια	MWh / km <sup>2</sup>	7
Ζήτηση ενέργειας ανά χρήση / πυκνότητα πληθυσμού	MWh / (κάτοικοι/km <sup>2</sup> )	7

Για την ανάλυση χρησιμοποιήσαμε εργαλεία της Esri (2015), τα οποία παρουσιάζει ο Πίνακας 3.3. Ο Πίνακας 3.3 περιέχει επίσης άρθρα στα οποία αναφέρεται η Esri (2015), σχετικά με το θεωρητικό υπόβαθρο αυτών των εργαλείων. Συνολικά εφαρμόστηκαν και οι τέσσερις μέθοδοι που περιέχει ο Πίνακας 3.3, επί των 45 μεταβλητών που απεικονίστηκαν, για πέντε έτη, και τα αποτελέσματα απεικονίζονται με 900 Σχήματα του υποστηρικτικού υλικού.

**Πίνακας 3.3.** Εργαλεία της Esri (2015) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και παράμετροι. Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν η αντίστροφη απόσταση ως ένδειξη της χωρικής σχέσης και η Ευκλείδεια απόσταση για τον υπολογισμό των αποστάσεων.

Μέθοδος	Παράμετροι	Αναφορά
Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I)	$p$ -value = 0.05	Anselin (2015)
Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*)		Getis and Ord (1992), Ord and Getis (1995)
Grouping Analysis	Delaunay triangulation, έξι ομάδες	Duque et al. (2007), Assunção et al. (2006), Jain (2010)
Central Feature		

Αναφέρουμε περιληπτικά ότι με την μέθοδο Cluster and Outlier Analysis εντοπίζονται ενεργά και μη ενεργά σημεία και χωρικά ακραίες τιμές χρησιμοποιώντας το στατιστικό Anselin Local Moran's. Με την μέθοδο Hot Spot Analysis εντοπίζονται ενεργά και μη ενεργά σημεία χρησιμοποιώντας το στατιστικό Getis-Ord Gi\*. Με την μέθοδο Grouping Analysis δημιουργούνται ομάδες βασισμένες σε παρόμοια χαρακτηριστικά και την εγγύτητά τους. Η μέθοδος Central Feature αναγνωρίζει το κέντρο μιας περιοχής βασισμένη σε κάποιο χαρακτηριστικό της. Στις επόμενες ενότητες θα παρουσιάσουμε αποτελέσματα που αφορούν κυρίως την ζήτηση ενέργειας για αγροτική, εμπορική, οικιακή και βιομηχανική χρήση σε σχέση με μεταβλητές όπως ο πληθυσμός και το ΑΕΠ,



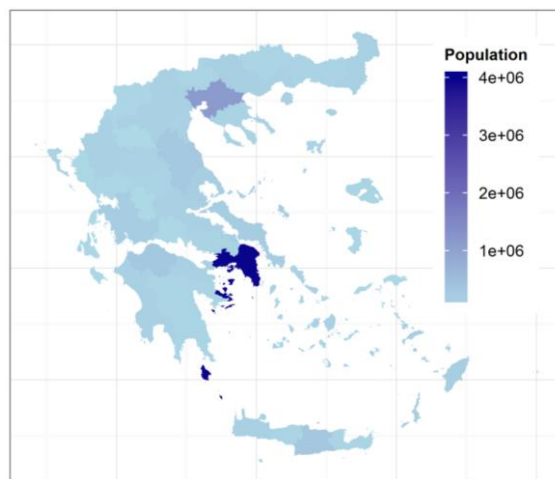
για το έτος 2012. Σχήματα που απεικονίζουν τις υπόλοιπες αναλύσεις για την χρονική περίοδο 2008-2012 παρέχονται ως υποστηρικτικό υλικό.

### 3.3 Απεικόνιση μεταβλητών στον χώρο

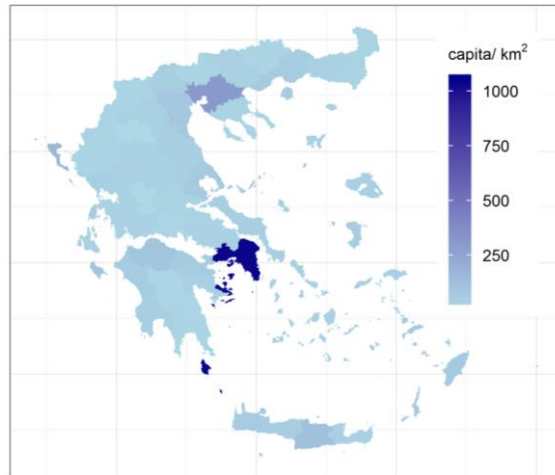
Η ζήτηση ενέργειας είναι ένα μέγεθος το οποίο εξαρτάται από μεταβλητές όπως ο πληθυσμός και το ΑΕΠ. Οι τιμές αυτών των μεταβλητών είναι εξαιρετικά ανομοιόμορφα κατανεμημένες στον Ελληνικό χώρο. Η ζήτηση ενέργειας κατανέμεται σε διάφορες χρήσεις τις οποίες παρουσιάζει ο Πίνακας 3.1. Ακόμη και η κατανομή στον χώρο μεταξύ των διάφορων χρήσεων είναι εξαιρετικά ανομοιόμορφη. Λόγω των ανομοιομορφιών δημιουργούνται διάφορα σχήματα, τα οποία έχουν σχέση με το αναπτυξιακό μοντέλο της χώρας. Στην Ενότητα 3.3 παρουσιάζουμε την κατανομή ορισμένων από τις μεταβλητές στον χώρο.

#### 3.3.1 Πληθυσμιακά και οικονομικά δεδομένα

Ο πληθυσμός της Ελλάδας είναι κυρίως συγκεντρωμένος στους νομούς Αττικής και Θεσσαλονίκης, ενώ οι πληθυσμοί των υπόλοιπων νομών είναι της ίδιας τάξης μεγέθους (Σχήμα 3.2). Το εμβαδό των νομών της Ελλάδας είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, οπότε φυσιολογικά αυτοί οι νομοί Αττικής και Θεσσαλονίκης παρουσιάζουν και την μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού (Σχήμα 3.3).

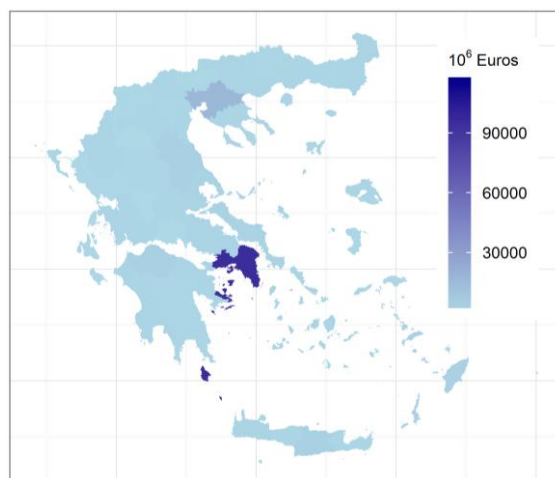


**Σχήμα 3.2.** Πληθυσμός των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.

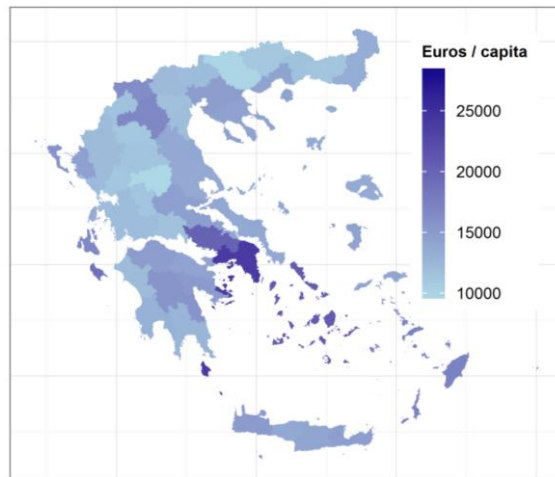


**Σχήμα 3.3.** Πυκνότητα πληθυσμού των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.

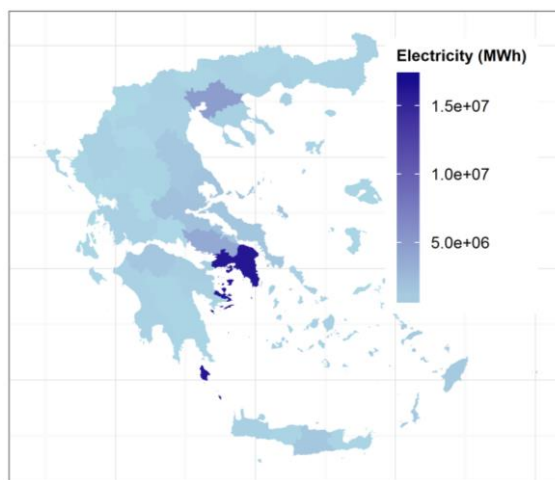
Το ΑΕΠ είναι επίσης συγκεντρωμένο στους νομούς Αττικής και Θεσσαλονίκης (Σχήμα 3.4). Ωστόσο το ΑΕΠ ανά κάτοικο είναι ανομοιόμορφα κατανομημένο, διότι σε αυτό συμμετέχουν επιπλέον περισσότερο και νομοί όπως η Βοιωτία, η Φθιώτιδα, η Λάρισα, η Μαγνησία (η περιοχή αυτών των τεσσάρων νομών θα αναφέρεται ως Κεντρική Ελλάδα από εδώ και πέρα), οι Κυκλάδες, η Κοζάνη και άλλοι (Σχήμα 3.5). Η συνολική ζήτηση ενέργειας είναι μεγαλύτερη επίσης στους νομούς Αττικής και Θεσσαλονίκης, αλλά επίσης και στην Κεντρική Ελλάδα (Σχήμα 3.6).



**Σχήμα 3.4.** ΑΕΠ των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.



**Σχήμα 3.5.** ΑΕΠ ανά κάτοικο των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.



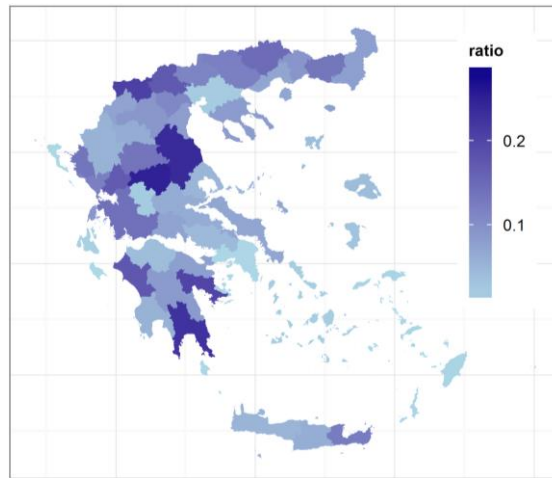
**Σχήμα 3.6.** Συνολική ζήτηση ενέργειας των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.

### 3.3.2 Συνδυασμοί μεταβλητών ζήτησης ενέργειας και οικονομικών – πληθυσμιακών μεταβλητών

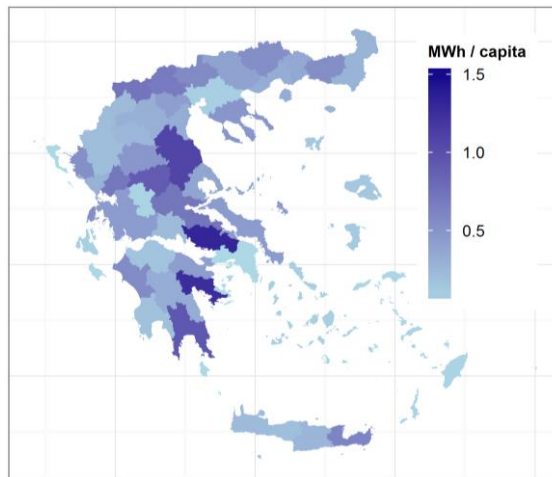
Στην Ενότητα 3.3.2 παρουσιάζουμε την χωρική κατανομή της ζήτησης ενέργειας σε διάφορες χρήσεις και τους λόγους ζήτησης ενέργειας για κάποιες χρήσεις ανά κάτοικο ή προς το ΑΕΠ των νομών. Είναι απαραίτητο να εξετάσουμε αποκλιμακωμένη την μεταβλητή της ζήτησης ενέργειας, λόγω των ακραίων τιμών ζήτησης ενέργειας που παρατηρούμε στους νομούς της Αττικής και Θεσσαλονίκης. Αυτές οι ακραίες τιμές κρύβουν χαρακτηριστικά της ζήτησης ενέργειας των υπόλοιπων νομών.

Ο λόγος της ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας (Σχήμα 3.7) μπορεί να χαρακτηρίσει μια περιοχή ως αγροτική. Τέτοιες περιοχές βρίσκονται παντού στην Ελλάδα. Σε αυτές τις περιοχές δεν συμπεριλαμβάνονται πάντως οι νομοί Αττικής και Θεσσαλονίκης και οι νησιωτικές περιοχές. Στο Σχήμα 3.8 παρουσιάζεται η ζήτηση ενέργειας για αγροτική χρήση ανά κάτοικο. Εδώ εμφανίζεται επιπλέον σε σχέση με το Σχήμα 3.7 ο νομός Βοιωτίας με μεγάλη τιμή. Ο λόγος είναι ότι

στο Σχήμα 3.7, υπάρχει περίπτωση σε κάποιον νομό η συνολική ζήτηση ενέργειας ανά κάτοικο να είναι αρκετά μεγάλη, λόγω της σημαντικότητας και άλλων χρήσεων.

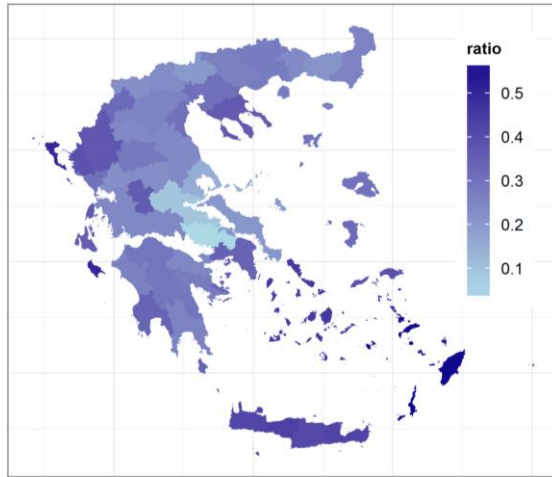


**Σχήμα 3.7.** Λόγος ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.



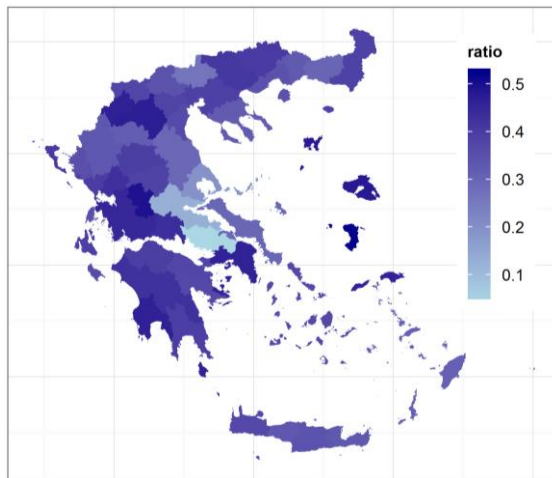
**Σχήμα 3.8.** Ζήτηση ενέργειας για αγροτική χρήση ανά κάτοικο των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.

Στο Σχήμα 3.9 παρουσιάζεται ο λόγος ζήτησης ενέργειας για εμπορική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας. Περιοχές με υψηλή εμπορική δραστηριότητα φαίνεται να είναι οι νησιωτικές και γενικότερα οι παραθαλάσσιες, όπως ο νομός Χαλκιδικής. Αυτές οι περιοχές είναι κυρίως τουριστικές.

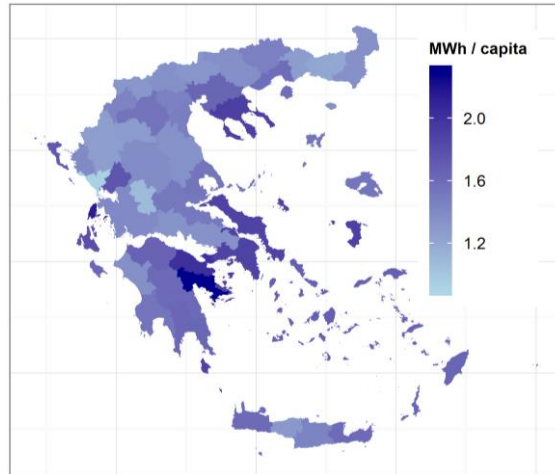


**Σχήμα 3.9.** Λόγος ζήτησης ενέργειας για εμπορική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.

Η κατανομή των περιοχών με μεγάλη χρήση ενέργειας για οικιστική χρήση, φαίνεται και πάλι να είναι αρκετά ανομοιόμορφη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10. Ωστόσο διερευνώντας την ζήτηση ενέργειας για οικιακή χρήση ανά κάτοικο παρατηρούμε στο Σχήμα 3.11, ότι οι περιοχές της Αργολίδας, της Εύβοιας, της Αττικής και της Χαλκιδικής χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές.

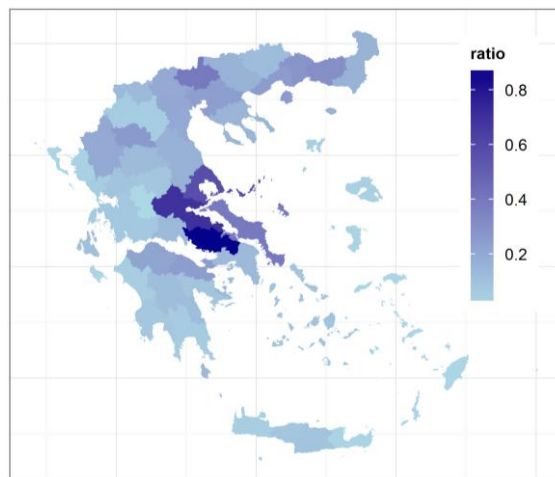


**Σχήμα 3.10.** Λόγος ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.



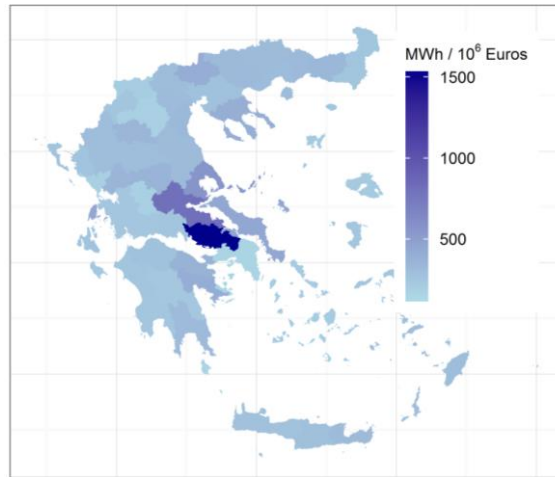
**Σχήμα 3.11.** Ζήτηση ενέργειας για οικιακή χρήση ανά κάτοικο των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.

Περιοχές οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν κυρίως ως βιομηχανικές είναι οι νομοί Βοιωτίας, Φθιώτιδας, Μαγνησίας και Εύβοιας (Σχήμα 3.12). Οι περιοχές αυτές μάλιστα συνορεύουν μεταξύ τους.



**Σχήμα 3.12.** Λόγος ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.

Στο Σχήμα 3.13 παρουσιάζουμε τον λόγο της συνολικής ζήτησης ενέργειας προς το ΑΕΠ, ο οποίος ορίζεται ως ενεργειακή ένταση από τους Zhang and Lahr (2014). Ο λόγος αυτός είναι ένας επίσημος δείκτης της τοπικής οικονομικής απόδοσης και των πολιτικών σωστής χρήσης της ενέργειας στην Κίνα. Παρατηρούμε μεγάλες τιμές του δείκτη κυρίως σε περιοχές, τις οποίες χαρακτηρίσαμε ως βιομηχανικές στο Σχήμα 3.12.

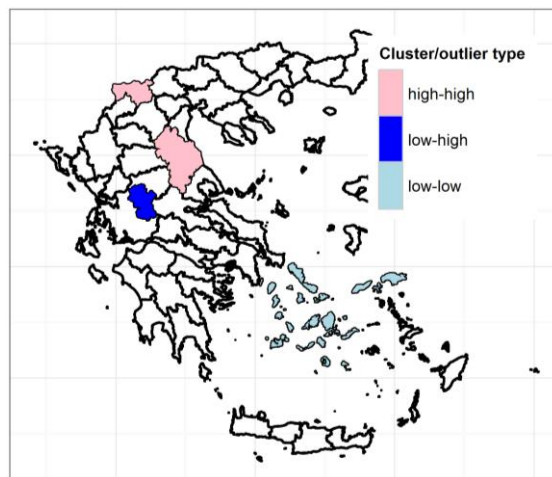


**Σχήμα 3.13.** Συνολική ζήτηση ενέργειας ανά ΑΕΠ των νομών της Ελλάδας για το έτος 2012.

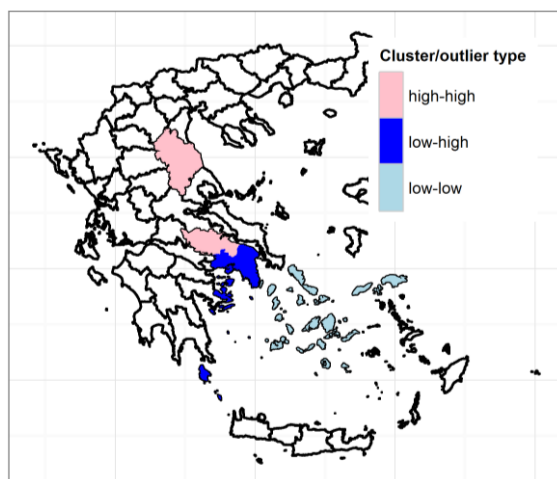
### 3.4 Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I)

Με την οπτική παρουσίαση των δεδομένων μπορούμε να διαπιστώσουμε αρκετά, ώστε να επιλέξουμε στατιστικές μεθόδους, οι οποίες μπορούν να μας προσφέρουν περισσότερο εξειδικευμένα συμπεράσματα. Στην Ενότητα 3.4 αναζητούμε, με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I, συστάδες περιοχών και περιοχές με ακρότατες τιμές σε σχέση με γειτονικές τους περιοχές.

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 3.14 ομάδες περιοχών οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν αγροτικές είναι ο νομός Φλώρινας με τον νομό Λάρισας, ενώ μη αγροτικοί ο νομός Κυκλάδων με τον νομό Σάμου. Ωστόσο στο Σχήμα 3.15 χαρακτηρίζονται ως αγροτικές περιοχές ο νομός Λάρισας με τον νομό Βοιωτίας.

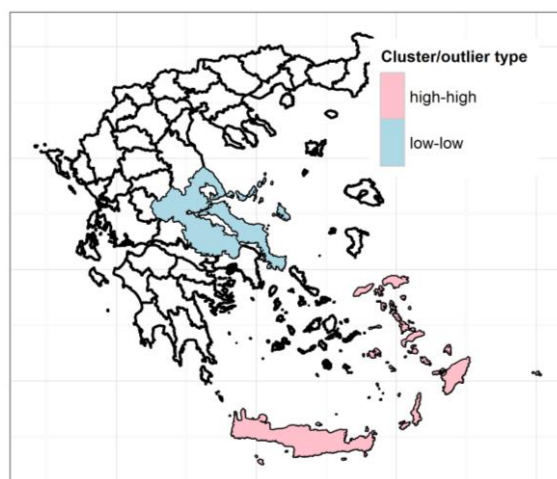


**Σχήμα 3.14.** Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών του λόγου ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Συστάδες υψηλών τιμών συμβολίζονται ως high-high, χαμηλών τιμών ως low-low, ακραίες υψηλές τιμές οι οποίες περιστοιχίζονται από χαμηλές τιμές ως high-low και ακραίες χαμηλές τιμές οι οποίες περιστοιχίζονται από υψηλές τιμές ως low-high.



**Σχήμα 3.15.** Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών της ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.

Στην ομάδα περιοχών των νομών Βοιωτίας, Φθιώτιδας, Εύβοιας και Μαγνησίας παρατηρούμε χαμηλές τιμές εμπορικής χρήσης ενέργειας, όπως προκύπτει από το Σχήμα 3.16. Μια ομάδα περιοχών που περιλαμβάνει κυρίως νησιά χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές εμπορικής χρήσης ενέργειας. Οι περιοχές αυτές είναι κυρίως τουριστικές.

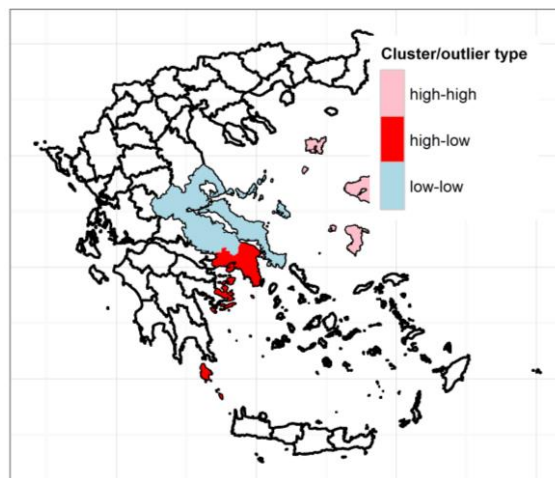


**Σχήμα 3.16.** Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών του λόγου ζήτησης ενέργειας για εμπορική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.

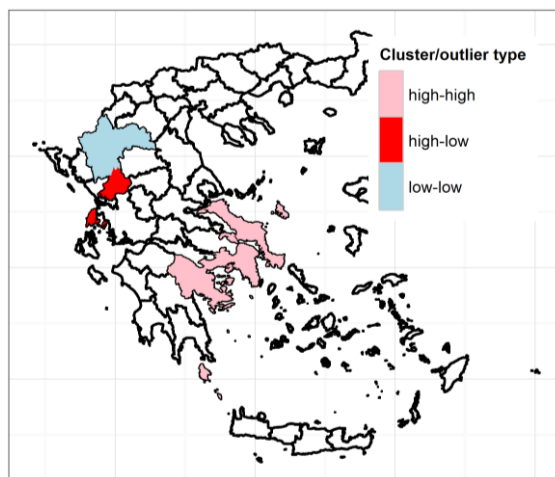
Στο Σχήμα 3.17 παρατηρούμε ότι περιοχές της Κεντρικής Ελλάδας κυρίως χαρακτηρίζονται από χαμηλή οικιακή χρήση ενέργειας, ενώ ο νομός Αττικής και νησιωτικές περιοχές από μεγάλη οικιακή χρήση ενέργειας. Ωστόσο το σχήμα αυτό αλλάζει τελείως στο Σχήμα 3.18, όπου παρατηρούμε μια περιοχή, η οποία περιλαμβάνει τον νομό Αττικής, με μεγάλες τιμές στην οικιακή χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, και μια περιοχή στην Δυτική Ελλάδα, η οποία περιλαμβάνει τους νομούς Ιωαννίνων και Γρεβενών, με μικρές τιμές. Αυτή η περιοχή συνορεύει πάλι με τους νομούς Άρτας και



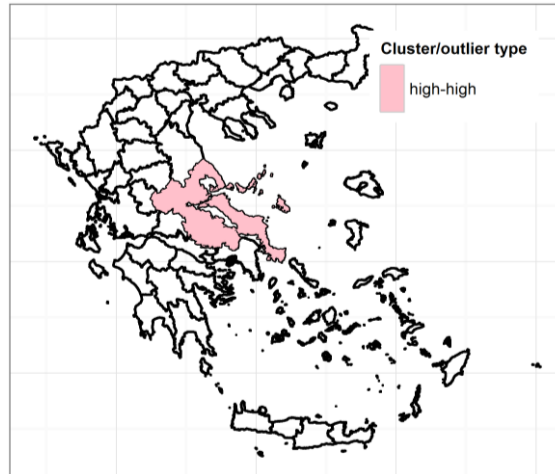
Λευκάδας στις οποίες παρατηρούμε σχετικά μεγαλύτερες τιμές. Τα διαφορετικά αποτελέσματα που παρουσιάζουν το Σχήμα 3.17 και το Σχήμα 3.18 πιθανόν οφείλονται στην μεγάλη τιμή της βιομηχανικής χρήσης ενέργειας στην Κεντρική Ελλάδα. Αυτή η περιοχή φαίνεται στο Σχήμα 3.19. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν με την χρήση του λόγου ζήτησης ενέργειας για κάποια χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας μπορεί να είναι παραπλανητικά για την περίπτωση της Κεντρικής Ελλάδας λόγω της μεγάλης τιμής της βιομηχανικής χρήσης ενέργειας. Στην συνέχεια παρουσιάζονται και οι δύο λόγοι (ανά συνολική ζήτηση ενέργειας και ανά κάτοικο), αλλά θεωρούμε χρησιμότερο τον λόγο χρήσης ενέργειας ανά κάτοικο.



**Σχήμα 3.17.** Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών του λόγου ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.

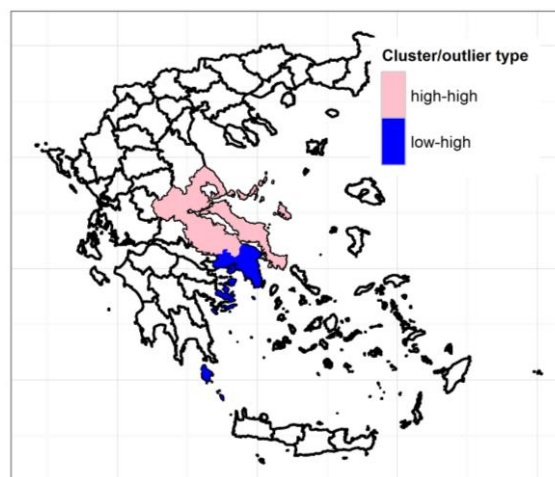


**Σχήμα 3.18.** Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών της ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.



**Σχήμα 3.19.** Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών του λόγου ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.

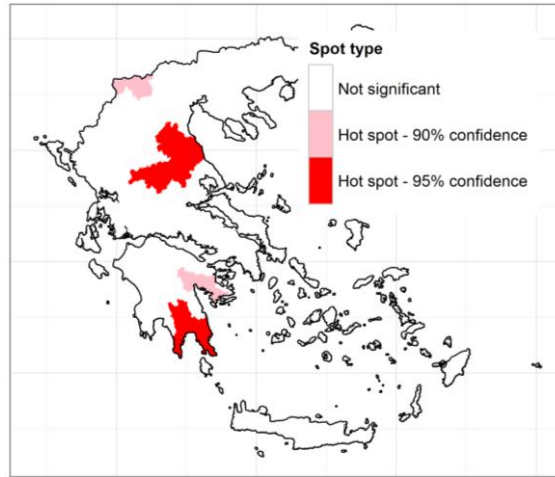
Τέλος παρατηρούμε ότι περιοχή με μεγάλη ενεργειακή ένταση είναι η Κεντρική Ελλάδα, η οποία συνορεύει με τον νομό Αττικής, ο οποίος είναι μικρής ενεργειακής έντασης (Σχήμα 3.20).



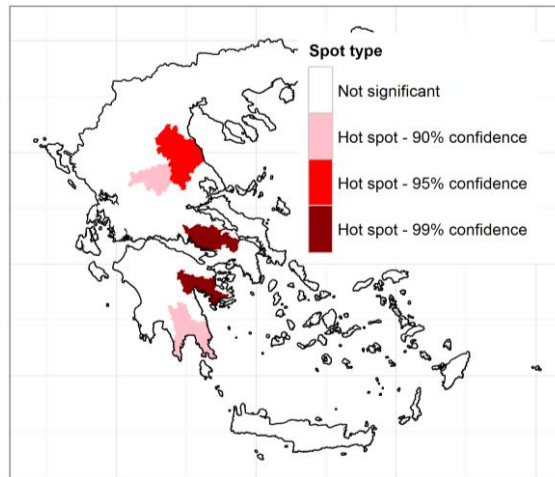
**Σχήμα 3.20.** Συστάδες και περιοχές ακροτάτων τιμών της συνολικής ζήτησης ενέργειας ανά ΑΕΠ της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Local Moran's I. Το υπόμνημα εξηγείται στο Σχήμα 3.14.

### 3.5 Hot Spot Analysis (Getis-Ord $G_i^*$ )

Στην Ενότητα 3.5 διερευνούμε την ύπαρξη ενεργών και μη ενεργών περιοχών για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν στην Ενότητα 3.4, με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord  $G_i^*$ . Όπως προκύπτει από το Σχήμα 3.21 και το Σχήμα 3.22, περιοχές, τις οποίες μπορούμε να χαρακτηρίσουμε αγροτικές είναι οι νομοί Λακωνίας, Αργολίδας, Βοιωτίας, Καρδίτσας και Λάρισας.

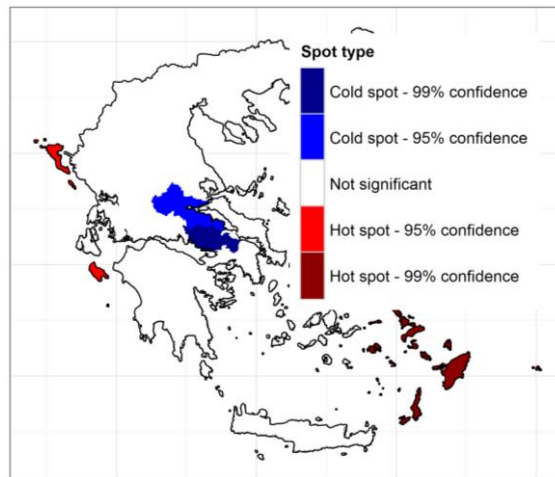


**Σχήμα 3.21.** Ενεργές και μη ενεργές περιοχές του λόγου ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord  $G_i^*$ .



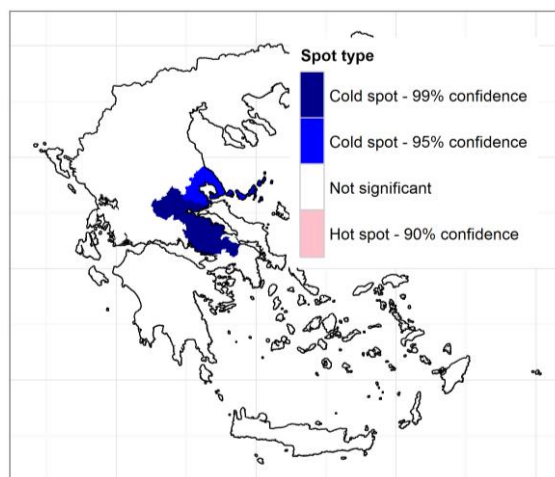
**Σχήμα 3.22.** Ενεργές και μη ενεργές περιοχές της ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord  $G_i^*$ .

Περιοχές οι οποίες θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν εμπορικές είναι κυρίως νησιωτικές (Σχήμα 3.23), όπως οι νομοί Δωδεκανήσου, Λευκάδας και Κέρκυρας. Αντίθετα και πάλι φαίνεται η έμφαση σε άλλου είδους ανάπτυξη για τους νομούς Βοιωτίας και Φθιώτιδας.

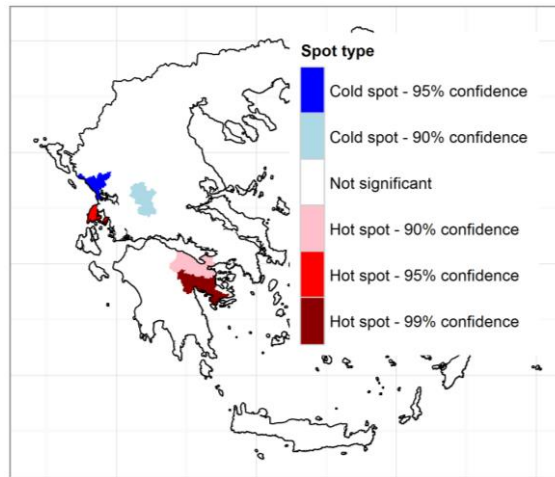


**Σχήμα 3.23.** Ενεργές και μη ενεργές περιοχές του λόγου ζήτησης ενέργειας για εμπορική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord  $G_i^*$ .

Οι νομοί Αργολίδας, Κορινθίας και Λευκάδας χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές οικιακής χρήσης ενέργειας σε αντίθεση τον νομό Ευρυτανίας και τον νομό Πρέβεζας (Σχήμα 3.24 και Σχήμα 3.25).

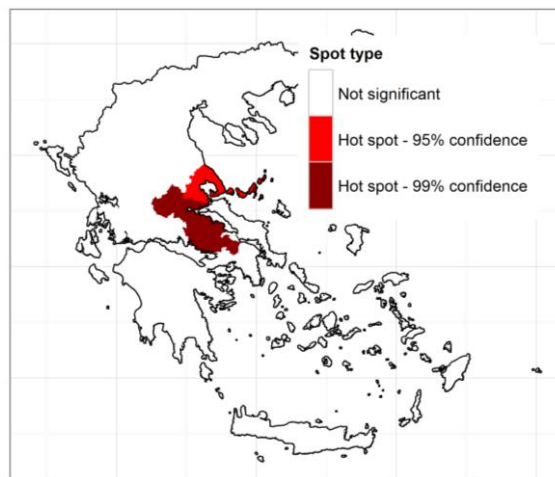


**Σχήμα 3.24.** Ενεργές και μη ενεργές περιοχές του λόγου ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord  $G_i^*$ .

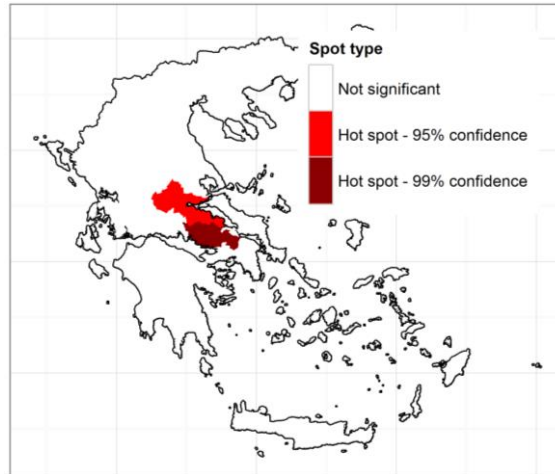


**Σχήμα 3.25.** Ενεργές και μη ενεργές περιοχές της ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord  $G_i^*$ .

Τέλος επιβεβαιώνεται και πάλι ότι η Κεντρική Ελλάδα μπορεί να χαρακτηριστεί ως βιομηχανική περιοχή, και συγχρόνως ως περιοχή μεγάλης ενεργειακής έντασης (Σχήμα 3.26 και Σχήμα 3.27).



**Σχήμα 3.26.** Ενεργές και μη ενεργές περιοχές του λόγου ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord  $G_i^*$ .

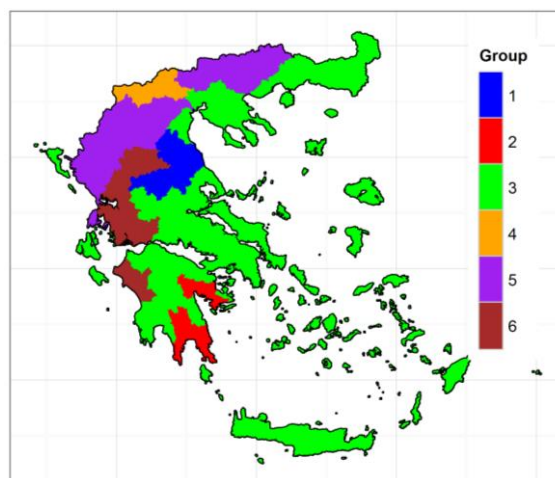


**Σχήμα 3.27.** Ενεργές και μη ενεργές περιοχές της συνολική ζήτηση ενέργειας ανά ΑΕΠ της Ελλάδας για το έτος 2012 με την χρήση του στατιστικού Getis-Ord  $G_i^*$ .

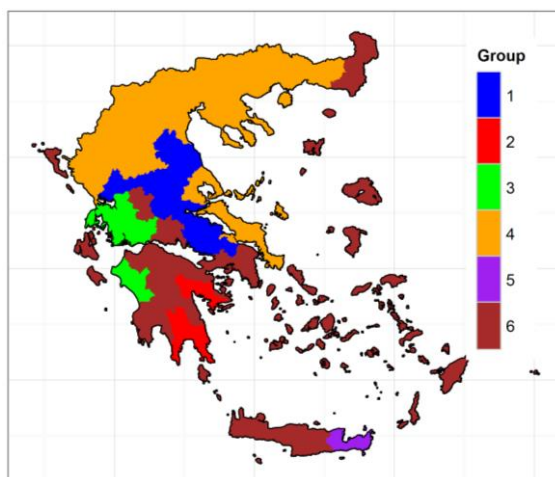
### 3.6 Grouping Analysis

Στην Ενότητα 3.6 κατηγοριοποιούμε την Ελλάδα σε περιοχές, οι οποίες αποτελούνται από νομούς, με κριτήρια την εγγύτητα των νομών και μια ακόμη μεταβλητή, από όσες εξετάσαμε στην Ενότητα 3.4. Στον χαρακτηρισμό των ομάδων που προκύπτουν βοηθούν και τα συμπεράσματα των προηγούμενων Ενότητων.

Ως προς την ομαδοποίηση της Ελλάδας σε σχέση με την αγροτική ανάπτυξη παραθέτουμε το Σχήμα 3.28 και το Σχήμα 3.29. Για τους λόγους που αναφέρθηκαν στην 3.4<sup>η</sup> Ενότητα θα εξετάσουμε μόνο το Σχήμα 3.29. Οι περιοχές με μπλε και κόκκινο χρώμα είναι αυτές που χαρακτηρίστηκαν ως αγροτικές στις προηγούμενες ενότητες. Η υπόλοιπη Ελλάδα χωρίζεται κυρίως σε δύο περιοχές, την κυρίως ηπειρωτική με πορτοκαλί και την νησιωτική με καφέ.

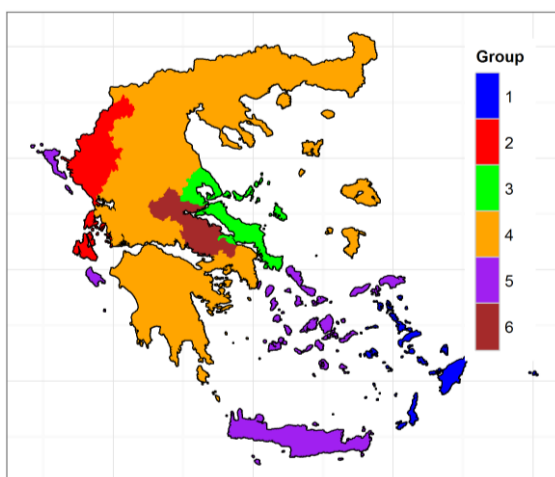


**Σχήμα 3.28.** Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει του λόγου ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012.



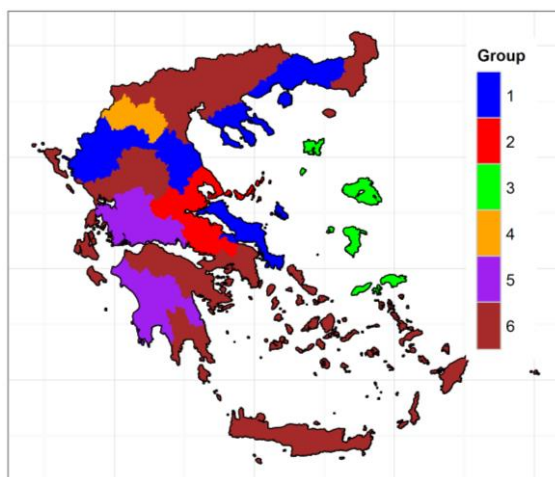
**Σχήμα 3.29.** Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει της ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012.

Στο Σχήμα 3.30 η Ελλάδα ομαδοποιείται προσεγγιστικά σε δύο μεγάλες περιοχές, ως προς την κατάταξη των περιοχών της ως εμπορικές. Η ηπειρωτική Ελλάδα με κυρίως πορτοκαλί χρώμα με μικρή εμπορική δραστηριότητα, ενώ η νησιωτική Ελλάδα με μπλε και με μωβ χρώμα με μεγαλύτερη εμπορική δραστηριότητα.

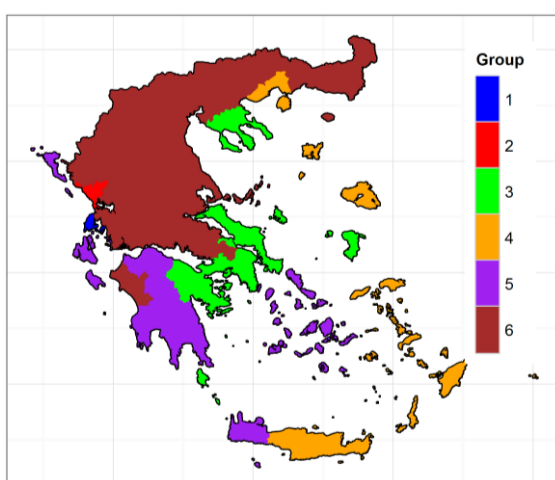


**Σχήμα 3.30.** Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει του λόγου ζήτησης ενέργειας για εμπορική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012

Το Σχήμα 3.31 και το Σχήμα 3.32 παρουσιάζουν την ομαδοποίηση των νομών της Ελλάδας σε σχέση με την οικιακή χρήση της ενέργειας. Εξετάζοντας προσεκτικότερα το Σχήμα 3.32 παρατηρούμε ότι υπάρχει μια περιοχή της ηπειρωτικής Ελλάδας με κόκκινο χρώμα και σχετικά ομοιογενή χαρακτηριστικά. Οι πράσινες περιοχές περιφερειακά του νομού Αττικής μπορούν να χαρακτηριστούν ως περιοχές με υψηλή οικιακή κατανάλωση, ενώ η υπόλοιπη νησιωτική κυρίως Ελλάδα χωρίζεται στα δύο (μωβ και πορτοκαλί).



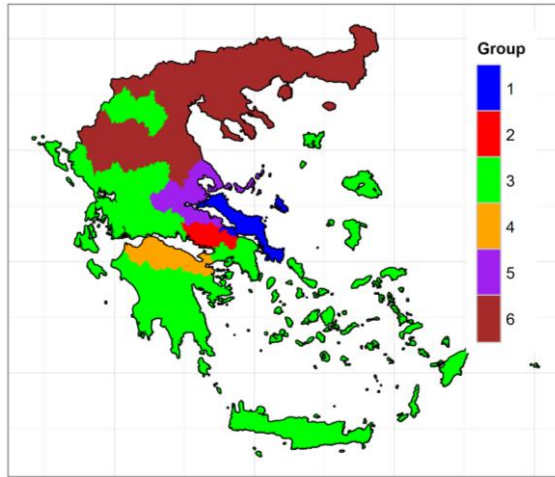
**Σχήμα 3.31.** Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει του λόγου ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012.



**Σχήμα 3.32.** Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει της ζήτησης ενέργειας για οικιακή χρήση ανά κάτοικο της Ελλάδας για το έτος 2012.

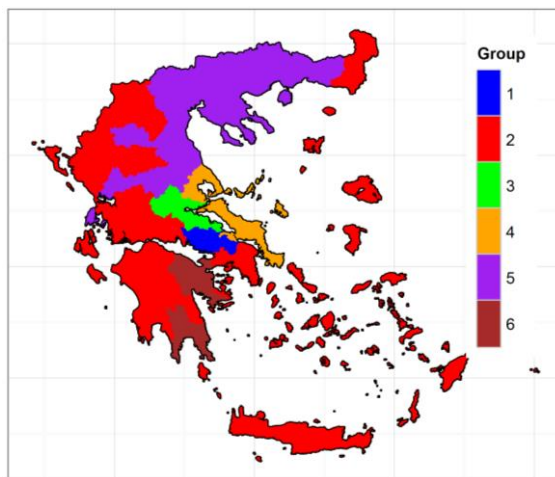
Ως προς τον χαρακτηρισμό περιοχών ως βιομηχανικές, παρατηρούμε στο Σχήμα 3.33 ότι η Ελλάδα χωρίζεται προσεγγιστικά σε τρεις περιοχές. Η πλέον βιομηχανική περιοχή είναι στο κέντρο της και απεικονίζεται με κόκκινο, μωβ και μπλε. Η υπόλοιπη Ελλάδα πρακτικά χωρίζεται σε Νότια με πράσινο και Βόρεια με καφέ.





**Σχήμα 3.33.** Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει του λόγου ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2012.

Τέλος παρατηρούμε στο Σχήμα 3.34 ότι η Ελλάδα χωρίζεται σε τρεις περιοχές και πάλι, την βιομηχανική με μπλε, πράσινο και πορτοκαλί χρώμα, την νησιωτική, στην οποία περιλαμβάνονται και ηπειρωτικές περιοχές, με κόκκινο χρώμα και τμήμα της Βόρειας Ελλάδας με μωβ χρώμα.



**Σχήμα 3.34.** Ομαδοποίηση περιοχών της Ελλάδας βάσει της συνολικής ζήτησης ενέργειας ανά ΑΕΠ της Ελλάδας για το έτος 2012.



## 4. Προσομοίωση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Θεσσαλία και την Ελλάδα

### 4.1 Εισαγωγή

Η πρόβλεψη της ενέργειας μπορεί να ταξινομηθεί σε πολλές ξεχωριστές κατηγορίες, όπως πρόβλεψη σε κοντινό χρονικό ορίζοντα, σε μακρινό χρονικό ορίζοντα, στον χώρο, πρόβλεψη της τιμής, πρόβλεψη ζήτησης-ανταπόκρισης και πρόβλεψη ανανεώσιμης ενέργειας (Hong 2014). Αναφέρουμε εδώ τους Ramanathan et al. (1997), Taylor et al. (2006), Fan and Hyndman (2012) που έχουν ασχοληθεί με την πρόβλεψη ζήτησης ενέργειας σε κοντινό χρονικό ορίζοντα, τους Hyndman and Fan (2010) σε μακρινό χρονικό ορίζοντα, τον Weron (2014) που έχει ασχοληθεί με πρόβλεψη της τιμής της ενέργειας, τους Bacher et al. (2009), Lorenz et al. (2011), Pinson (2013), Zhang et al. (2014) που έχουν ασχοληθεί με την πρόβλεψη ανανεώσιμης ενέργειας.

Οι Hahn et al. (2009) και οι Suganthi and Samuel (2012) παρουσιάζουν τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση των προβλέψεων. Συχνά τα διάφορα μοντέλα συγκρίνονται μεταξύ τους, για παράδειγμα βλέπε τους Tso and Yau (2007), ή πραγματοποιούνται διαγωνισμοί πρόβλεψης, όπου διαγωνίζονται διάφορα μοντέλα, για παράδειγμα βλέπε τους Hong et al. (2014) και παρουσιάζονται καινούριες μέθοδοι, όπως για παράδειγμα των Chen et al. (2004) και των Taieb and Hyndman (2014).

Για την πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας οι Hyndman and Fan (2010), Fan and Hyndman (2012) και Hyndman and Fan (2015) έχουν αναπτύξει ένα μοντέλο, στο οποίο η πρόβλεψη εξαρτάται από τα ιστορικά δεδομένα ζήτησης ενέργειας, πληροφορίες του καιρού (βλέπε για παράδειγμα και τους Taylor and Buizza, 2003, ή τους Gneiting and Katzfuss, 2014) και ετήσια οικονομικά και δημογραφικά δεδομένα και μελλοντικά σενάρια. Για την μοντελοποίηση όλων των δεδομένων χρησιμοποιούνται πολλές και διαφορετικές μέθοδοι στατιστικής όπως μετασχηματισμοί μεταβλητών (Box and Cox 1964), μέθοδοι bootstrap για χρονοσειρές (Politis 2013), boosting (Bühlmann and Hothorn 2007) κλπ.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο προσομοιώνουμε την συνολική ενεργειακή ζήτηση στην Ελλάδα και την Θεσσαλία και την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία. Η προσομοίωση πραγματοποιείται στην ημερήσια κλίμακα. Για την προσομοίωση λαμβάνουμε υπόψη την ανάλυση του 2<sup>ου</sup> Κεφαλαίου, σχετικά με τα οικονομικά και κλιματικά δεδομένα και τις περιοδικότητες των χρονοσειρών και χρησιμοποιούμε τις

χρονοσειρές που προκύπτουν μετά την αφαίρεση των περιοδικοτήτων. Στην συνέχεια οι χρονοσειρές προσομοιώνονται χρησιμοποιώντας μεθόδους bootstrap, όπου χρησιμοποιούμε τμήματα τυχαίου μήκους παραγόμενα από μια γεωμετρική κατανομή. Στις συνθετικές χρονοσειρές προσθέτουμε τις περιοδικότητες που έχουν αφαιρεθεί. Τέλος αποσυνθέτουμε τις συνθετικές χρονοσειρές οι οποίες είναι σε ημερήσια κλίμακα, σε ωριαία κλίμακα.

## 4.2 Δεδομένα

### 4.2.1 Δεδομένα

Χρησιμοποιούνται δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος του IPTO (2015) της χρονικής περιόδου 2003-2012 για την Ελλάδα και κατανομή της ζήτησης σε διάφορες χρήσεις σε ετήσια κλίμακα, για την Ελλάδα και την Θεσσαλία από την Hellenic Statistical Authority.

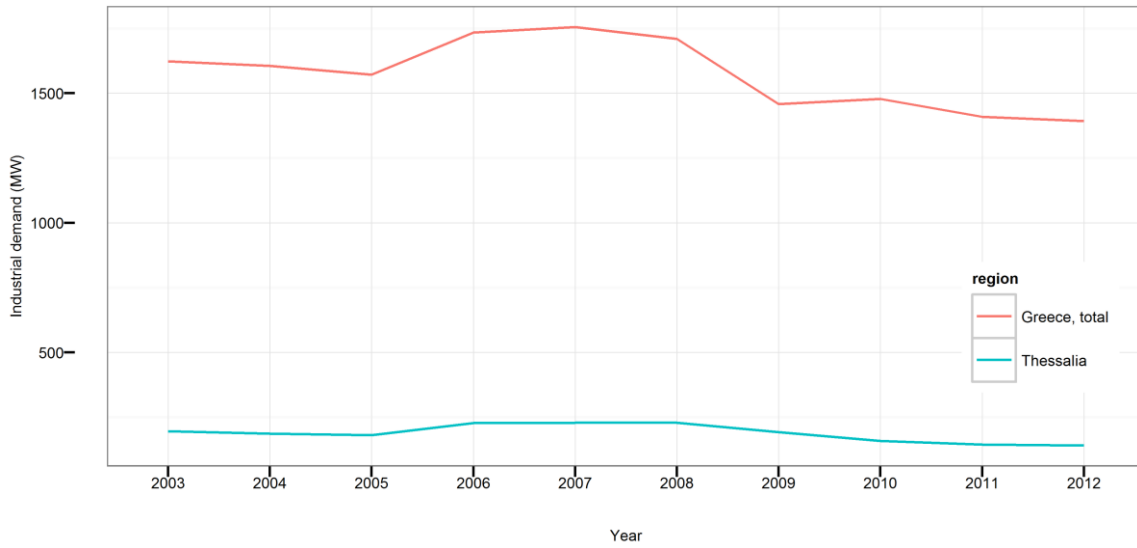
### 4.2.2 Παρουσίαση δεδομένων της Hellenic Statistical Authority

Τα δεδομένα ωριαίας ζήτησης ενέργειας μετασχηματίζονται σε ημερήσια ζήτηση ενέργειας. Από την ημερήσια συνολική ζήτηση ενέργειας για την Ελλάδα πρέπει να εξάγουμε την ημερήσια συνολική ζήτηση ενέργειας για την Θεσσαλία. Στην συνέχεια από τις δύο προηγούμενες ζητήσεις πρέπει να αφαιρεθεί η ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση. Ωστόσο η συνολική ζήτηση ενέργειας είναι σε ημερήσια κλίμακα, ενώ οι δείκτες που θα χρησιμοποιήσουμε για την αναγωγή σε ετήσια.

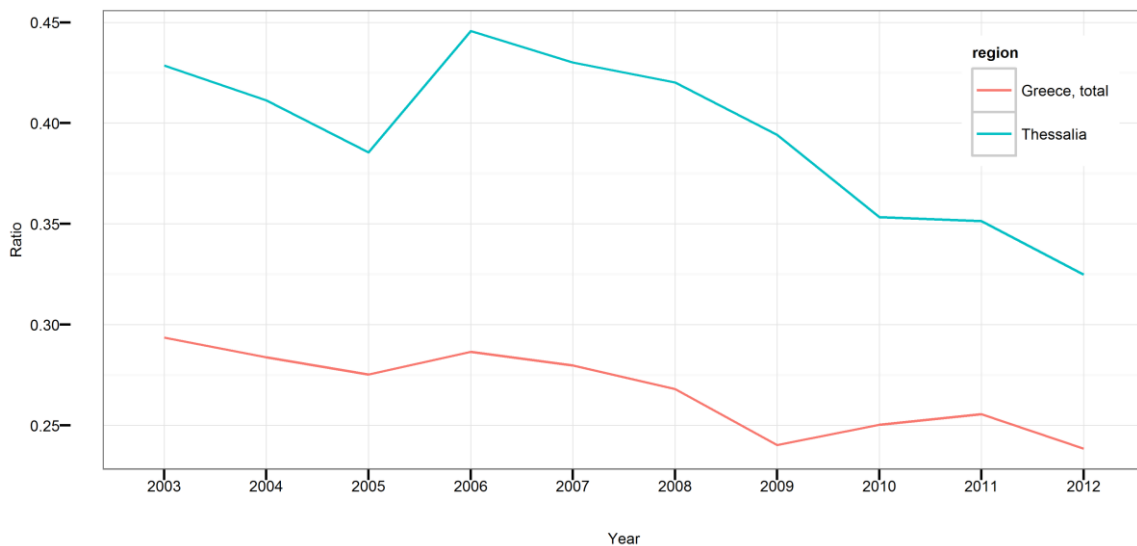
Ενδιαφέρον, εκτός των δεικτών που έχουν σχέση με την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση και την κατανομή ενέργειας στην Θεσσαλία σε σχέση με το σύνολο της Ελλάδας, παρουσιάζει και η ενέργεια για βιομηχανική χρήση, η οποία συνήθως αφαιρείται από την συνολική ζήτηση για ενέργεια κατά την πρόβλεψη ζήτησης ενέργειας. Στην περίπτωσή μας, λόγω των δεδομένων τα οποία είναι σε ετήσια κλίμακα, θεωρήσαμε ότι τα αποτελέσματα θα ήταν καλύτερα, εάν δεν αφαιρούσαμε την ζήτηση ενέργειας για βιομηχανική χρήση.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τους δείκτες που χρησιμοποιούμε. Το Σχήμα 4.1 και το Σχήμα 4.2 παρουσιάζουν δείκτες για την ζήτηση ενέργειας για βιομηχανική χρήση στην Θεσσαλία και την Ελλάδα. Το Σχήμα 4.3 και το Σχήμα 4.4 παρουσιάζουν τους αντίστοιχους δείκτες για την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση. Το Σχήμα 4.5 παρουσιάζει τον λόγο συνολικής ζήτησης ενέργειας της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα, ενώ το Σχήμα 4.6 και το Σχήμα 4.7 τους αντίστοιχους λόγους για την ζήτηση ενέργεια για βιομηχανική και γεωργική χρήση αντίστοιχα. Για την κατανομή της ζήτησης ενέργειας

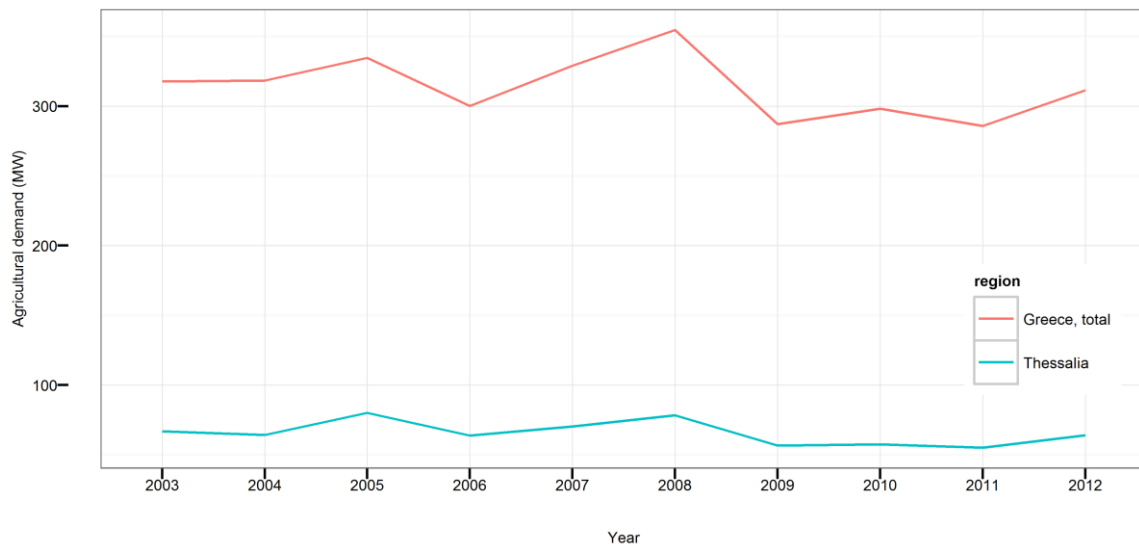
για γεωργική χρήση στο έτος χρησιμοποιούμε τις παραμέτρους που παρουσιάζει ο Πίνακας 4.1.



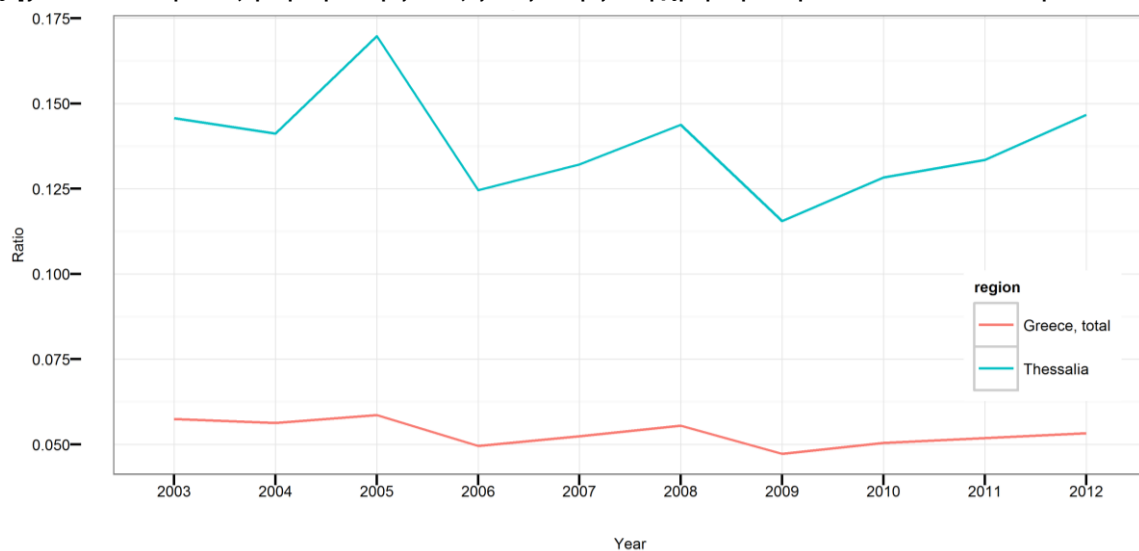
**Σχήμα 4.1.** Ετήσια ζήτηση ενέργειας για βιομηχανική χρήση στην Θεσσαλία και την Ελλάδα.



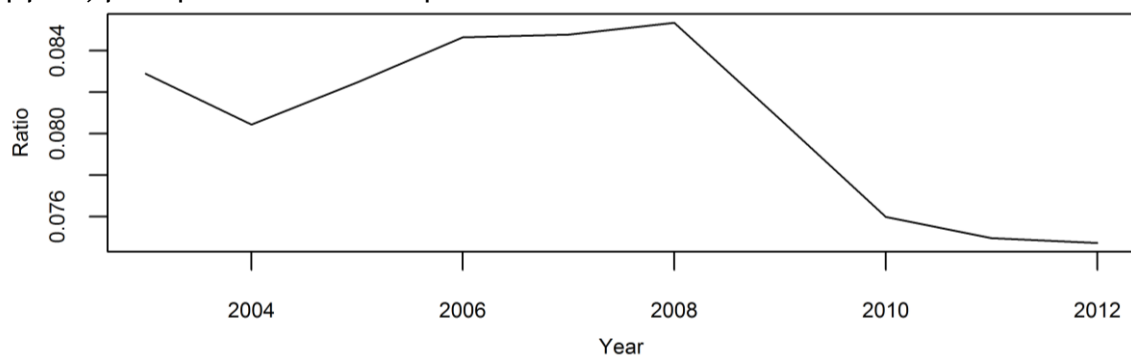
**Σχήμα 4.2.** Λόγος ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας για την Θεσσαλία και την Ελλάδα.



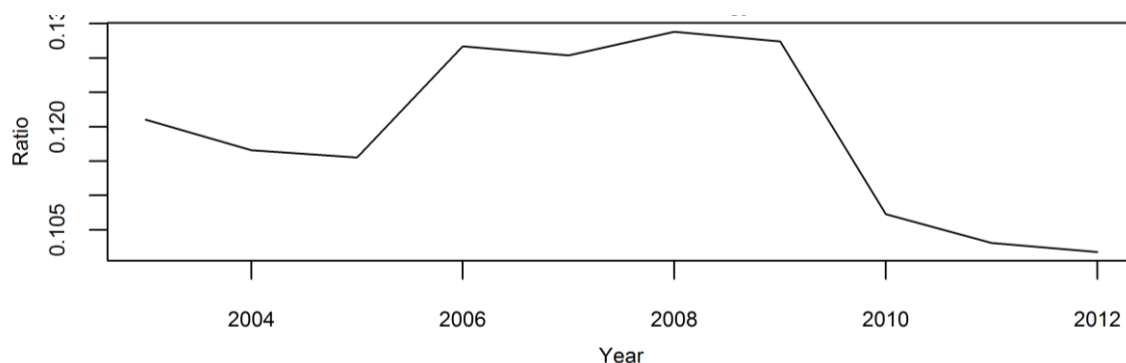
**Σχήμα 4.3.** Ετήσια ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία και την Ελλάδα.



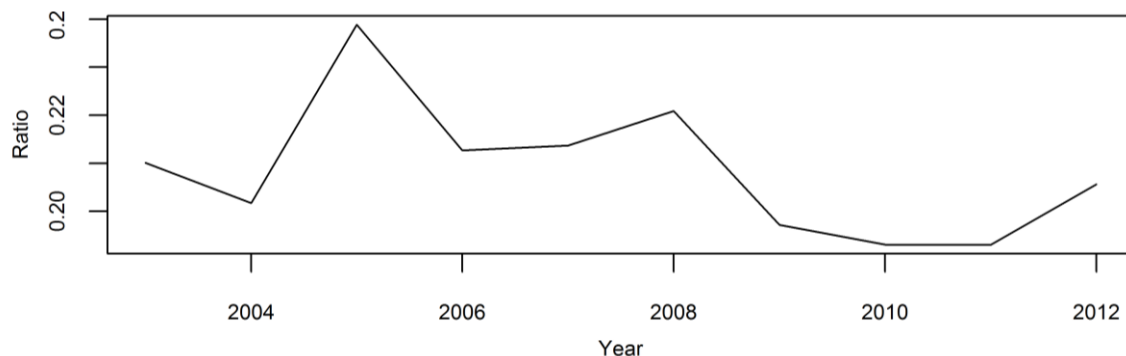
**Σχήμα 4.4.** Λόγος ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας για την Θεσσαλία και την Ελλάδα.



**Σχήμα 4.5.** Λόγος συνολικής ζήτησης ενέργειας της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα.



**Σχήμα 4.6.** Λόγος ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα.

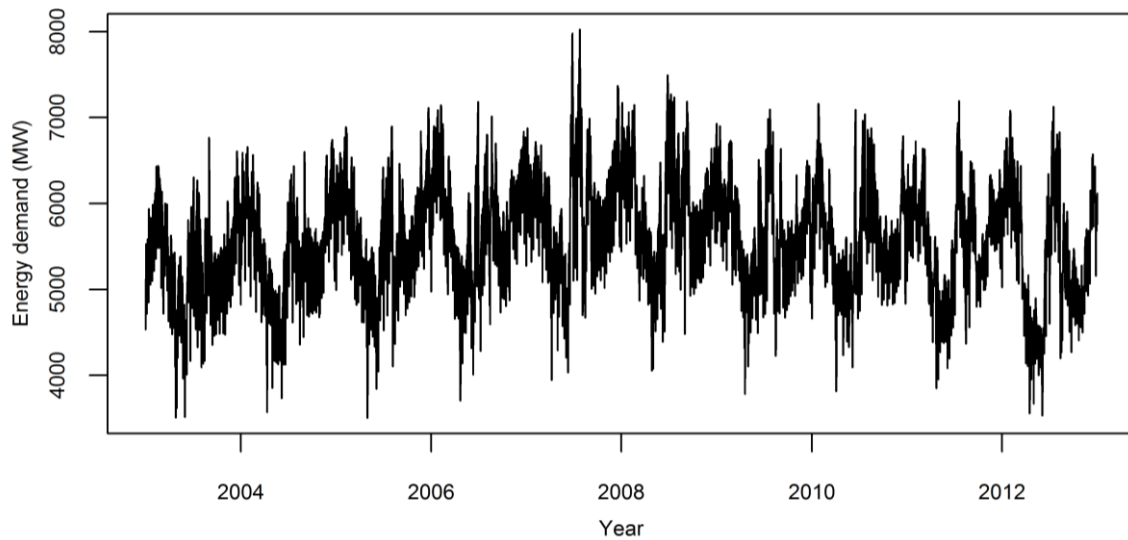


**Σχήμα 4.7.** Λόγος ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα.

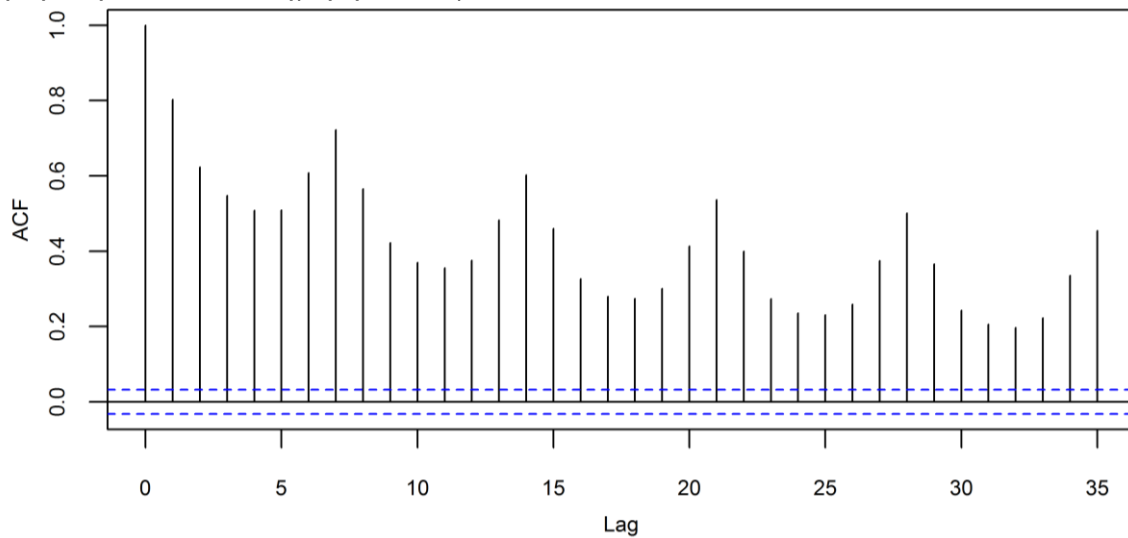
**Πίνακας 4.1.** Κατανομή στην ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση (Πηγή: Νικολόπουλος 2015, Πίνακας 2.12).

Μήνας	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
Λόγος	0.050	0.110	0.236	0.302	0.264	0.038

Αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση, προκύπτουν το Σχήμα 4.8 και το Σχήμα 4.9 με την ζήτηση ενέργειας για την Ελλάδα και το Σχήμα 4.10 με το Σχήμα 4.11 για την ζήτηση ενέργειας στην Θεσσαλία. Η διαδικασία της αφαίρεσης της ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση γίνεται με την χρήση γραμμικών μετασχηματισμών. Στο Σχήμα 4.9 και το Σχήμα 4.11 παρατηρούμε μεγάλες αυτοσυσχετίσεις μεταξύ μεταβλητών που απέχουν 7 ημέρες ή ακέραια πολλαπλάσια της ποσότητας των 7 ημερών.

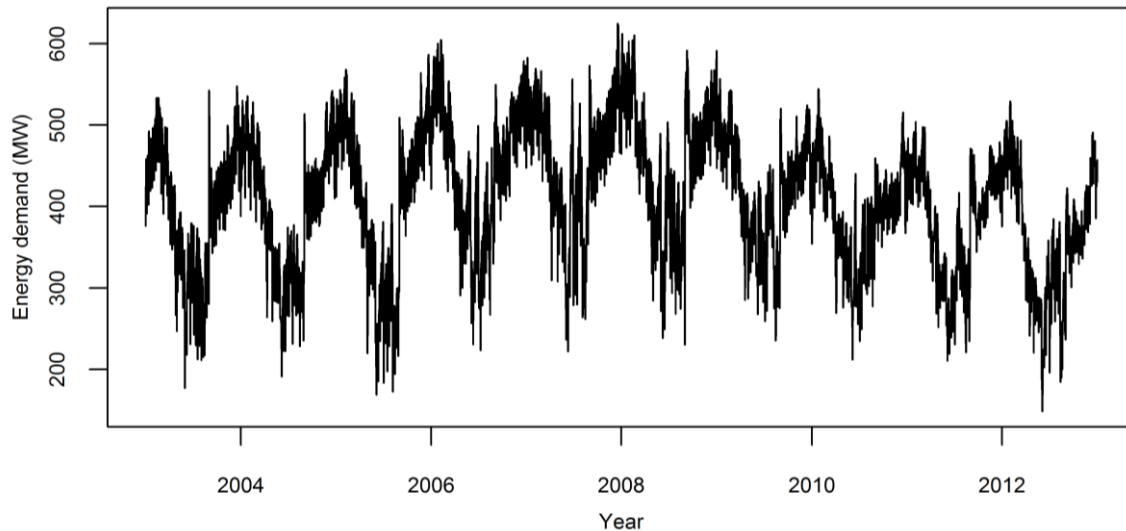


**Σχήμα 4.8.** Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα σε ημερήσια κλίμακα.

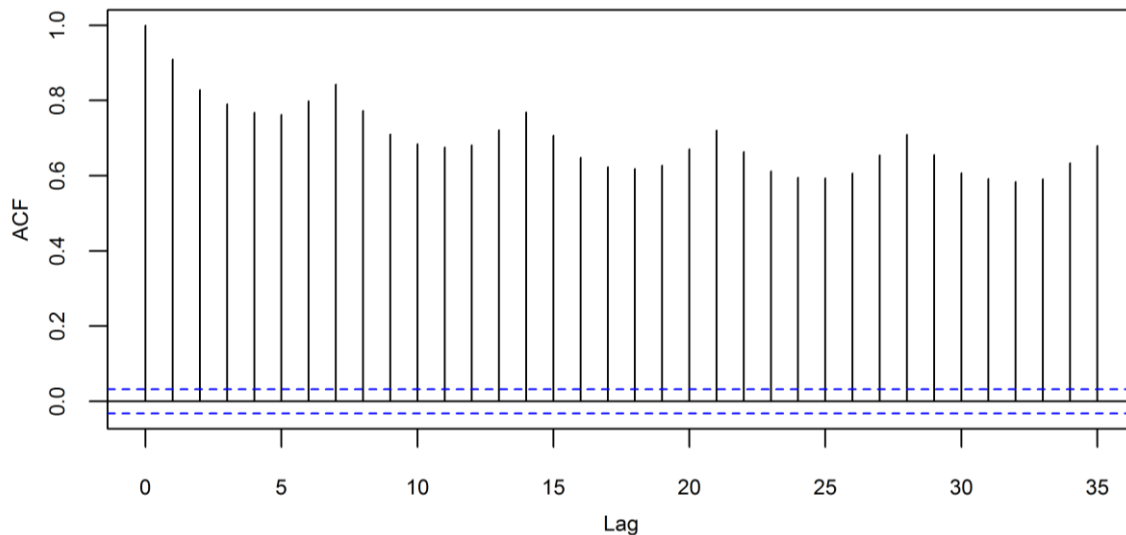


**Σχήμα 4.9.** Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα για την Ελλάδα από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.





**Σχήμα 4.10.** Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα.

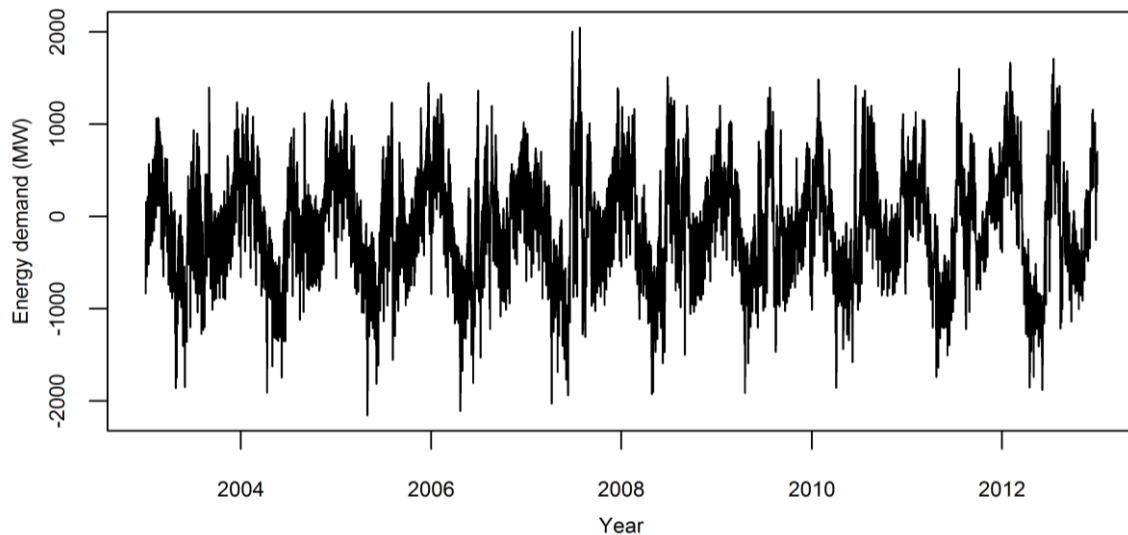


**Σχήμα 4.11.** Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα για την Θεσσαλία από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.

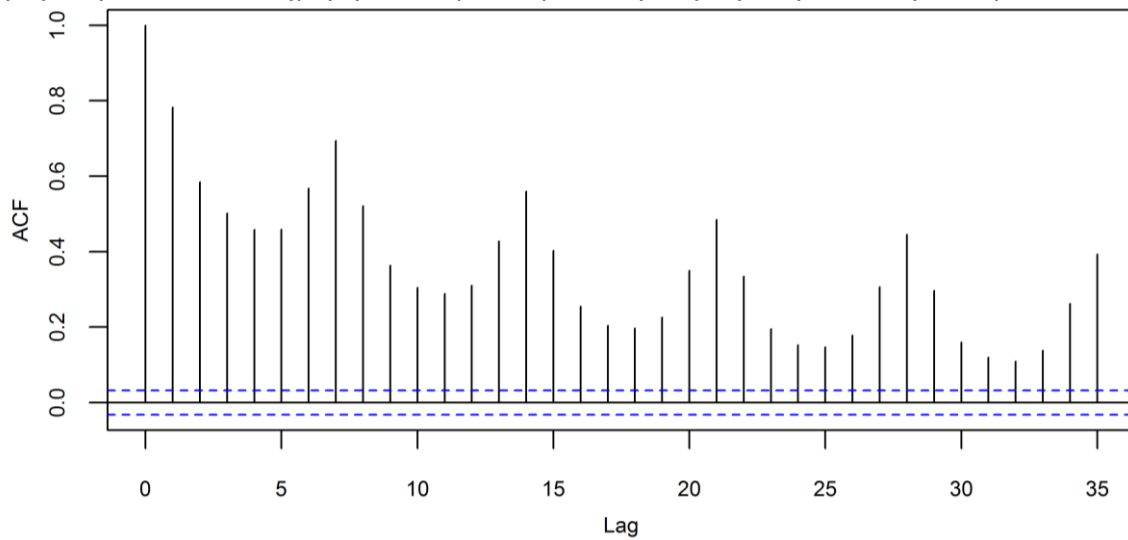
### 4.3 Διαδικασία προσομοίωσης

#### 4.3.1 Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα

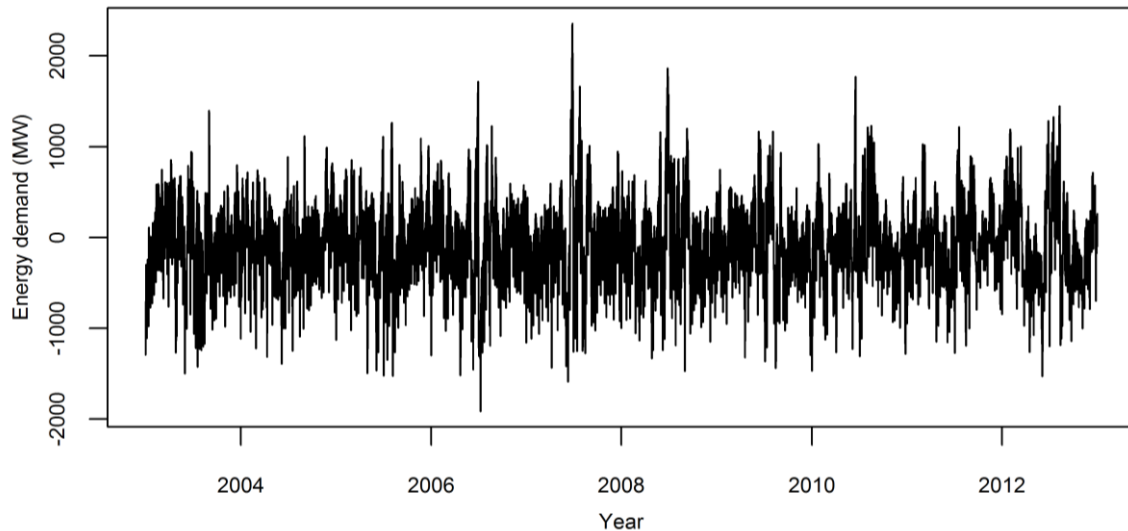
Για την προσομοίωση της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα αφαιρούμε τους ετήσιους μέσους στο Σχήμα 4.12. Το Σχήμα 4.13 παρουσιάζει την εκτίμηση της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης που αντιστοιχεί στο Σχήμα 4.12. Στην συνέχεια αφαιρούμε την μηνιαία και την εβδομαδιαία περιοδικότητα και προκύπτουν το Σχήμα 4.14 και το Σχήμα 4.16 με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των συναρτήσεων αυτοσυσχέτισης στο Σχήμα 4.15 και το Σχήμα 4.17.



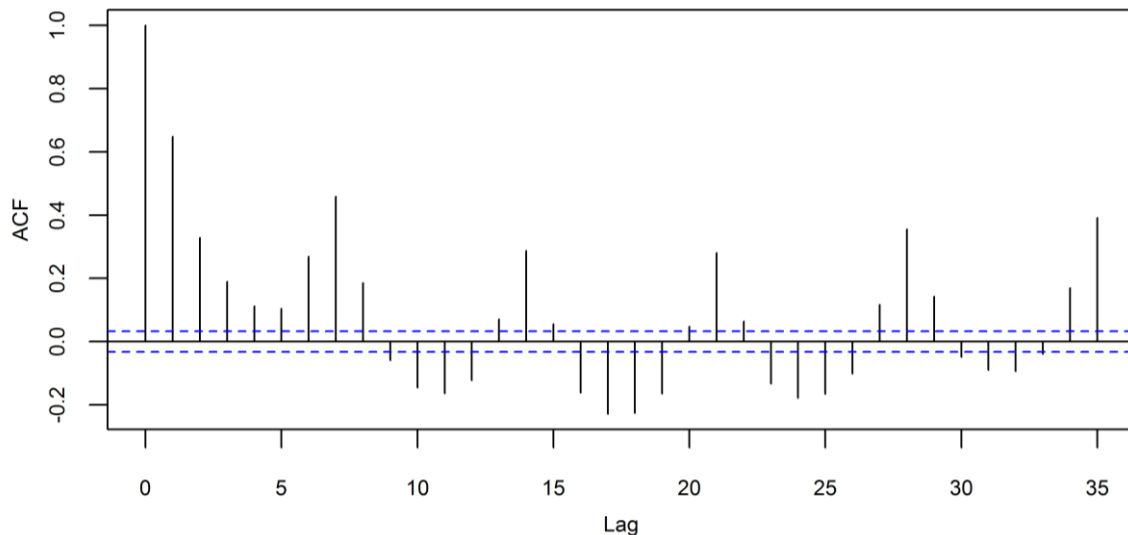
**Σχήμα 4.12.** Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων.



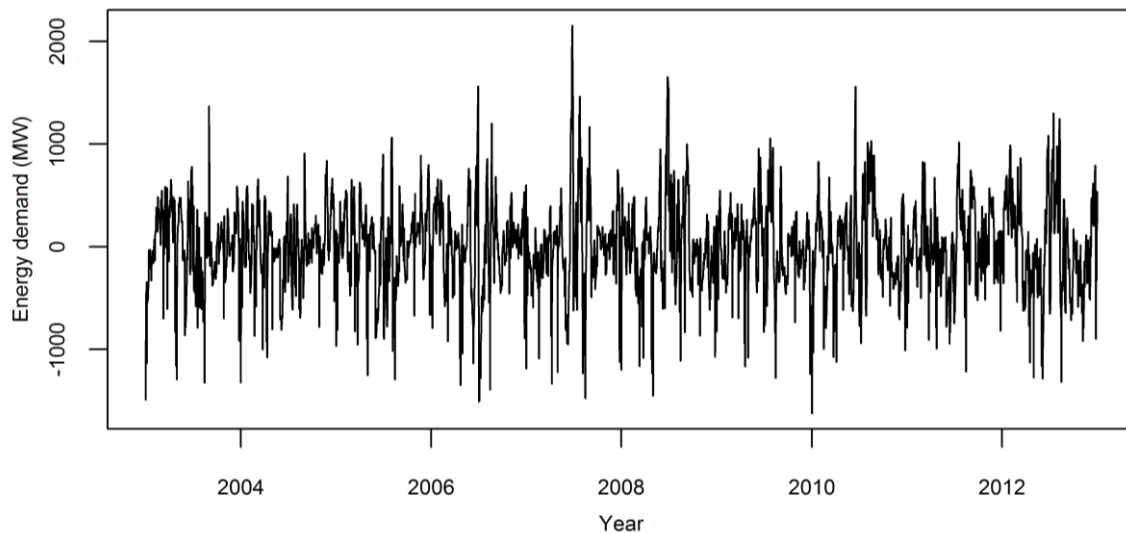
**Σχήμα 4.13.** Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, για την Ελλάδα από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.



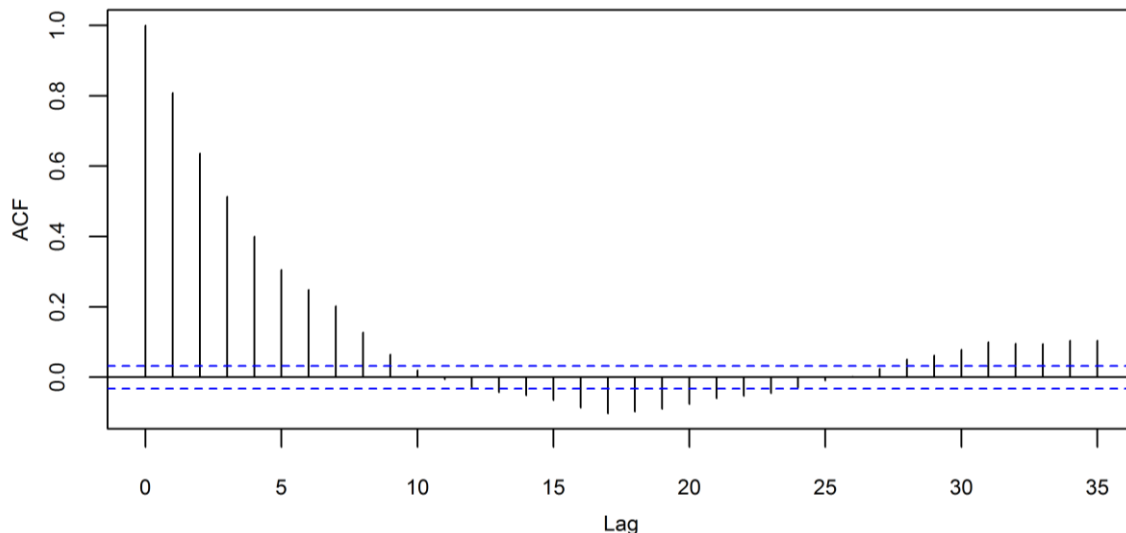
**Σχήμα 4.14.** Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων και της μηνιαίας περιοδικότητας.



**Σχήμα 4.15.** Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων και της μηνιαίας περιοδικότητας, για την Ελλάδα από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.

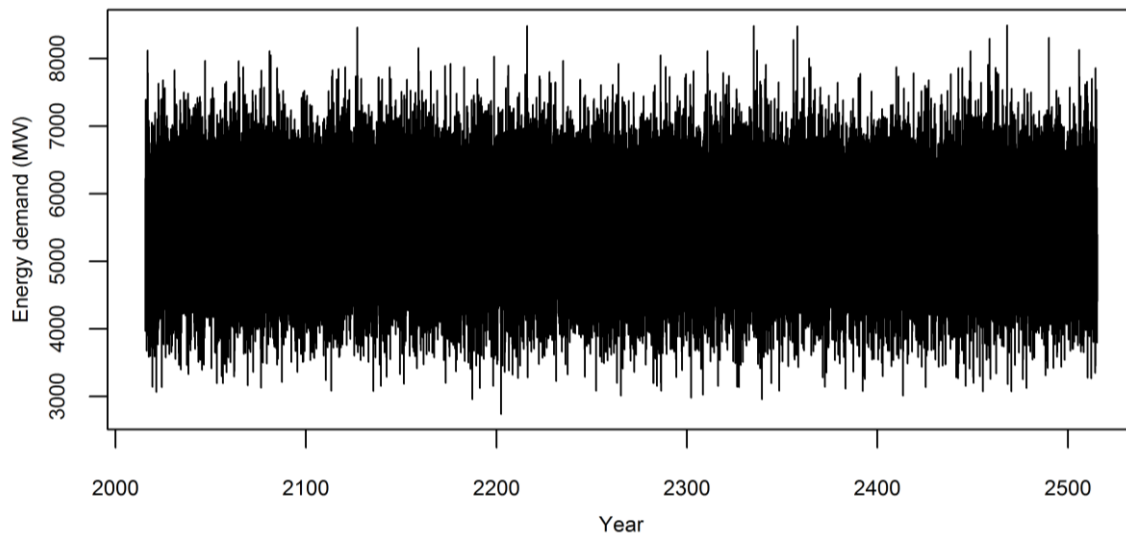


**Σχήμα 4.16.** Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, της μηνιαίας και της εβδομαδιαίας περιοδικότητας.

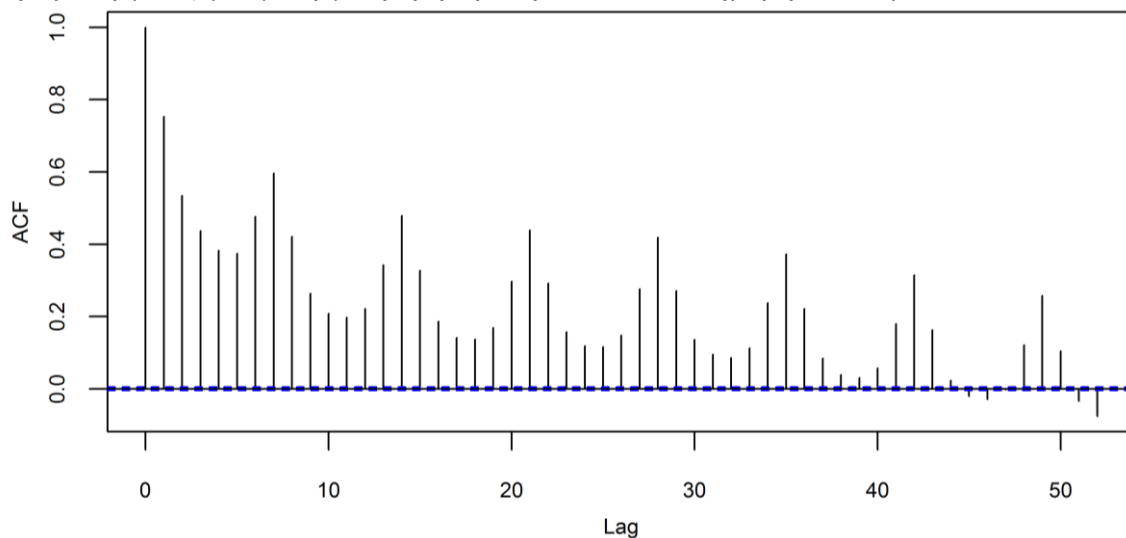


**Σχήμα 4.17.** Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, της μηνιαίας και της εβδομαδιαίας περιοδικότητας, για την Ελλάδα από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.

Χρησιμοποιώντας την χρονοσειρά, που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.16, παράγουμε μια συνθετική χρονοσειρά μήκους 500 ετών. Για την προσομοίωση χρησιμοποιούμε την συνάρτηση `tsboot` του λογισμικού R (βλέπε και τους Davison and Hinkley 1997, Cauty and Ripley 2015), ενώ παράγουμε τμήματα τυχαίου μήκους από μια γεωμετρική κατανομή. Επιπλέον υπολογίζουμε το βέλτιστο μήκος αυτών των τμημάτων με την συνάρτηση `b.star` του λογισμικού R (βλέπε και τους Hayfield and Racine 2008). Στην συνέχεια προστίθενται οι διάφορες περιοδικότητες. Η τελική συνθετική χρονοσειρά παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.18 και η εκτίμηση της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης στο Σχήμα 4.19.



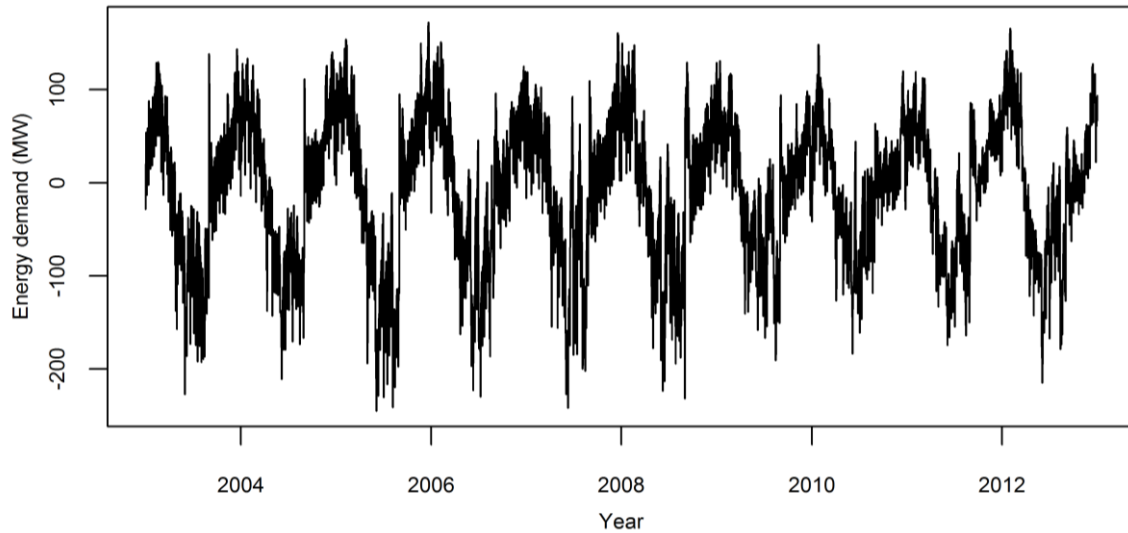
**Σχήμα 4.18.** Συνθετική χρονοσειρά συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα σε ημερήσια κλίμακα.



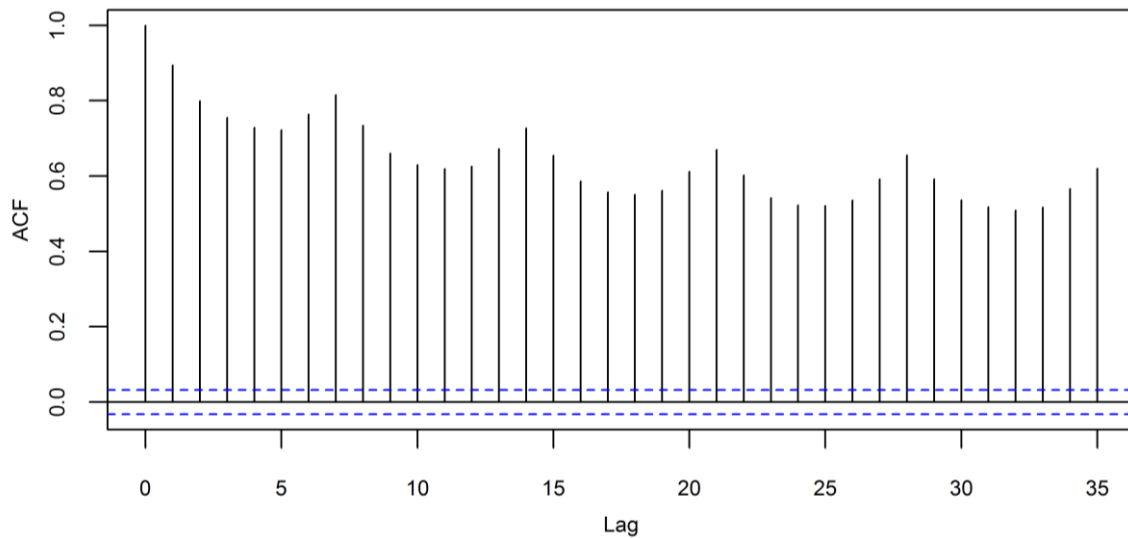
**Σχήμα 4.19.** Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνθετική χρονοσειρά της συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, για την Ελλάδα.

#### 4.3.2 Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας στην Θεσσαλία

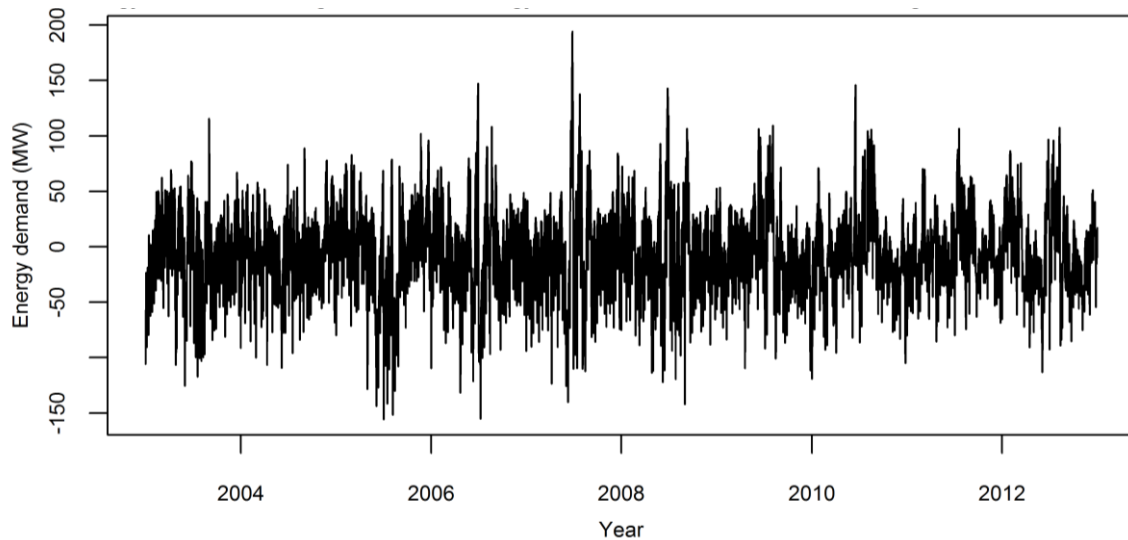
Για την προσομοίωση της ενέργειας στην Θεσσαλία χρησιμοποιούμε την ίδια μεθοδολογία. Αφαιρούμε τους ετήσιους μέσους (Σχήμα 4.20 και Σχήμα 4.21), την μηνιαία περιοδικότητα (Σχήμα 4.22 και Σχήμα 4.23) και την εβδομαδιαία περιοδικότητα (Σχήμα 4.24 και Σχήμα 4.25). Η χρονοσειρά που προκύπτει μετά την προσομοίωση παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.26 και η εκτίμηση της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης στο Σχήμα 4.27. Στο Σχήμα 4.28 παρουσιάζεται η συνθετική χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε ωριαία κλίμακα. Η χρονοσειρά αυτή προέκυψε μετά από αποσύνθεση της χρονοσειράς ζήτησης σε ημερήσια κλίμακα με μέθοδο που παρουσιάζεται στο υποστηρικτικό υλικό.



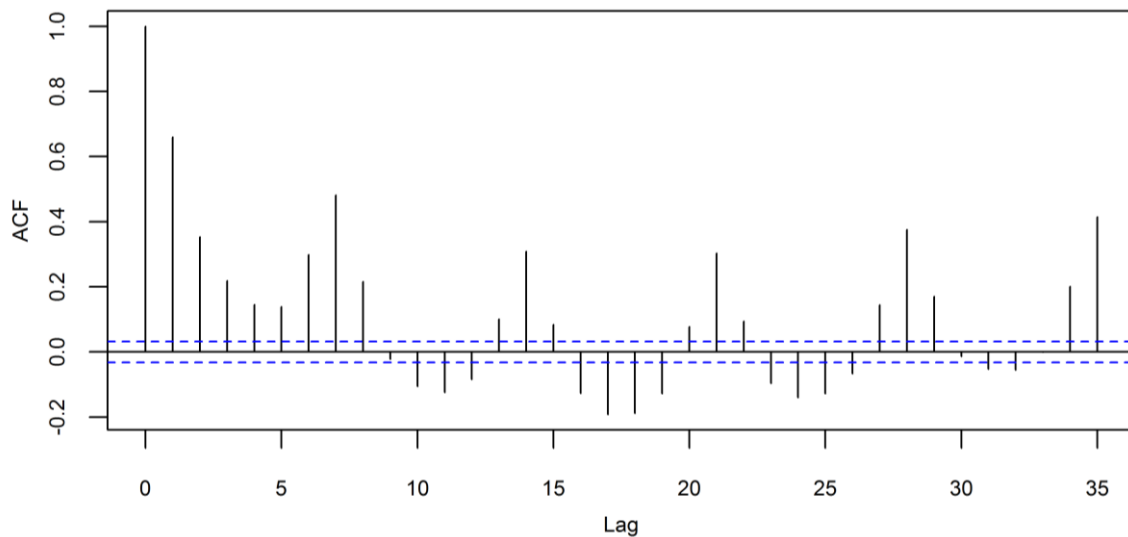
**Σχήμα 4.20.** Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων.



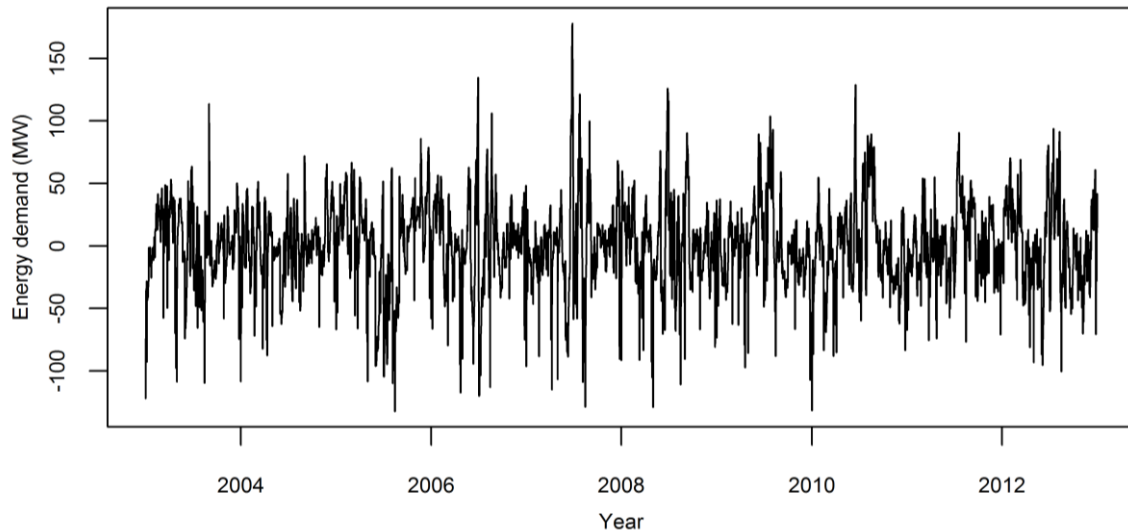
**Σχήμα 4.21.** Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, για την Θεσσαλία από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.



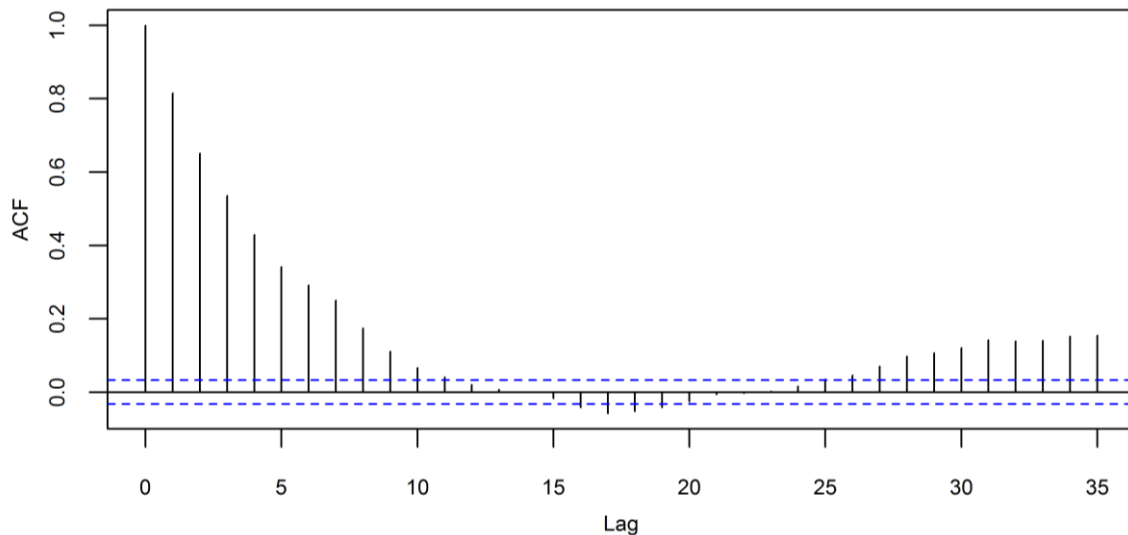
**Σχήμα 4.22.** Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων και της μηνιαίας περιοδικότητας.



**Σχήμα 4.23.** Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων και της μηνιαίας περιοδικότητας, για την Θεσσαλία από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.

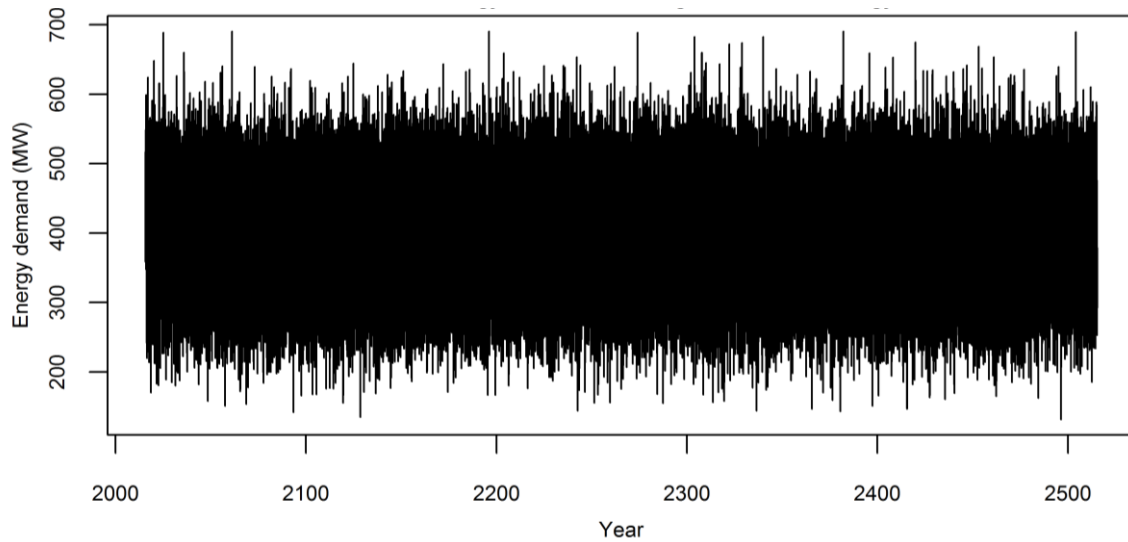


**Σχήμα 4.24.** Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, της μηνιαίας και της εβδομαδιαίας περιοδικότητας.

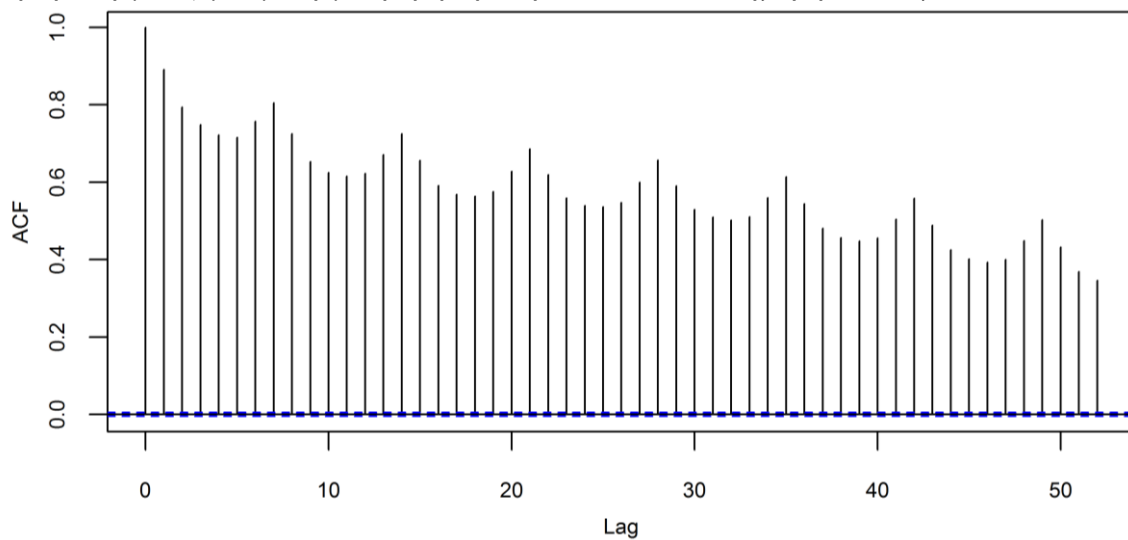


**Σχήμα 4.25.** Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, της μηνιαίας και της εβδομαδιαίας περιοδικότητας, για την Θεσσαλία από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.

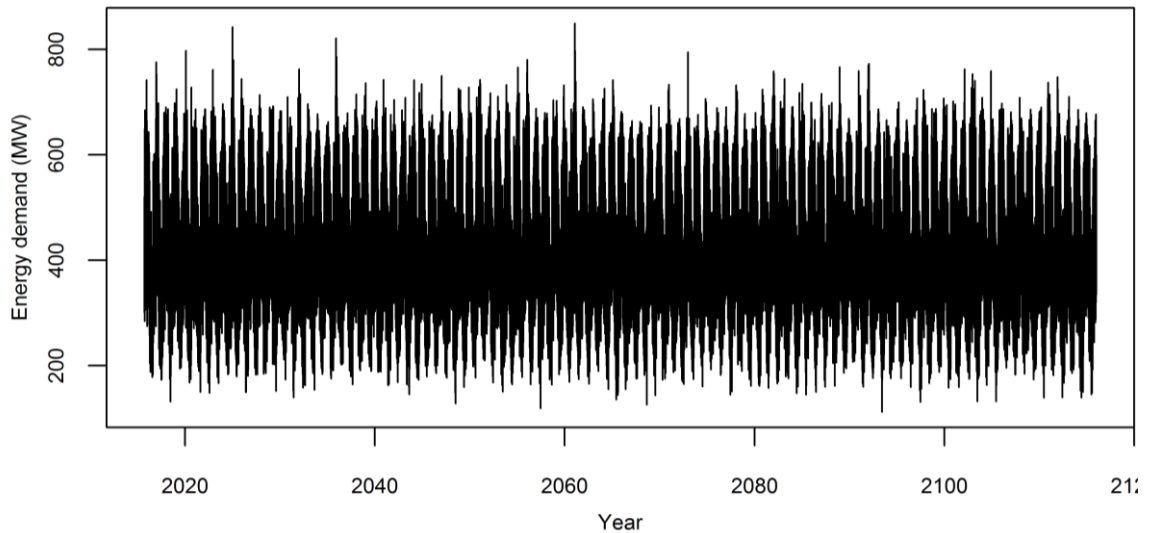




**Σχήμα 4.26.** Συνθετική χρονοσειρά συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα.



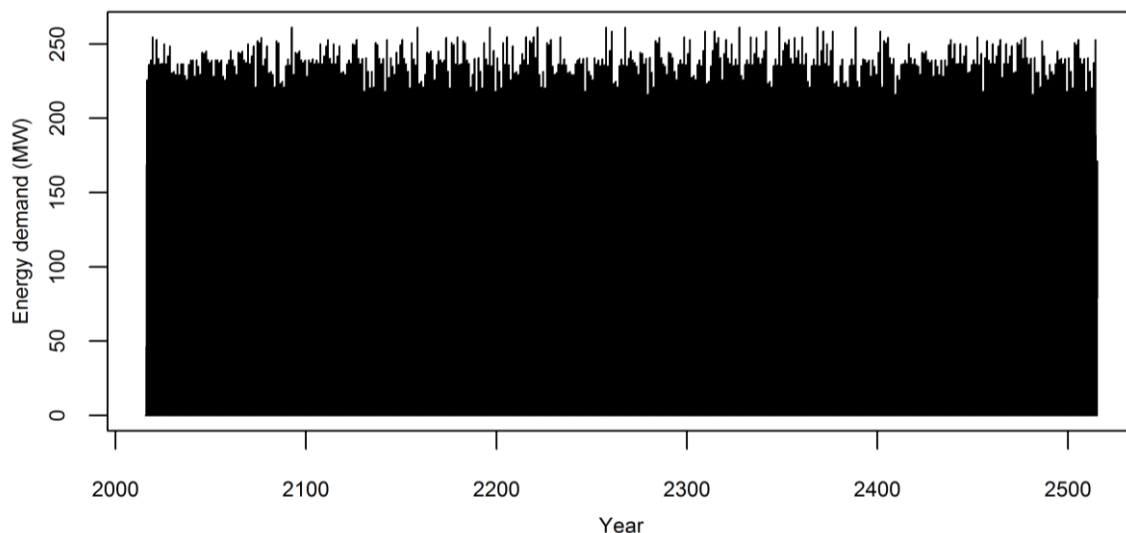
**Σχήμα 4.27.** Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνθετική χρονοσειρά της συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, για την Θεσσαλία.



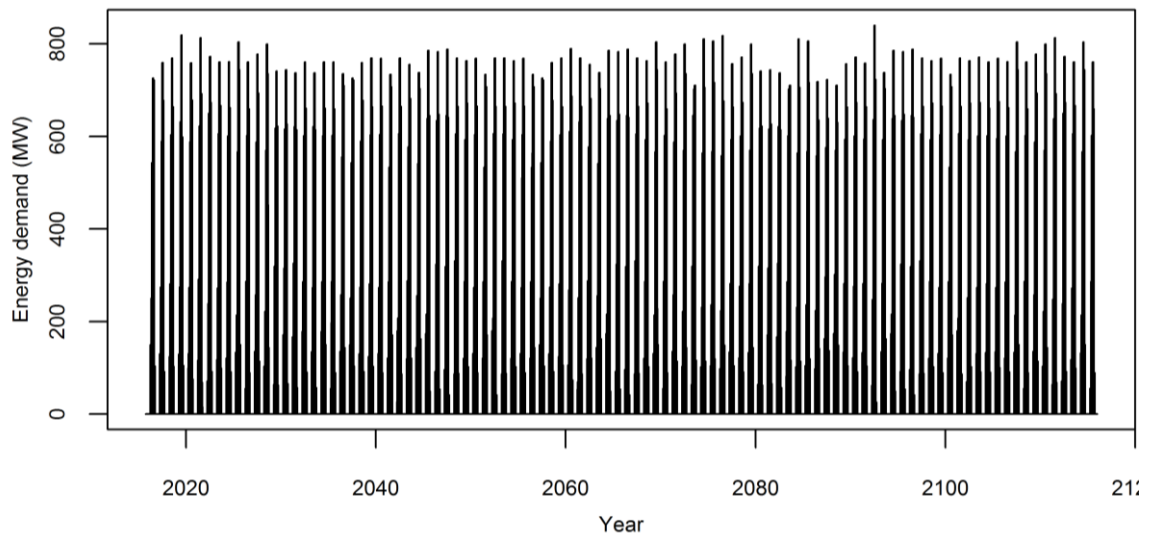
**Σχήμα 4.28.** Συνθετική χρονοσειρά συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ωριαία κλίμακα.

#### 4.3.3 Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία

Για την προσομοίωση της ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση χρησιμοποιήσαμε την ίδια μεθοδολογία με την διαφορά ότι πρώτα αφαιρέθηκαν οι μήνες με μηδενική ζήτηση ενέργειας (Πίνακας 4.1), και ότι δεν πραγματοποιήθηκε αφαίρεση της εβδομαδιαίας περιοδικότητας διότι η ζήτηση θεωρήθηκε σταθερή στον μήνα. Η συνθετική χρονοσειρά παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.29. Στο Σχήμα 4.30 παρουσιάζεται η συνθετική χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε ωριαία κλίμακα. Η χρονοσειρά αυτή προέκυψε μετά από αποσύνθεση της χρονοσειράς ζήτησης σε ημερήσια κλίμακα, με την χρήση του Table 64 των Funk and DeOreo (2011).



**Σχήμα 4.29.** Συνθετική χρονοσειρά ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα.



**Σχήμα 4.30.** Συνθετική χρονοσειρά ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ωριαία κλίμακα.



## 5. Συμπεράσματα

### 5.1 Ανάλυση στον χρόνο

Συνοψίζοντας αναφέρουμε ότι σχετικά με την ζήτηση ενέργειας παρατηρούμε κατά την διάρκεια της ημέρας, δύο τοπικά μέγιστα περίπου στις 12:00 και 20:00 και δύο τοπικά ελάχιστα περίπου στις 04:00 και 16:00. Παρατηρούμε τα ημερήσια μέγιστα ζήτησης ενέργειας τις Τετάρτες η Πέμπτες και τα ελάχιστα τις Κυριακές. Το σχήμα της ημερήσιας ζήτησης ενέργειας είναι σχεδόν ανεξάρτητο του μήνα. Παρατηρούμε τοπικά μέγιστα μηνιαίας ζήτησης ενέργειας τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο και τοπικά ελάχιστα τον Οκτώβριο και τον Απρίλιο.

Η μηνιαία ζήτηση ενέργειας του Δεκεμβρίου παρουσίασε αξιοσημείωτη αύξηση μετά το υδρολογικό έτος 2011. Παρατηρούμε μικρότερες διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας κατά την χρονική περίοδο μεταξύ Δεκεμβρίου και Απριλίου. Ένα γραμμικό μοντέλο για την σχέση μεταξύ ζήτησης ενέργειας και ΑΕΠ φαίνεται λογικό. Επιπλέον η αύξηση του ΑΕΠ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης ενέργειας (ή και αντίστροφα). Ωστόσο την αύξηση του ΑΕΠ κατά το υδρολογικό έτος 2008 δεν ακολούθησε αύξηση της ζήτησης ενέργειας.

Παρατηρούμε ένα ολικό ελάχιστο για την ζήτηση ενέργειας για θερμοκρασίες περίπου 17-18 °C και τοπικά μέγιστα για θερμοκρασίες περίπου στους 3 °C και 32 °C. Μια καμπύλη παλινδρόμησης για την ζήτηση ενέργειας (στον  $y$  άξονα) και την θερμοκρασία (στον  $x$  άξονα) θα ήταν κυρτή. Οι ημερήσιες προβλέψεις του IPTO συνήθως υπερεκτιμούν την ζήτηση ενέργειας. Τα αποτελέσματα της διερεύνησης θα είναι χρήσιμα για την κατασκευή ενός μοντέλου βραχυπρόθεσμης και μεσοπρόθεσμης πρόβλεψης ζήτησης ενέργειας.

### 5.2 Ανάλυση στον χώρο

Σε ό,τι έχει σχέση με τον χώρο, διερευνήσαμε σχήματα της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα για την χρονική περίοδο 2008-2012. Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε με την απεικόνιση των δεδομένων ζήτησης ενέργειας, κοινωνικοοικονομικών μεταβλητών και συνδυασμών τους και την ανάλυσή τους με στατιστικές μεθόδους για την εύρεση τοπικά ακραίων τιμών, συστάδων με παρόμοιες τιμές μεγάλες ή μικρές τιμές, ενεργών και μη ενεργών περιοχών και για την ομαδοποίηση της Ελλάδας σε περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά. Το σύνολο της ανάλυσης παρουσιάζεται σε 1 125 σχήματα, ως υποστηρικτικό υλικό.

Επιλέξαμε ορισμένα σχήματα του υποστηρικτικού υλικού τα οποία παρουσιάζουν σημαντικά αποτελέσματα. Προκύπτει ότι στην Ελλάδα υπάρχει μια περιοχή στο κέντρο της η οποία χαρακτηρίζεται ως βιομηχανική αλλά συγχρόνως και ως γεωργική, μετά την αφαίρεση και την πρόσθεση περιοχών. Η νησιωτική Ελλάδα χαρακτηρίζεται κυρίως ως εμπορική, ενώ η περιοχή γύρω από τον νομό Αττικής χαρακτηρίζεται από μεγάλες τιμές χρήσεις οικιακής ενέργειας. Γενικότερα η Ελλάδα χωρίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις, ως προς το μοντέλο ανάπτυξης που ακολουθείται, στο κυρίως ηπειρωτικό τμήμα, το οποίο περιλαμβάνει περιοχές από το κέντρο και βορειότερα, στην Κεντρική Ελλάδα και στις νησιωτικές περιοχές οι οποίες κατά περίπτωση έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τον νομό Αττικής και την Πελοπόννησο. Τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να είναι χρήσιμα για την διαχείριση του ηλεκτρικού δικτύου και για την εύρεση βέλτιστων πολιτικών για το αναπτυξιακό μοντέλο της χώρας.

### *5.3 Προσομοίωση της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα και την Θεσσαλία*

Τέλος προσομοιώσαμε την συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, έχοντας αφαιρέσει νωρίτερα την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα και την Θεσσαλία. Επιπλέον προσομοιώσαμε την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για αγροτική χρήση στην Θεσσαλία. Η προσομοίωση αφορά μεγάλη χρονική περίοδο και πραγματοποιήθηκε για την εκτίμηση ενός ενεργειακού έργου σε βάθος χρόνου, οπότε δεν λήφθηκαν υπόψη χαρακτηριστικά όπως η εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες. Η προσομοίωση των ζητήσεων ενέργειας πραγματοποιήθηκε, αφού πρώτα αφαιρέθηκαν οι ετήσιοι μέσοι και οι παρατηρούμενες περιοδικότητες. Οι συνθετικές χρονοσειρές παράχθηκαν με την μέθοδο bootstrap από τμήματα τυχαίου μήκους παραγόμενα από μια γεωμετρική κατανομή. Στην συνέχεια προστέθηκαν τα στοιχεία που προηγουμένως αφαιρέθηκαν.

### *5.4 Περιορισμοί και περαιτέρω έρευνα*

Σε ό,τι αφορά στην ανάλυση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στον χρόνο, αυτή έγινε για την Ελλάδα χωρίς προηγουμένως να έχουν αφαιρεθεί χρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η βιομηχανική και η γεωργική. Οι χρήσεις αυτές παρουσιάζουν γενικά διαφορετικά χαρακτηριστικά στον χρόνο, σε σχέση π.χ. με την ηλεκτρική ενέργεια οικιακής χρήσης.

Η οπτικοποίηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στον χώρο για διάφορες χρήσεις αφορά στην χρονική περίοδο 2008-2012, η οποία είναι σχετικά μικρή. Παρουσιάζονται

τα αποτελέσματα ανά έτος, ωστόσο δεν παρουσιάζονται οι μεταβολές κατά την διάρκεια του χρόνου.

Σε ό,τι αφορά στην προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τα οποία δεν είχε αφαιρεθεί η βιομηχανική χρήση, η οποία παρουσιάζει διαφορετικές περιοδικότητες σε σχέση π.χ. με την ηλεκτρική ενέργεια οικιακής χρήσης. Το επιθυμητό αποτέλεσμα ήταν η παραγωγή μιας συνθετικής χρονοσειράς για την προσομοίωση ενός συστήματος ενέργειας και το ενδιαφέρον ήταν η μακροπρόθεσμη απόδοσή του. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή αρκούσε η εξέταση της χρονοσειράς ηλεκτρικής ζήτησης μόνη της. Ωστόσο στην περίπτωση που ενδιαφερόμαστε για πρόβλεψη, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι προβλέψεις της θερμοκρασίας, του ΑΕΠ κλπ. Σε αυτήν την περίπτωση είναι απαραίτητος ο συσχετισμός μεταξύ της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και των άλλων μεταβλητών.





## Αναφορές

- Akinlo AE (2009) Electricity consumption and economic growth in Nigeria: Evidence from cointegration and co-feature analysis. *Journal of Policy Modeling* 31(5):681-693. doi:10.1016/j.jpolmod.2009.03.004
- Andrianesis P, Biskas P, Liberopoulos G (2011) An overview of Greece's wholesale electricity market with emphasis on ancillary services. *Electric Power Systems Research* 81(8):1631-1642. doi:10.1016/j.epsr.2011.04.005
- Anselin L (1995) Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis* 27(2):93-115. doi:10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x
- Assunção RM, Neves MC, Câmara G, Da Costa Freitas C (2006) Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees. *International Journal of Geographical Information Science. International Journal of Geographical Information Science* 20(7):797-811. doi:10.1080/13658810600665111
- Bacher P, Madsen H, Nielsen HA (2009) Online short-term solar power forecasting. *Solar Energy* 83(10):1772-1783. doi:10.1016/j.solener.2009.05.016
- Benos N, Karagiannis S (2008) Convergence and economic performance in Greece: evidence at regional and prefecture level. 20(1):52-69. doi:10.1111/j.1467-940X.2008.00141.x
- Box GEP, Cox DR (1964) An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* 26(2):211-252
- Bühlmann P, Hothorn T (2007) Boosting Algorithms: Regularization, Prediction and Model Fitting. *Statistical Science* 22(4):477-505. doi:10.1214/07-STS242
- Canty A, Ripley BD (2015) boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions. R package version 1.3-17
- Chen BJ, Chang MW, Lin CJ (2004) Load forecasting using support vector Machines: a study on EUNITE competition 2001. *IEEE Transactions on Power Systems* 19(4):1821-1830. doi:10.1109/TPWRS.2004.835679
- Christofakis M, Gkouzos A (2013) Regional Specialization And Efficiency Of The Agricultural Sector In Greece: The Relationship With Regional Funding Allocation. *Regional and Sectoral Economic Studies* 13(1):119-130
- Christofakis M, Papadaskalopoulos A (2011) The Growth Poles Strategy in Regional Planning: The Recent Experience of Greece. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management* 6(2)
- Davison AC, Hinkley DV (1997) Bootstrap methods and their application. Cambridge University Press, Cambridge
- De Cian E, Lanzi E, Roson R (2013) Seasonal temperature variations and energy demand. A panel cointegration analysis for climate change impact assessment. *Climatic Change* 116(3-4):805-825. doi:10.1007/s10584-012-0514-5
- Dergiades T, Martinopoulos G, Tsoulfidis L (2013) Energy consumption and economic growth: Parametric and non-parametric causality testing for the case of Greece. *Energy Economics* 36:686-697. doi:10.1016/j.eneco.2012.11.017
- Dilaver Z, Hunt LC (2011) Industrial electricity demand for Turkey: A structural time series analysis. *Energy Economics* 33(3):426-436. doi:10.1016/j.eneco.2010.10.001
- Dimitropoulos J, Hunt LC, Judge G (2005) Estimating underlying energy demand trends using UK annual data. *Applied Economics Letters* 12(4):239-244. doi:10.1080/1350485052000337789

- Duque JC, Ramos R, Suriñach J (2007) Supervised Regionalization Methods: A Survey. *International Regional Science Review* 30(3):195-220. doi:10.1177/0160017607301605
- Ekonomou L (2010) Greek long-term energy consumption prediction using artificial neural networks. *Energy* 35(2):512-517. doi:10.1016/j.energy.2009.10.018
- Esri (2015) ArcGIS for Desktop: Release 10.3.1. California, Redlands
- Fan S, Hyndman RJ (2012) Short-Term Load Forecasting Based on a Semi-Parametric Additive Model. *IEEE Transactions on Power Systems* 27(1):134-141. doi:10.1109/TPWRS.2011.2162082
- Farzan F, Jafari MA, Gong J, Farzan F, Stryker A (2015) A multi-scale adaptive model of residential energy demand. *Applied Energy* 150:258-273. doi:10.1016/j.apenergy.2015.04.008
- Filik ÜB, Gerek ÖN, Kurban M (2011) A novel modeling approach for hourly forecasting of long-term electric energy demand. *Energy Conversion and Management* 52(1):199-211. doi:10.1016/j.enconman.2010.06.059
- Fuinhas JA, Marques AC (2012) Energy consumption and economic growth nexus in Portugal, Italy, Greece, Spain and Turkey: An ARDL bounds test approach (1965–2009). *Energy Economics* 34(2):511-517. doi:10.1016/j.eneco.2011.10.003
- Funk A, DeOreo WB (2011) Embedded Energy in Water Studies, Study 3: End-use Water Demand Profiles. Available online at: <ftp://ftp.cpuc.ca.gov/gopher-data/energy%20efficiency/Water%20Studies%203/End%20Use%20Water%20Demand%20Profiles%20Study%203%20FINAL.PDF>
- Gam I, Rejeb JB (2012) Electricity demand in Tunisia. *Energy Policy* 45:714-720. doi:10.1016/j.enpol.2012.03.025
- Getis A, Ord JK (1992) The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis* 24(3):189-206. doi:10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x
- Gneiting T, Katzfuss M (2014) Probabilistic Forecasting. *Annual Review of Statistics and Its Application* 1:125-151. doi:10.1146/annurev-statistics-062713-085831
- Goletsis Y, Chletsos M (2011) Measurement of development and regional disparities in Greek periphery: A multivariate approach. *Socio-Economic Planning Sciences* 45(4):174-183. doi:10.1016/j.seps.2011.06.002
- Hahn H, Meyer-Nieberg S, Pickl S (2009) Electric load forecasting methods: Tools for decision making. *European Journal of Operational Research* 199(3):902-907. doi:10.1016/j.ejor.2009.01.062
- Hainoun A, Seif-Eldin MK, Almoustafa S (2006) Analysis of the Syrian long-term energy and electricity demand projection using the end-use methodology. *Energy Policy* 34(14):1958-1970. doi:10.1016/j.enpol.2004.12.024
- Hayfield T, Racine JS (2008) Nonparametric Econometrics: The np Package. *Journal of Statistical Software* 27(5)
- Hondroyannis G (2004) Estimating residential demand for electricity in Greece. *Energy Economics* 26(3):319-334. doi:10.1016/j.eneco.2004.04.001
- Hong T (2014) Energy Forecasting: Past, Present, and Future. *Foresight: The International Journal of Applied Forecasting* 32:43-48
- Hong T, Pinson P, Fan S (2014) Global Energy Forecasting Competition 2012. *International Journal of Forecasting* 30(2):357-363. doi:10.1016/j.ijforecast.2013.07.001
- Hor CL, Watson SJ, Majithia S (2005) Analyzing the impact of weather variables on monthly electricity demand. *IEEE Transactions on Power Systems* 20(4):2078-2085. doi:10.1109/TPWRS.2005.857397

- Hyndman RJ, Fan S (2010) Density Forecasting for Long-Term Peak Electricity Demand. *IEEE Transactions on Power Systems* 25(2):1142-1153. doi:10.1109/TPWRS.2009.2036017
- Hyndman RJ, Fan S (2015) Monash Electricity Forecasting Model, Version 2015.1. Available online at:<http://www.robjhyndman.com/papers/MEFMR1.pdf>
- Independent Power Transmission Operator (2015) Electricity/Power Market Participation, Market Data. Available online at:<http://admie.gr/leitoyrgia-dedomena/leitoyrgia-agoras-ilektrikis-energeias/anafores-dimosieyseis-agoras/>
- Ihara T, Genchi Y, Sato T, Yamaguchi K, Endo Y (2008) City-block-scale sensitivity of electricity consumption to air temperature and air humidity in business districts of Tokyo, Japan. *Energy* 33(11):1634-1645. doi:10.1016/j.energy.2008.06.005
- Ito T, Chen Y, Ito S, Yamaguchi K (2010) Prospect of the upper limit of the energy demand in China from regional aspects. *Energy* 35(12):5320-5327. doi:10.1016/j.energy.2010.07.028
- Jain AK (2010) Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters* 31(8):651-666. doi:10.1016/j.patrec.2009.09.011
- Jebaraj S, Iniyar S (2006) A review of energy models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 10(4):281-311. doi:10.1016/j.rser.2004.09.004
- Kaijuka E (2007) GIS and rural electricity planning in Uganda. *Journal of Cleaner Production* 15(2):203-217. doi:10.1016/j.jclepro.2005.11.057
- Kalampalikas NG, Pilavachi PA (2010a) A model for the development of a power production system in Greece, Part I: Where RES do not meet EU targets. *Energy Policy* 38(11):6499-6513. doi:10.1016/j.enpol.2010.05.038
- Kalampalikas NG, Pilavachi PA (2010b) A model for the development of a power production system in Greece, Part II: Where RES meet EU targets. *Energy Policy* 38(11):6514-6528. doi:10.1016/j.enpol.2010.05.037
- Katsoulakos NM, Kaliampakos DC (2014) What is the impact of altitude on energy demand? A step towards developing specialized energy policy for mountainous areas. *Energy Policy* 71:130-138. doi:10.1016/j.enpol.2014.04.003
- Khan MA, Ahmad U (2008) Energy demand in Pakistan: a disaggregate analysis. *The Pakistan Development Review* 47(4):437-455
- Kıran MS, Özceylan E, Gündüz M, Paksoy T (2012) A novel hybrid approach based on Particle Swarm Optimization and Ant Colony Algorithm to forecast energy demand of Turkey. *Energy Conversion and Management* 53(1):75-83. doi:10.1016/j.enconman.2011.08.004
- Koroneos CJ, Nanaki EA, Xydis GA (2011) Exergy analysis of the energy use in Greece. *Energy Policy* 39(5):2475-2481. doi:10.1016/j.enpol.2011.02.012
- Kumar U, Jain VK (2010) Time series models (Grey-Markov, Grey Model with rolling mechanism and singular spectrum analysis) to forecast energy consumption in India. *Energy* 35(4):1709-1716. doi:10.1016/j.energy.2009.12.021
- Lee CC, Chang CP (2008) Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics* 30(1):50-65. doi:10.1016/j.reseneeco.2007.03.003
- Liargovas P, Daskalopoulou I (2011) Capital allocation in the Greek regions. *Journal of Policy Modeling* 33(6):866-888. doi:10.1016/j.jpolmod.2011.03.011
- Lorenz E, Scheidsteger T, Hurka J, Heinemann D, Kurz C (2011) Regional PV power prediction for improved grid integration. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 19(7):757-771. doi:10.1002/pip.1033

- Ma H, Oxley L (2012) The emergence and evolution of regional convergence clusters in China's energy markets. *Energy Economics* 34(1):82-94. doi:10.1016/j.eneco.2011.02.015
- Marques AC, Fuinhas JA, Menegaki AN (2014) Interactions between electricity generation sources and economic activity in Greece: A VECM approach. *Applied Energy* 132:34-46. doi:10.1016/j.apenergy.2014.06.073
- Mirasgedis S, Sarafidis Y, Georgopoulou E, Lalas DP, Moschovits M, Karagiannis F, Papakonstantinou D (2006) Models for mid-term electricity demand forecasting incorporating weather influences. *Energy* 31(2-3):208-227. doi:10.1016/j.energy.2005.02.016
- Monastiriotis V (2009) Examining the consistency of spatial association patterns across socio-economic indicators: an application to the Greek regions. *Empirical Economics* 37(1):25-49. doi:10.1007/s00181-008-0221-2
- Monastiriotis V (2011) Making geographical sense of the Greek austerity measures: compositional effects and long-run implications. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 4(3):323-337. doi:10.1093/cjres/rsr026
- Moral-Carcedo J, Vicens-Otero J (2005) Modelling the non-linear response of Spanish electricity demand to temperature variations. *Energy Economics* 27(3):477-494. doi:10.1016/j.eneco.2005.01.003
- Morales-Acevedo A (2014) Forecasting Future Energy Demand: Electrical Energy in Mexico as an Example Case. *Energy Procedia* 57:782-790. doi:10.1016/j.egypro.2014.10.286
- Mozumder P, Marathe A (2007) Causality relationship between electricity consumption and GDP in Bangladesh. *Energy Policy* 35(1):395-402. doi:10.1016/j.enpol.2005.11.033
- Ord JK, Getis A (1995) Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis* 27(4):286-306. doi:10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x
- Ouédraogo IM (2010) Electricity consumption and economic growth in Burkina Faso: A cointegration analysis. *Energy Economics* 32(3):524-531. doi:10.1016/j.eneco.2009.08.011
- Panagiotopoulos G, Katsoulakos NM (2014) Specification of the socioeconomic dimensions of energy demand and consumption in Greece, using Geographical Information Systems. Available online at:[http://www.researchgate.net/profile/Nikolas\\_Katsoulakos/publication/267334835\\_Specification\\_of\\_the\\_socioeconomic\\_dimensions\\_of\\_energy\\_demand\\_and\\_consumption\\_in\\_Greece\\_using\\_Geographical\\_Information\\_Systems/links/544cbb530cf24b5d6c40c70d.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Nikolas_Katsoulakos/publication/267334835_Specification_of_the_socioeconomic_dimensions_of_energy_demand_and_consumption_in_Greece_using_Geographical_Information_Systems/links/544cbb530cf24b5d6c40c70d.pdf)
- Pappas SS, Ekonomou L, Karampelas P, Karamousantas DC, Katsikas SK, Chatzarakis GE, Skafidas PD (2010) Electricity demand load forecasting of the Hellenic power system using an ARMA model. *Electric Power Systems Research* 80(3):256-264. doi:10.1016/j.epsr.2009.09.006
- Pardo A, Meneu V, Valor E (2002) Temperature and seasonality influences on Spanish electricity load. *Energy Economics* 24(1):55-70. doi:10.1016/S0140-9883(01)00082-2
- Payne JE (2010) A survey of the electricity consumption-growth literature. *Applied Energy* 87(3):723-731. doi:10.1016/j.apenergy.2009.06.034
- Pinson P (2013) Wind Energy: Forecasting Challenges for Its Operational Management. *Statistical Science* 28(4):564-585. doi:10.1214/13-STS445

- Polemis ML, Dagoumas AS (2013) The electricity consumption and economic growth nexus: Evidence from Greece. *Energy Policy* 62:798-808. doi:10.1016/j.enpol.2013.06.086
- Politis DN (2003) The Impact of Bootstrap Methods on Time Series Analysis. *Statistical Science* 18(2):219-230. doi:10.1214/ss/1063994977
- Psiloglou BE, 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. doi:10.1016/j.energy.2009.07.033
- Psycharis Y (2008) Public Spending Patterns: The Regional Allocation of Public Investment in Greece by Political Period. London School of Economics and Political Science, GreeSE Paper 14. doi:10.2139/ssrn.1269940
- Ramanathan R, Engle R, Granger CWJ, Vahid-Araghib F, Brace C (1997) Short-run forecasts of electricity loads and peaks. *International Journal of Forecasting* 13(2):161-174. doi:10.1016/S0169-2070(97)00015-0
- Rapanos VT, Polemis ML (2006) The structure of residential energy demand in Greece. *Energy Policy* 34(17):3137-3143. doi:10.1016/j.enpol.2005.05.017
- Richardson I, Thomson M, Infield D, Clifford C (2010) Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model. *Energy and Buildings* 42(10):1878-1887. doi:10.1016/j.enbuild.2010.05.023
- Shan B, Xu M, Zhu F, Zhang C (2012) China's Energy Demand Scenario Analysis in 2030. *Energy Procedia* 14:1292-1298. doi:10.1016/j.egypro.2011.12.1091
- Sheng Y, Shi X, Zhang D (2014) Economic growth, regional disparities and energy demand in China. *Energy Policy* 71:31-39. doi:10.1016/j.enpol.2014.04.001
- Soytas U, Sari R (2003) Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. *Energy Economics* 25(1):33-37. doi:10.1016/S0140-9883(02)00009-9
- Suganthi L, Samuel AA (2012) Energy models for demand forecasting—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(2):1223-1240. doi:10.1016/j.rser.2011.08.014
- Taieb SB, Hyndman RJ (2014) A gradient boosting approach to the Kaggle load forecasting competition. *International Journal of Forecasting* 30(2):382-394. doi:10.1016/j.ijforecast.2013.07.005
- Taylor JW, Buizza R (2003) Using weather ensemble predictions in electricity demand forecasting. *International Journal of Forecasting* 19(1):57-70. doi:10.1016/S0169-2070(01)00123-6
- Taylor JW, De Menezes LM, McSharry PE (2006) A comparison of univariate methods for forecasting electricity demand up to a day ahead. *International Journal of Forecasting* 22(1):1-16. doi:10.1016/j.ijforecast.2005.06.006
- Taylor SC, Firth SK, Wang C, Allinson D, Quddus M, Smith P (2014) Spatial mapping of building energy demand in Great Britain. *GCB Bioenergy* 6(2):123-135. doi:10.1111/gcbb.12165
- The Hydrological Observatory of Athens (2015) List of Stations. Available online at:<http://hoa.ntua.gr/stations/l/?&owner=3>
- The World Bank (2015) World Development Indicators. Available online at:<http://data.worldbank.org/country/Greece>
- Tsani SZ (2010) Energy consumption and economic growth: A causality analysis for Greece. *Energy Economics* 32(3):582-590. doi:10.1016/j.eneco.2009.09.007

- Tso GKF, Yau KKW (2007) Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks. *Energy* 32(9):1761-1768. doi:10.1016/j.energy.2006.11.010
- Tyralis H, Karakatsanis G, Tzouka K, Mamassis N (2015) Analysis of the electricity demand of Greece for optimal planning of a large-scale hybrid renewable energy system, European Geosciences Union General Assembly 2015, Geophysical Research Abstracts 17(EGU2015-5643). Available online at:<https://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/1529/>
- Tyralis H, Karakatsanis G, Tzouka K, Mamassis N (2016a) Visualization of electrical energy demand in Greece. Submitted to *Energy Policy*
- Tyralis H, Mamassis N, Photis YN (2016b) Spatial analysis of electricity demand patterns in Greece: Application of a GIS-based methodological framework. European Geosciences Union General Assembly 2016, Geophysical Research Abstracts 18(EGU2016-3564). Vienna. Available online at:<http://itia.ntua.gr/en/docinfo/1606/>
- Tyralis H, Mamassis N, Photis YN (2016c) Spatial analysis of electrical energy demand patterns in Greece: Application of a GIS-based methodological framework. Submitted to *Energy Procedia*
- Tyralis H, Mamassis N, Photis YN (2016d) Regional patterns of electrical energy demand and development in Greece. To be submitted
- Wang ZH, Zeng HL, Wei YM, Zhang YX (2012) Regional total factor energy efficiency: An empirical analysis of industrial sector in China. *Applied Energy* 97:115-123. doi:10.1016/j.apenergy.2011.12.071
- Weron R (2014) Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future. *International Journal of Forecasting* 30(4):1030-1081. doi:10.1016/j.ijforecast.2014.08.008
- Widén J, Wäckelgård E (2010) A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand. *Applied Energy* 87(6):1880-1892. doi:10.1016/j.apenergy.2009.11.006
- Yu S, Zhu K, Zhang X (2012) Energy demand projection of China using a path-coefficient analysis and PSO-GA approach. *Energy Conversion and Management* 53(1):142-153. doi:10.1016/j.enconman.2011.08.015
- Zachariadis T, Pashourtidou N (2007) An empirical analysis of electricity consumption in Cyprus. *Energy Economics* 29(2):183-198. doi:10.1016/j.eneco.2006.05.002
- Zhang B, Chen ZM, Xia XH, Xu XY, Chen YB (2013) The impact of domestic trade on China's regional energy uses: A multi-regional input-output modeling. *Energy Policy* 63:1169-1181. doi:10.1016/j.enpol.2013.08.062
- Zhang H, Lahr ML (2014) China's energy consumption change from 1987 to 2007: A multi-regional structural decomposition analysis. *Energy Policy* 67:682-693. doi:10.1016/j.enpol.2013.11.069
- Zhang LX, Yang ZF, Chen B, Chen GQ, Zhang YQ (2009a) Temporal and spatial variations of energy consumption in rural China. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14(11):4022-4031. doi:10.1016/j.cnsns.2008.04.019
- Zhang LX, Yang ZF, Chen B, Chen GQ (2009b) Rural energy in China: Pattern and policy. *Renewable Energy* 34(12):2813-2823. doi:10.1016/j.renene.2009.04.006
- Zhang LX, Yang ZF, Liang J, Cai Y (2011) Spatial Variation and Distribution of Urban Energy Consumptions from Cities in China. *Energies* 4(1):26-38. doi:10.3390/en4010026

- Zhang Y, Wang J, Wang X (2014) Review on probabilistic forecasting of wind power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32:255-270. doi:10.1016/j.rser.2014.01.033
- Νικολόπουλος Δ (2015) Ανάπτυξη μοντέλου συνδυασμένης διαχείρισης λεκανών απορροής Αχελώου και Πηνειού. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Διαθέσιμο στο διαδίκτυο:<http://itia.ntua.gr/el/docinfo/1544/>