



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μαθηματική Μοντελοποίηση της Αγοράς Φυσικού Αερίου:  
Η περίπτωση μιας ελληνικής εταιρίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χατζηθανάσης Εμμανουήλ

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Απρίλιος 2014





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Μαθηματική Μοντελοποίηση της Αγοράς Φυσικού Αερίου: Η περίπτωση μιας ελληνικής εταιρίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χατζηθανάσης Εμμανουήλ

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Αθήνα, Απρίλιος 2014

.....

Ψαρράς Ιωάννης

.....

Ασκούνης Δημήτριος

.....

Ασημακόπουλος Βασίλειος

.....  
Χατζηθανάσης Εμμανουήλ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Χατζηθανάσης Εμμανουήλ, 2014.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Στο σημερινό διεθνές συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, η ανάπτυξη κατάλληλων και εξειδικευμένων Συστημάτων Λήψης Αποφάσεων απαιτείται όλο και περισσότερο. Αυτή η ανάγκη είναι ακόμα πιο εμφανής στην αγορά Φυσικού Αερίου ειδικά μετά την Απελευθέρωση της Αγοράς. Επίσης ένας καινούργιος παίχτης έχει εισέλθει στην αγορά. Το φυσικό αέριο σε υγροποιημένη μορφή(LNG), το οποίο είναι εύκολα μεταféρσιμο από καράβια, έχει αλλάξει τους ρόλους του παιχνιδιού. Η δομή της παραδοσιακής αγοράς φυσικού αερίου έχει πλέον αλλάξει δραματικά. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις καινούργιες συνθήκες με τις οποίες λειτουργεί η αγορά, οι εταιρείες εμπορίας βρίσκονται στη θέση στην οποία πρέπει να αλλάξουν τον τακτικό σχεδιασμό τους. Αρχίζοντας να προσαρμόζονται στο νέο τους ρόλο, οι εταιρείες εμπορίας φυσικού αερίου στοχεύουν στην μεταφορά φυσικού αερίου από τους κύριους αγωγούς ή άλλες πηγές LNG, στον τελικό καταναλωτή. Για να παραμείνουν ανταγωνιστικές και κερδοφόρες, οι εταιρείες πρέπει να βελτιστοποιήσουν τα σχέδια προμηθειών στη βάση διαφορετικών και πολύπλοκων μεταβλητών, συμπεριλαμβανομένων των τρεχουσών τιμών αγοράς.

Αυτή η εργασία δεν είναι εστιασμένη στην ημερήσια λειτουργία της εταιρείας, αλλά προσπαθεί να παρέχει ένα εργαλείο διοίκησης για το τακτικό και στρατηγικό επίπεδο λήψης αποφάσεων. Αυτού του είδους η προσέγγιση καλύπτει την ανάγκη για μια απλοποιημένη ανάλυση διαφορετικών σεναρίων για τα υψηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας της εταιρείας. Γίνεται προσπάθεια να θεμελιώσει τις πιο σημαντικές εξωτερικές παραμέτρους που επηρεάζουν το κόστος προμήθειας και να βρει το ελαχιστοποιημένο ετήσιο κόστος. Εξετάζονται και παρουσιάζονται, τα πλεονεκτήματα που προσφέρονται από την προσέγγιση για ελαχιστοποίηση του κόστους σε μια μεγάλη ποικιλία από σεναρία, όπως στην περίπτωση στην οποία η εταιρεία έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης φυσικού αερίου, τα ετήσια βελτιστοποιημένα σχέδια παραδόσεων, ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση όλων των διαθέσιμων τρόπων μεταφοράς φυσικού αερίου συμπεριλαμβανομένων χερσαίων και υδάτινων δίοδων. Επίσης λαμβάνονται υπ όψιν σεναρία με διαφορετικούς τύπους συμβολαίων που διαχειρίζονται την προμήθεια φυσικού αερίου.

Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία ενός μοντέλου για την βελτιστοποίηση της μηνιαίας λειτουργίας μιας εταιρείας εμπορίας φυσικού αερίου η οποία διατηρεί μονοπωλιακή θέση στην τοπική αγορά. Θα χρησιμοποιηθεί Γραμμικός Προγραμματισμός με μία αντικειμενική συνάρτηση που επιχειρεί να ελαχιστοποιήσει το ετήσιο κόστος προμήθειας φυσικού αερίου. Ο κύριος στόχος αυτού του εργαλείου είναι να προσφέρει μια γενική εικόνα των επιλογών μιας εταιρείας και τις βασικές στρατηγικές που μπορεί να ακολουθηθούν μέσω διαφόρων σεναρίων. Τέλος για την υποστήριξη του μοντέλου προτείνεται η χρήση μοντέλων προβλέψεων με την αξιοποίηση ιστορικών δεδομένων παραγγελιών φυσικού αερίου.

### Λέξεις κλειδιά

Προμήθεια LNG, Φυσικό Αέριο, Βελτιστοποίηση, Συστήματα Λήψεων Αποφάσεων, Πρόβλεψη, Μοντέλα Χρονοσειρών

## **Abstract**

In today's rapidly changing world, the development of suitable and specialized Decision Support Systems is needed more than ever. This need is even more conspicuous in the natural gas market since the Deregulation and Pipeline Unbundling. Also a new player has entered the market. The LNG easily transferred by ships, has changed the rules of the game. The traditional natural gas market structure is now changed dramatically. Taking into consideration these new market conditions, distribution companies have to adjust their tactical planning. Getting used to their new role, Distribution companies focus on the delivery of natural gas from the major pipelines or other LNG sources, to the end user. To remain competitive and profitable Distribution companies have to optimize their supply plans based on different and complicated variables including current market prices.

This paper is not focused on the day to day company's operation, but is trying to provide a managerial tool for the tactical and strategic decision making level. This approach meets the need for a simplified analysis of different scenarios for the higher levels in an organization's hierarchy. We are trying to establish the most influential external variables that influence the supply cost and find the minimized yearly cost. Benefits offered by this approach for cost minimization in a variety of business scenarios, such as the case where the company can hold some amount of gas in storage, the optimized annual delivery plans, planning and optimization of all modes of transportation including pipeline and sea, are studied and presented. Also scenarios with different types of contracts to manage the natural gas supply, are also taken into consideration.

The main purpose of this study is to develop an optimization model for the monthly operation of a natural gas Distribution company that holds a monopolist position in a local market. We are going to use Linear Programming with an objective function that seeks to minimize the yearly gas supply costs. This tool has as its main goal is to provide a general view of the company's options and the basic strategies that can be followed through different scenarios. Finally, for the support of this model they are suggested several forecasting methods, using historic data of natural gas monthly supplies.

## **KEYWORDS**

LNG supply, Natural Gas, Optimization, Decision Support Systems, Forecasting,

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου λήψεων αποφάσεων για μια εταιρεία προμήθειας και εμπορίας φυσικού αερίου.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής ήταν ο Καθηγητής κ. Ι. Ψαρράς, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεση αυτής και τη δυνατότητα που μου δόθηκε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Θα ήθελα τέλος, να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας και υποψήφια διδάκτορα Σ. Ανδρουλάκη για την πολύτιμη υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Χατζηθανάσης Εμμανουήλ

Απρίλιος 2014

## Table of Contents

1	Εισαγωγή .....	10
1.1	1.1. Αντικείμενο και Στόχος Διπλωματικής Εργασίας .....	10
1.2	Φάσεις Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας .....	11
1.3	Δομή Διπλωματικής Εργασίας .....	13
2	Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου .....	15
2.1	Περιορισμοί Δυναμικότητας .....	17
2.2	Ανάπτυξη του ΕΣΦΑ .....	18
2.3	Προμήθεια Φυσικού Αερίου .....	19
2.4	Μακροχρόνιες συμβάσεις προμήθειας: .....	19
2.5	Trans Adriatic Pipeline (TAP) .....	20
2.6	Ζήτηση Φυσικού Αερίου .....	21
2.7	Ευρωπαϊκή και Ελληνική Νομοθεσία.....	24
3	Τεχνικές Προβλέψεων .....	26
3.1	Μέθοδοι Εξομάλυνσης και Πρόβλεψης.....	26
3.2	Πρότυπα Χρονοσειρών.....	30
3.3	Μέθοδοι Αποσύνθεσης.....	31
3.4	Κινητοί Μέσοι Όροι.....	34
3.4.1	Απλός κινητός μέσος όρος .....	34
3.4.2	Σταθμισμένος Κινητός Μέσος όρος .....	37
3.5	Μέθοδοι Εκθετικής Εξομάλυνσης.....	37
3.5.1	Μοντέλο Σταθερού Επιπέδου (Simple Exponential Smoothing) .....	38
3.5.2	Μοντέλο γραμμικής τάσης (Holt Exponential Smoothing) .....	39
3.6	Σχετική Επιστημονική Βιβλιογραφία.....	40
4	Γραμμικός Προγραμματισμός .....	41
4.1	Διατύπωση προβλημάτων γ.π.....	42
4.2	Κανονική μορφή .....	44
4.3	Παράδειγμα επίλυσης προβλήματος με τη χρήση γραμμικού προγραμματισμού	44
4.4	Σχετική Επιστημονική Βιβλιογραφία.....	48
5	Μοντελοποίηση.....	50
5.1	Ο ρόλος της εταιρείας .....	50
6	Μοντέλα Προβλέψεων.....	51
6.1	Η γλώσσα R.....	51
6.2	Παρουσίαση Δεδομένων.....	53



6.3	Αποσύνθεση Χρονοσειράς .....	57
6.3.1	Μέθοδος κινητών μέσων όρων.....	57
6.3.2	Μέθοδος Αποσύνθεσης .....	59
6.4	Πρόβλεψη με χρήση της μεθόδου SES .....	63
6.5	Πρόβλεψη με χρήση της μεθόδου Holt .....	68
7	Συμπεράσματα και προοπτικές.....	75
7.1	Συμπεράσματα και προοπτικές στη μοντελοποίηση με χρήση γραμμικού προγραμματισμού.....	75
7.2	Συμπεράσματα και προοπτικές στη μοντελοποίηση με χρήση μοντέλων πρόβλεψης .....	76

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 1.1. Αντικείμενο και Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

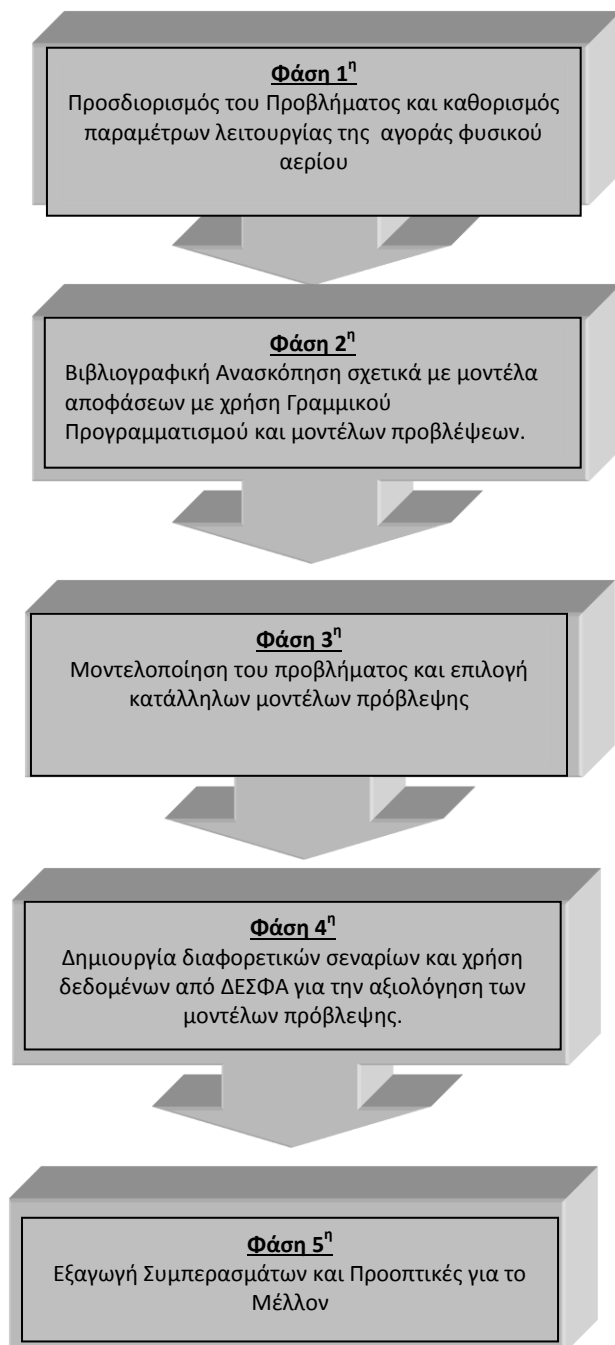
Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης του τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Απόφασης της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ). Η ανάθεση του θέματος έγινε από τον κ. Ι. Ψαρρά, Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ του ΕΜΠ.

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η αντιμετώπιση προβλημάτων που αντιμετωπίζουν σε επίπεδο τακτικού και στρατηγικού σχεδιασμού εταιρείες εμπορίας φυσικού αερίου. Ειδικά στον Ελληνικό χώρο τα προβλήματα αυτά παραπέμπουν σε αχαρτογράφητα σημεία, μιας και οι αλλαγές που συντελούνται στην αγορά λόγω της απορρύθμισης, καθώς και οι δραστικές αλλαγές που συντελούνται στον γενικότερο γεωγραφικό χώρο των Βαλκανίων και της Μέσης Ανατολής στον τομέα της ενέργειας και ειδικότερα στην μεταφορά του φυσικού αερίου, είναι πρωτόγνωρες και ακόμα η αγορά βρίσκεται σε φάση δομικών δραστικών αλλαγών και μεταρρυθμίσεων. Στην φάση αυτή και με πολλές παραμέτρους να επηρεάζουν τις αποφάσεις γίνεται όλο και πιο έντονη η ανάγκη για την εκπόνηση Συστημάτων Λήψης Αποφάσεων, που παρέχουν στα στελέχη τέτοιου είδους εταιρειών δυνατότητα εξορθολογισμού των αποφάσεων τους αλλά και να αξιοποίησης των ευκαιριών που τους παρέχονται πλέον από την ελεύθερη αγορά.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να προσφέρει ένα μοντέλο λήψης αποφάσεων για μια εταιρεία εμπορίας και διάθεσης φυσικού αερίου. Σε αυτή την μοντελοποίηση γίνεται μια προσπάθεια να καθοριστούν οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν τις αποφάσεις για την μηνιαία προμήθεια φυσικού αερίου. Στην συνέχεια με τη χρήση της αντικειμενικής συνάρτησης κόστους και της ελαχιστοποίησης της με χρήση Γραμμικού προγραμματισμού, προτείνεται η βέλτιστη μηνιαία προμήθεια φυσικού αερίου για την εταιρεία. Επίσης λόγω του τακτικού επιπέδου των αποφάσεων αυτών, προτείνεται και η χρήση μοντέλων πρόβλεψης ζήτησης Φυσικού Αερίου έτσι ώστε οι παραπάνω αποφάσεις να μπορούν να εξαχθούν από την χρήση όσο πιο κοντά στην πραγματικότητα της αγοράς, δεδομένων.

## 1.2 Φάσεις Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας και η πορεία που ακολουθήθηκε αναλύεται στις φάσεις που παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



## Εικόνα 1.1 Φάσεις εκπόνησης διπλωματικής εργασίας

### **Φάση 1η: Προσδιορισμός του Προβλήματος και καθορισμός παραμέτρων λειτουργίας της αγοράς φυσικού αερίου**

Στην πρώτη φάση της διπλωματικής μελετήθηκε ο τρόπος λειτουργίας και το θεσμικό πλαίσιο τόσο της αγοράς Φυσικού Αερίου τόσο της Ελλάδας όσο και άλλων χωρών.

### **Φάση 2<sup>η</sup>: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση σχετικά με μοντέλα αποφάσεων με χρήση Γραμμικού Προγραμματισμού και μοντέλων προβλέψεων**

Σε αυτή τη φάση πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα και αναζήτηση στον παγκόσμιο ιστό για τη συλλογή πληροφοριών και στοιχείων σχετικών με το θέμα της διπλωματικής εργασίας. Ειδικότερα μελετήθηκαν έρευνες στη χρήση μοντέλων γραμμικού προγραμματισμού στην παγκόσμια βιβλιογραφία εστιασμένες στην αγορά φυσικού αερίου όπως και στην αναζήτηση κατάλληλων μοντέλων πρόβλεψης ζήτησης φυσικού αερίου σε διαφορετικές αγορές ανά την υφήλιο.

### **Φάση 3η: Μοντελοποίηση του προβλήματος και επιλογή κατάλληλων μοντέλων πρόβλεψης**

Στην τρίτη φάση καθορίζονται οι βασικοί παράμετροι και τρόποι λειτουργίας της ‘φανταστικής’ εταιρείας που εξετάζουμε και γίνεται η μοντελοποίηση. Επίσης καθορίζονται τα μοντέλα πρόβλεψης που θα αξιοποιηθούν και θα εξετασθούν.

### **Φάση 4η: Δημιουργία διαφορετικών σεναρίων και χρήση δεδομένων από ΔΕΣΦΑ για την αξιολόγηση των μοντέλων πρόβλεψης.**

Με βάση τα δεδομένα ζήτησης φυσικού αερίου την περίοδο 2008-2011 όπως αυτά παρέχονται από τον ΔΕΣΦΑ γίνεται η αξιολόγηση καταλληλότητας μεταξύ των μοντέλων πρόβλεψης που επιλέχθηκαν σε προηγούμενη φάση. Επίσης επιλέγονται διάφορα σενάρια με διαφορετικά δεδομένα για την αξιολόγηση της μοντελοποίησης.

### **Φάση 5η: Εξαγωγή Συμπερασμάτων και Προοπτικές για το Μέλλον**

Στην τελευταία φάση εξήχθησαν τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παραπάνω αξιολόγηση των μοντέλων και παρουσιάστηκαν προοπτικές ανάπτυξης αυτών των μεθόδων στο μέλλον .

### **1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας**

Αρχικά παρουσιάζεται η περίληψη και ο πρόλογος της εργασίας. Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας περιεχομένων όπου παρουσιάζεται συνοπτικά η δομή των κεφαλαίων που απαρτίζουν την παρούσα εργασία.

#### **Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή**

Παρουσιάζεται συνοπτικά ο στόχος και το αντικείμενο της εργασίας, οι φάσεις εκπόνησής της και το περιεχόμενο κάθε κεφαλαίου.

#### **Κεφάλαιο 2: Η Ελληνική Αγορά Φυσικού Αερίου**

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μια συνοπτική παρουσίαση της Ελληνικής αγοράς φυσικού αερίου. Εξετάζονται οι θεσμοί και οι κανόνες που διέπουν την αγορά, οι εμπλεκόμενοι φορείς καθώς και οι υπάρχουσες υποδομές. Επίσης εξετάζονται ιστορικά δεδομένα ζήτησης και ποιοτικά χαρακτηριστικά της ελληνικής αγοράς.

#### **Κεφάλαιο 3: Παρουσίαση Μεθόδων Προβλέψεων**

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή προβλέψεων. Παρουσιάζεται η θεωρητική τους βάση, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Κυριότερα περιγράφονται οι μέθοδοι αποσύνθεσης που θα χρησιμοποιηθούν για την αποσύνθεση των αυθεντικών δεδομένων. Τέλος παρουσιάζονται τα μοντέλα SES ΚΑΙ Holt που θα χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη.

#### **Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία μοντελοποίησης προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού.**

Το τέταρτο κεφάλαιο δίνει το θεωρητικό υπόβαθρο και μια εισαγωγή στον γραμμικό προγραμματισμό. Προτείνει τα βήματα για την ορθή μοντελοποίηση ενός προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού. Στην συνέχεια παρατίθεται παράδειγμα που επεξηγεί την παραπάνω μεθοδολογία και τον τρόπο που αυτή αξιοποιείται.

#### **Κεφάλαιο 5: Μοντελοποίηση Προβλήματος**

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η μοντελοποίηση του προβλήματος και οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο διαφορετικά σενάρια με αλλαγή παραμέτρων για καλύτερη κατανόηση του προβλήματος και της λειτουργίας του μοντέλου.

## **Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα Μοντέλων Προβλέψεων**

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μοντέλων πρόβλεψης που επιλέχθησαν πάνω στα δεδομένα ζήτησης φυσικού αερίου στην Ελλάδα την περίοδο 2008-2011 και γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με βάση τους δείκτες σφάλματος του κάθε μοντέλου αλλά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών.

## **Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και προοπτικές**

Στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζονται συμπεράσματα με βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν στα παραπάνω κεφάλαια. Επίσης παρουσιάζονται προοπτικές ανάπτυξης και επέκτασης αυτών των μεθόδων σε μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες καθώς και χρήση εναλλακτικών μεθόδων.

## 2 Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου

Το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου (ΕΣΜΦΑ) περιλαμβάνει τα κάτωθι στοιχεία:

- Τον κεντρικό αγωγό μεταφοράς υψηλής πίεσης που συνδέει τα ελληνο-βουλγαρικά σύνορα με το Πάτημα Ελευσίνας συνολικού μήκους 512 km.
- Τους αγωγούς που ενώνουν τις διάφορες περιοχές της χώρας με τον κεντρικό αγωγό.
- Τον κλάδο που ενώνει τον κεντρικό αγωγό με τα ελληνοτουρκικά σύνορα.
- Την εγκατάσταση Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στη νήσο Ρεβυθούσα.

Το Φυσικό Αέριο στην αέρια μορφή του εισέρχεται στο σύστημα από 3 διαφορετικά σημεία εισόδου:

- Σιδηρόκαστρο (Σύνορα Ελλάδος-Βουλγαρίας)
- Κήποι Έβρου (Σύνορα Ελλάδος-Τουρκίας)
- Αγία Τριάδα (Απέναντι από τη νήσο Ρεβυθούσα) (ΔΕΣΦΑ, Το Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου, 2014)



Εικόνα 2.1 Σταθμός Σιδηροκάστρου (ΔΕΣΦΑ, Μελέτη Ανάπτυξης ΕΣΦΑ 2013-2022, 2012)



Εικόνα 2.2 Σταθμός Κήποι Έβρου (ΔΕΣΦΑ, Μελέτη Ανάπτυξης ΕΣΦΑ 2013-2022, 2012)



Εικόνα 2.3 Σταθμός Ρεθυθούσας (ΔΕΣΦΑ, Μελέτη Ανάπτυξης ΕΣΦΑ 2013-2022, 2012)

Η δυναμικότητα καθενός από τα παραπάνω σημεία εισόδου φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.1 Δυναμικότητα Σημείο Εισόδων ( Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2009)

Σημείο Εισόδου	Χωρητικότητα(2008)	Μελλοντική (Μετά από αναβάθμιση)	Δυναμικότητα (bcm/έτος)
Σιδηρόκαστρο	$437 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{h}$	$660 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{h}$	5,2
Κήποι Έβρου	$856 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{h}$		6,7
Αγία Τριάδα	$260 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{h}$	$580 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{h}$	4,6

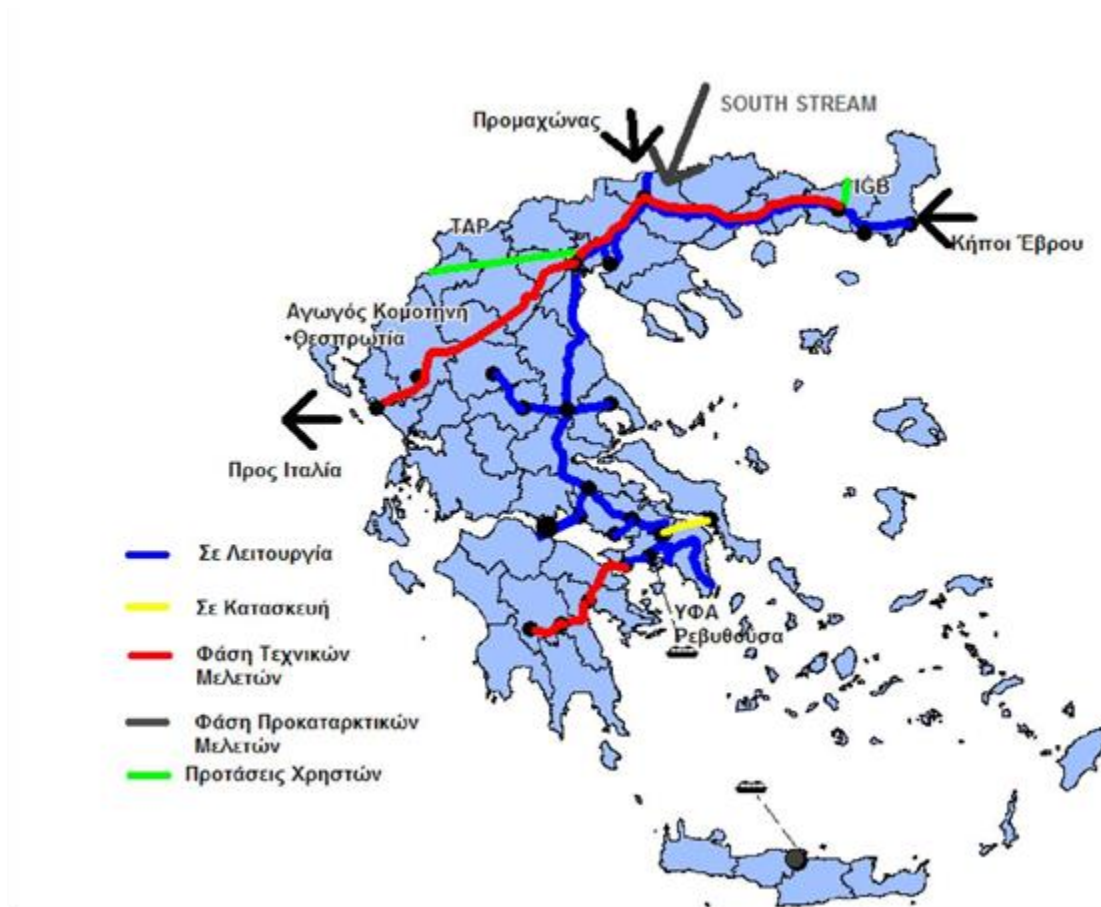
#### Ρεθυθούσα

Η αποθήκη Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στη νήσο Ρεθυθούσα αποτελείται από τις κάτωθι εγκαταστάσεις:

- Δύο δεξαμενές αποθήκευσης συνολικής χωρητικότητας  $135.000 \text{ m}^3$  υγροποιημένου φυσικού αερίου.
- Διατάξεις αεριοποίησης του υγροποιημένου φυσικού αερίου συνολικής δυναμικότητας περίπου  $14$  εκατομμύρια  $\text{Nm}^3$  /ημέρα.
- Εγκαταστάσεις που επιτρέπουν την εκφόρτωση πλοίων με μέγιστο ολικό μήκος  $290\text{m}$ . Ουσιαστικά ο περιορισμένος αποθηκευτικός χώρος καθιστά απαγορευτική την χρήση δεξαμενοπλοίων χωρητικότητας μεγαλύτερης των  $90000 \text{ m}^3$ .
- Δίδυμο υποθαλάσσιο αγωγό μήκους  $600\text{m}$  και διαμέτρου  $24''$  που συνδέει τον σταθμό με το σύστημα μεταφοράς.
- Αεριοποιητές Θαλάσσης (Open Rack Vaporizers - ORV) και Αεριοποιητές Καύσης (Submerged Combustion Vaporizers - SCV) συνολικής δυναμικότητας συνεχούς λειτουργίας  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  και  $1250 \text{ m}^3/\text{h}$  αν χρησιμοποιηθούν και εφεδρικοί αεριοποιητές. (ΔΕΣΦΑ, Μελέτη Ανάπτυξης ΕΣΦΑ 2013-2022, 2012) ( Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2009)



Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται το Δίκτυο Φυσικού αερίου και οι μελλοντικές επεκτάσεις του.



Εικόνα 2.4 Εθνικό Δίκτυο Φ.Α. και μελλοντικές Επεκτάσεις (ΔΕΣΦΑ, Το Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου, 2014)

## 2.1 Περιορισμοί Δυναμικότητας

Η ποσότητα που δύναται να παραδοθεί στην Ελλάδα σε ημερήσια βάση δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 11.5 εκατομμύρια  $\text{Nm}^3$  το οποίο μεταφράζεται σε 3.8 bcm ετησίως (Bulgartransgas, πηγή).

Το σημείο εισόδου Αγία Τριάδα τροφοδοτείται αποκλειστικά από το σταθμό αεριοποίησης υγροποιημένου φυσικού αερίου της νήσου Ρεβυθούσα, ως εκ τούτου κληρονομεί τους περιορισμούς του σταθμού. Ο βασικός περιορισμός της Ρεβυθούσας είναι ο μικρός αποθηκευτικός χώρος απαιτεί τη συχνή άφιξη πλοίων μικρής και μεσαίας χωρητικότητας ( $40000 \text{ m}^3$ ,  $75000 \text{ m}^3$ ).

Με βάση τους περιορισμούς αυτούς προκύπτει ο παρακάτω ο πίνακας εκτιμώμενης δυναμικότητας μεταφοράς φυσικού αερίου προς το σύστημα μεταφοράς. (ΔΕΣΦΑ, Μελέτη Ανάπτυξης ΕΣΦΑ 2013-2022, 2012)

Πίνακας 2.2 Εκτιμώμενη Δυναμικότητα Σημείων Εισόδου ( Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2009)

Σημείο Εισόδου	Δυναμικότητα (bcm/έτος)
Σιδηρόκαστρο	3,8
Κήποι Έβρου	0,7
Αγία Τριάδα	2,0
Σύνολο	6,5

## 2.2 Ανάπτυξη του ΕΣΦΑ

Με βάση την Υ.Α. Δ1/Γ/1588 (ΦΕΚ Β 60/24.01.2007) εγκρίθηκε ένας κατάλογος με έργα ανάπτυξης του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Φ.Α. Πολλά από τα έργα αυτά έχουν ήδη ολοκληρωθεί με σημαντικότερα τα κάτωθι:

- Η αναβάθμιση της Ρεβυθούσας που ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2008. Σημαντική εξέλιξη ήταν ότι κατά τη διάρκεια της Ρωσο-Ουκρανικής κρίσης του 2009 οι νέες δυναμικότητες εγκαταστάσεις κατάφεραν να καλύψουν εξ ολοκλήρου την ελληνική αγορά.
- Εγκατάσταση σταθμού συμπίεσης φυσικού αερίου στη Ν. Μεσήμβρια. Εξαιρετικά σημαντικό έργο η ολοκλήρωση του οποίου σχεδιάστηκε έτσι ώστε να αυξηθούν σημαντικά οι ποσότητες μεταφοράς από τη Βόρεια στη Νότιο Ελλάδα εκεί που εμφανίζεται και η μεγαλύτερη ζήτηση ιστορικά.
- Επέκταση του δικτύου μεταφοράς υψηλής πίεσης προς Νότο και συγκεκριμένα προς την περιοχή των Μεγάρων-Αγ. Θεοδώρων και τις εγκαταστάσεις της βιομηχανίας «ΜΟΤΟΡ ΟΪΛ ΕΛΛΑΣ - ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑ ΚΟΡΙΝΘΟΥ Α.Ε.». Ένα έργο πολύ σημαντικό και με έντονα αναπτυξιακές προοπτικές.
- Επέκταση του δικτύου μεταφοράς υψηλής πίεσης προς το Αλιβέρι Ευβοίας που περιλαμβάνει χερσαίο τμήμα μέχρι τις ακτές του Ευβοϊκού, στη συνέχεια υποθαλάσσιο μέχρι τις ακτές και πολύ μικρό χερσαίο που καταλήγει στο σταθμό της ΔΕΗ στο Αλιβέρι.
- Μεγάλες επεκτάσεις Μέσης Πίεσης προς επαρχιακές πόλεις όπως Κατερίνης, Σερρών, Αλεξανδρούπολης κτλ. (ΔΕΣΦΑ, Μελέτη Ανάπτυξης ΕΣΦΑ 2013-2022, 2012) ( Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2009)

## 2.3 Προμήθεια Φυσικού Αερίου

Σήμερα μοναδικός προμηθευτής Φυσικού Αερίου είναι η ΔΕΠΑ Α.Ε. ή οποία τροφοδοτεί την Ελληνική Αγορά μέσω τριών Μακροχρόνιων Συμβάσεων που έχει υπογράψει για την εισαγωγή αερίου από Ρωσία, Αλγερία, Τουρκία.

Στο παρακάτω γράφημα αποτυπώνονται οι διαθέσιμες ποσότητες φυσικού αερίου μέσω μακροχρόνιων συμβάσεων προμήθειας. ( Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2009)



Εικόνα 2.5 Διαθέσιμες Ποσότητες Φυσικού Αερίου ( Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2009)

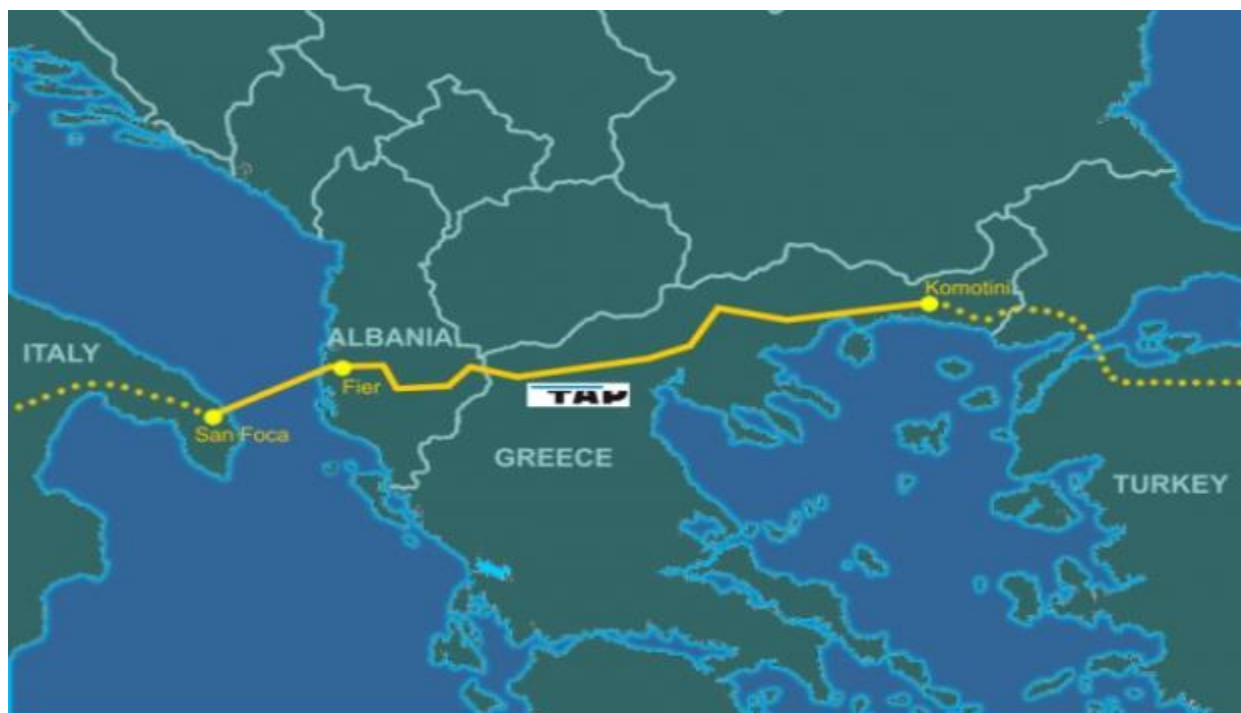
## 2.4 Μακροχρόνιες συμβάσεις προμήθειας:

- Με τη ρωσική Gazprom που λήγει το 2016. Η Gazprom είναι ο βασικός προμηθευτής της εταιρείας παρέχοντας μέχρι και 2.8 δις κυβικά μέτρα αερίου ετησίως. Σε σύνολο 4.2 δις κυβικών μέτρων αερίου ετησίως που προέρχονται από τα συμβόλαια η Gazprom καλύπτει κοντά στο 67%.
- Με την τουρκική Botas μέχρι το 2021. Η Botas καλύπτει σύμφωνα με εκτιμήσεις το 17% των ετήσιων αναγκών.
- Με την αλγερινή Sonatrach μέχρι το 2021. Η Sonatrach καλύπτει σύμφωνα με εκτιμήσεις το 17% των ετήσιων αναγκών. Εδώ είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η Sonatrach παρέχει υγροποιημένο φυσικό αέριο.
- Πρόσφατα υπογράφηκε συμβόλαιο με την αζέρικη Socar για την προμήθεια 1 δις κυβικών μέτρων φυσικού αερίου σε τιμές δυτικής Ευρώπης μέσω του αγωγού TAP. Η ροή του αερίου αναμένεται να ξεκινήσει το 2019 και θα έχει διάρκεια 25 ετών. ( Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2009) (ΔΕΣΦΑ, Το Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου, 2014)

## 2.5 Trans Adriatic Pipeline (TAP)

Ένα κομβικής σημασίας έργο είναι ο Αδριατικός αγωγός που θα μεταφέρει φυσικό αέριο από την περιοχή της Κασπίας Θάλασσας στην Ευρώπη μέσω Ελλάδας, Ιταλίας και Αλβανίας. Τη μετοχική βάση της εταιρείας TAP AG αποτελούν οι BP (20%), SOCAR (20%), Statoil (20%), Fluxys (16%), Total (10%), E.ON (9%) και Αχρo (5%). (Trans Adriatic Pipeline AG, 2014)

Ο TAP προορίζεται να μεταφέρει φυσικό αέριο από το κοίτασμα Shah Deniz II στο Αζερμπαϊτζάν, μέσω της Ελλάδας και της Αλβανία και διασχίζοντας την Αδριατική στη νότια Ιταλία και στη Δυτική Ευρώπη. Το έργο έχει σχεδιαστεί με ετήσια δυναμικότητα της τάξης των 10 δις κυβικών μέτρων φυσικού αερίου.

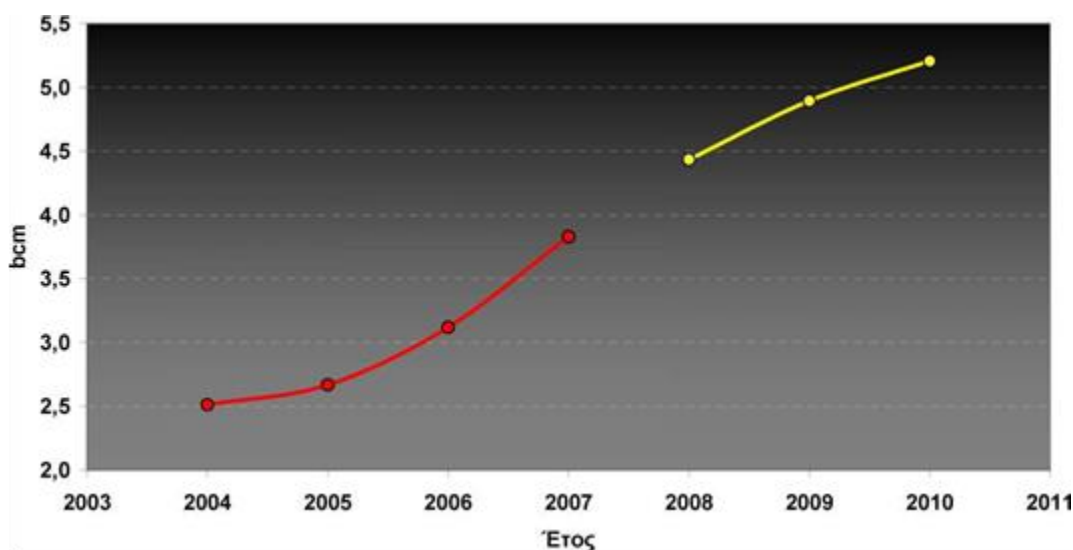


Εικόνα 2.6 Η διαδρομή του Αγωγού TAP (Υpodomes.gr, 2013)

Σε ότι αφορά στα σημεία σύνδεσης του αγωγού με το υπάρχον εθνικό σύστημα μεταφοράς αερίου η συμφωνία προβλέπει ότι το Ελληνικό Δημόσιο θα έχει δικαίωμα να υποδείξει μέχρι 3 διαφορετικά σημεία διασύνδεσης. Η συμφωνία του Ελληνικού Δημοσίου με την εταιρεία TAP έχει χρονική διάρκεια 25 χρόνων, ενώ η συνολική προστιθέμενη αξία του έργου για την ελληνική οικονομία εκτιμάται από το IOBE στα...Το IOBE (IOBE, 2011) τοποθετεί στα 33-36 δις ευρώ τη συνολικά προστιθέμενη αξία για την ελληνική οικονομία, ποσό που αναλύεται στα 310-430 εκατ. Ευρώ ετησίως. (Energypress.gr, 2013)

## 2.6 Ζήτηση Φυσικού Αερίου

Η ζήτηση Φυσικού Αερίου την περίοδο 2001-2007 παρουσίασε αυξητικές τάσεις με ετήσιο ρυθμό άνω του 12%. το 2007 αποτέλεσε έτος σταθμό αφού για πρώτη φορά η ζήτηση ξεπέρασε τη συμβολαιοποιημένη ποσότητα των μακροχρόνιων συμβάσεων προμήθειας φυσικού Αερίου της ΔΕΠΑ Α.Ε. Από το 2009 και μετά αρχίζει και φαίνεται η κάμψη στη ζήτηση λόγω της ύφεσης που αρχίζει να πλήττει την ελληνική οικονομία. Από το 2008 οι μελέτες των ανεξάρτητων ελληνικών αρχών αλλά και του ίδιου του διαχειριστή εξέφραζαν την αισιοδοξία τους για συνέχιση αυτής της εκρηκτικής ανόδου της ζήτησης. ( Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2009)



Εικόνα 2.7 Πρόβλεψη Ζήτησης Φυσικού Αερίου ( Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2009)

Είναι ευδιάκριτη η αισιοδοξία που επικρατούσε την συγκεκριμένη περίοδο. Η αισιοδοξία αυτή είχε τις βάσεις της σε δύο βασικούς άξονες ανάπτυξης:

- Τη ραγδαία ανάπτυξη των υφιστάμενων ΕΠΑ και τη διαφορά της τιμής πετρελαίου θέρμανσης-φυσικού αερίου που υποδείκνυε μία αλλαγή της τάσης των οικιακών καταναλωτών προς τη χρήση φυσικού αερίου.
- Την αναμενόμενη ένταξη στο σύστημα μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με χρήση φυσικού αερίου (όπως η Μονάδα Η/Π Αλιβέρι V της τάξης των 400MW περίπου, της Μονάδας Η/Π της Μεγαλόπολης της τάξης των 850MW περίπου κ.α.)

Από το 2009 η οικονομική ύφεση επηρεάζει αρνητικά την ζήτηση η οποία επιστρέφει στα επίπεδα του 2006. Ως εκ τούτου κρίθηκε επιβεβλημένη ανάγκη η εκπόνηση μιας νέας μελέτης με βάση τα νέα δεδομένα που ισχύουν αυτή τη στιγμή στην ελληνική αγορά. Σε μελέτες που ακολούθησαν τη νέα κατάσταση η εξέλιξη της ζήτησης για να μελετηθεί, χωρίστηκε σε δύο ανεξάρτητα μέρη. Στο μέρος που αφορά στη ζήτηση της ηλεκτροπαραγωγής και στο μέρος που αφορά λοιπούς πελάτες, δηλαδή

Βιομηχανικούς και μεμονωμένους πελάτες καθώς και τις εταιρείες Παροχής Αερίου (ΕΠΑ). (ΔΕΣΦΑ, Μελέτη Ανάπτυξης ΕΣΦΑ 2013-2022, 2012)

- Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας

Ο παρακάτω πίνακας αποτυπώνει την πρόβλεψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για την περίοδο 2013-2022.

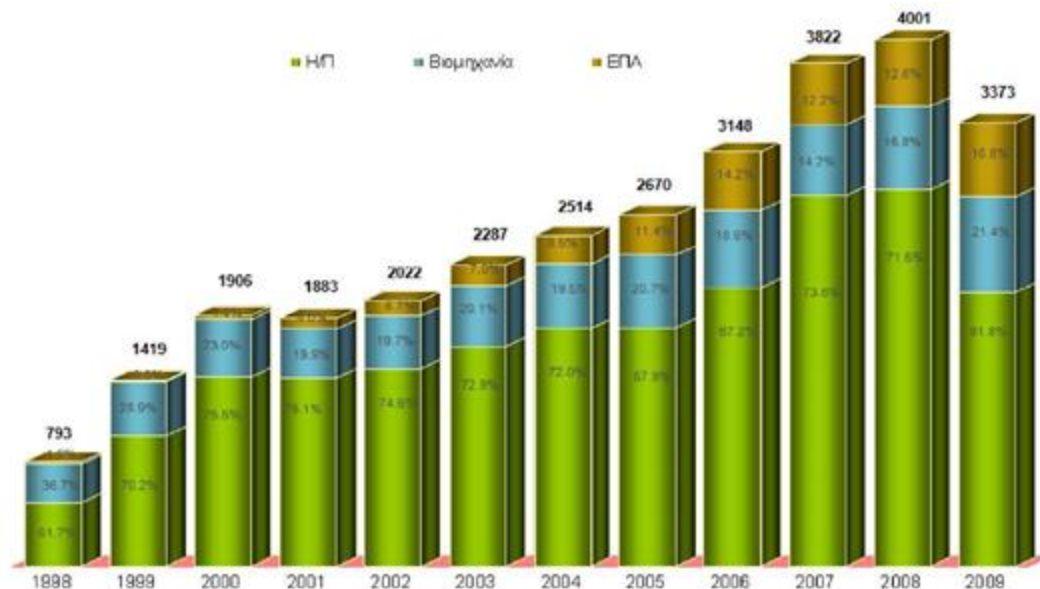
**Πίνακας 2.3 Πρόβλεψη Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας για την περίοδο 2013-2022 (ΔΕΣΦΑ, Μελέτη Ανάπτυξης ΕΣΦΑ 2013-2022, 2012)**

Έτος	Μεταβολή ΑΕΠ (σταθερές τιμές) %	Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας (ετήσια μεταβολή) %	Εκτίμηση Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας (GWh)
2013	-1,3	-0,14	52.545,7
2014	1,5	1,3	53.229,2
2015	2,3	1,99	54.290,4
2016	3	2,6	55.702,5
2017	3,3	2,86	57.294,1
2018	3,3	2,86	58.931,3
2019	3,3	2,86	60.615,3
2020	3,3	2,86	62.347,3
2021	3,3	2,86	64.128,9
2022	3,3	2,86	65.961,4

Στον παραπάνω Πίνακα η Μεταβολή του ΑΕΠ προκύπτει από τις προβλέψεις που υιοθετήθηκαν από το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο και από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ).

- Ενεργειακό μείγμα για την Ηλεκτροπαραγωγή

Στο παρακάτω διάγραμμα, αποτυπώνεται η εξέλιξη στη ζήτηση φυσικού αερίου στην Ελλάδα ανά τομέα κατανάλωσης (σε εκατ. Nm<sup>3</sup>).



**Εικόνα 2.8** Εξέλιξη στη ζήτηση φυσικού αερίου στην Ελλάδα ανά τομέα κατανάλωσης (ΔΕΣΦΑ, Μελέτη Ανάπτυξης ΕΣΦΑ 2013-2022, 2012)

Πρώτο βασικό συμπέρασμα που εξάγεται από το παραπάνω γράφημα είναι η κυρίαρχη θέση των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είτε της ΔΕΗ Α.Ε. είτε ιδιωτών παραγωγών. Αντίθετα εντυπωσιακά μικρότερο είναι το ποσοστό ζήτησης Φυσικού Αερίου από τις κατά τόπους ΕΠΑ, το οποίο όμως φαίνεται σταθερά αυξανόμενο από το 2002 και μετά.

Σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία προκύπτει ότι για τα έτη 2007 έως και 2011 η συμμετοχή του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται από 18% έως 29%. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία και λαμβάνοντας υπόψη την επίπτωση της εισόδου των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό 20% έως και το 2020, αλλά και την ολοκλήρωση μεγάλων έργων μέχρι το 2020 όπως η ηλεκτρική διασύνδεση των Κυκλάδων και των νησιών του Βορείου Αιγαίου με τον ηπειρωτικό χώρο και φυσικά την επίδραση της οικονομικής επιβράδυνσης σε μακροχρόνιες ενεργειακές επενδύσεις προκύπτει στον παρακάτω Πίνακα ΧΧ η συμμετοχή του φυσικού αερίου στην ηλεκτρική παραγωγή αλλά και η συνολική ζήτηση φυσικού αερίου για την περίοδο 2013-2020.

**Πίνακας 2.4** Συμμετοχή του Φυσικού Αερίου στην παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΙΟΒΕ, 2011)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Φυσικό Αέριο(% ηλεκτροπαραγωγής)</b>	33,26	32,58	35,07	38,38	35,88	36,08	33,61	32,1
<b>Φυσικό Αέριο Συνολικά (GWh)</b>	52.545	53.229	54.290	55.702	57.294	58.931	60.615	62.347



## 2.7 Ευρωπαϊκή και Ελληνική Νομοθεσία

Η Ελληνική αγορά φυσικού αερίου στην Ελλάδα λειτουργεί με βάση τον ν. 3428/2005 περί απελευθέρωσης την αγοράς φυσικού αερίου (ΦΕΚ Α' 313/27.12.2005) ο οποίος ουσιαστικά ενσωματώνει τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπ αριθμόν 2003/55/ΕΚ και 2004/67/ΕΚ. (ΔΕΠΑ, Ευρωπαϊκό Ρυθμιστικό Πλαίσιο, 2014) (ΔΕΠΑ, Λειτουργία Απελευθερωμένης Αγοράς Αερίου, 2014)

- Οδηγία 2003/55/ΕΚ της 26<sup>ης</sup> Ιουνίου 2003 (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2003)

Σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά φυσικού αερίου. Η οδηγία καταργεί την προηγούμενη κοινοτική οδηγία 98/30/ΕΚ. Η κατευθυντήριες της συγκεκριμένης οδηγίας συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία.

➤ Ορίζονται τρεις βασικοί παράγοντες του εθνικού συστήματος μεταφοράς.

1. Επιχείρηση φυσικού αερίου: Το φυσικό ή νομικό πρόσωπο που ασκεί τουλάχιστον μία από τις ακόλουθες δραστηριότητες παραγωγή, διανομή, προμήθεια, αγορά ή αποθήκευση φυσικού αερίου, περιλαμβανομένου του ΥΦΑ και είναι υπεύθυνο για τα εμπορικά και τεχνικά καθήκοντα ή/και τα καθήκοντα συντήρησης τα σχετικά με τις δραστηριότητες αυτές. Στον ορισμό αυτό δεν περιλαμβάνονται οι τελικοί πελάτες.

2. Διαχειριστής δικτύου μεταφοράς: Το φυσικό ή νομικό πρόσωπο που διεκπεραιώνει το έργο της μεταφοράς και είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία, την εξασφάλιση της συντήρησης και στην περίπτωση που αυτό είναι αναγκαίο, την ανάπτυξη του δικτύου μεταφοράς σε μία δεδομένη περιοχή και κατά περίπτωση, των διασυνδέσεων του με άλλα δίκτυα και για τη διασφάλιση της μακρόπνοης ικανότητας του δικτύου να ανταποκρίνεται στην εύλογη ζήτηση μεταφοράς φυσικού αερίου.

3. Διαχειριστής δικτύου διανομής: κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο το οποίο διεκπεραιώνει το έργο της διανομής και είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία, την εξασφάλιση της συντήρησης και, εφ' όσον είναι ανάγκη, την ανάπτυξη του δικτύου διανομής σε μία δεδομένη περιοχή, ενδεχομένως δε και των διασυνδέσεων του με άλλα δίκτυα, καθώς και για τη διασφάλιση της μακρόπνοης ικανότητας του δικτύου να ανταποκρίνεται στην εύλογη ζήτηση διανομής φυσικού αερίου.

➤ Ορίζονται οι υποχρεώσεις παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και προστασίας των πελατών των κρατών μελών. Τα κυριότερα σημεία συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία.

1. Τα κράτη μέλη εφαρμόζουν κατάλληλα μέτρα για την επίτευξη των στόχων της κοινωνικής και οικονομικής συνοχής, της προστασίας του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων, κατά περίπτωση, μέσων για την καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών, επίσης δε του στόχου της ασφάλειας του εφοδιασμού. Τα μέτρα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν ειδικότερα τη χορήγηση κατάλληλων οικονομικών κινήτρων, αξιοποιώντας, ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση, όλα τα υφιστάμενα εθνικά και κοινοτικά μέσα, για τη



συντήρηση και την κατασκευή της αναγκαίας υποδομής δικτύων, συμπεριλαμβανομένου του δυναμικού διασύνδεσης.

2. Σε περίπτωση αιφνίδιας κρίσης στην ενεργειακή αγορά ή όταν απειλούνται η σωματική ακεραιότητα ή η ασφάλεια των προσώπων, των μηχανημάτων ή των εγκαταστάσεων, ή η αρτιότητα του δικτύου, ένα κράτος μέλος μπορεί να λαμβάνει προσωρινώς τα αναγκαία μέτρα διασφάλισης. Τα μέτρα αυτά προκαλούν τις ελάχιστες δυνατές διαταραχές στη λειτουργία της εσωτερικής αγοράς και δεν υπερβαίνουν την έκταση που είναι απολύτως αναγκαία για την αντιμετώπιση των αιφνίδιων δυσχερειών που έχουν προκύψει.

3. Τα κράτη μέλη ορίζουν ένα ή περισσότερα αρμόδια όργανα ως ρυθμιστικές αρχές. Οι εν λόγω αρχές είναι εντελώς ανεξάρτητες από τα συμφέροντα του κλάδου του φυσικού αερίου. Είναι υπεύθυνες, μέσω της εφαρμογής του παρόντος άρθρου, τουλάχιστον για τη διασφάλιση της αμεροληψίας, του ουσιαστικού ανταγωνισμού και της εύρυθμης λειτουργίας της αγοράς.

- Οδηγία 2004/67/ΕΚ

Η συγκεκριμένη οδηγία ορίζει τα επίπεδα ασφάλειας που πρέπει τα κράτη μέλη να τηρούν ως προς τη μεταφορά και διανομή του φυσικού αερίου. Προσθέτει ειδική μέριμνα για τους οικιακούς πελάτες και την προστασία τους σε περίπτωση είτε μερικής διακοπής του εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο είτε σε περιόδους εξαιρετικά υψηλής ζήτησης αερίου. ( Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2009)

Από τα παραπάνω προκύπτει ένα βασικό ολοκληρωμένο σχέδιο της λειτουργίας του Εθνικού συστήματος μεταφοράς φυσικού αερίου. Βασικός άξονας του συστήματος ορίζεται ο διαχειριστής (ΔΕΣΦΑ) ως αποκλειστικά αρμόδιος για την λειτουργία, συντήρηση και ανάπτυξη του συστήματος. Για την γενικότερη παρακολούθηση του συστήματος ορίζεται ανεξάρτητη αρχή με κύριες αρμοδιότητες την εκπόνηση μελετών και την διατύπωση προτάσεων για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος (ΡΑΕ). Το κράτος μέλος με στοχευμένες παρεμβάσεις και με σεβασμό στην ομαλή λειτουργία ορίζει βασικές παραμέτρους λειτουργίας του συστήματος με έμφαση στην προστασία του καταναλωτή, στην ασφάλεια εφοδιασμού, στην διαχείριση κρίσεων και στην τήρηση των προτύπων που ορίζουν οι κοινοτικές οδηγίες. Τέλος αναπόσπαστο κομμάτι του συστήματος είναι οι επιχειρήσεις φυσικού αερίου τόσο σε επίπεδο υψηλής πίεσης, όσο και σε επίπεδο οικιακών πελατών. (ΔΕΠΑ, Λειτουργία Απελευθερωμένης Αγοράς Αερίου, 2014)

### 3 Τεχνικές Προβλέψεων

#### 3.1 Μέθοδοι Εξομάλυνσης και Πρόβλεψης

Ένα από τα πιο θεμελιώδη και συγχρόνως ουσιαστικά συστατικά μια επιτυχημένης επιχείρησης είναι η λειτουργία της πρόβλεψης. Η πρόβλεψη είναι το αρχικό σημείο πριν τον συνολικό σχεδιασμό και προγραμματισμό μιας επιχείρησης. Πρόβλεψη χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς μια επιχείρησης όπως στο σχεδιασμό παραγωγής, πρόβλεψη ζήτησης, σχεδιασμός αποθεμάτων, οικονομικός σχεδιασμός κτλ.

Στο σύγχρονο κόσμο των επιχειρήσεων βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η πολυπλοκότητα των αποφάσεων καθώς και η πολυπλοκότητα των διαφόρων παραγόντων που επιδρούν σε αυτές. Σε αυτό το σύνθετο παγκοσμιοποιημένο περιβάλλον αναδείχθηκε η ανάγκη για πρόβλεψη και εκτίμηση μελλοντικών καταστάσεων. Σύγχρονα συστήματα αποφάσεων δεν νοούνται χωρίς την λειτουργία της πρόβλεψης είτε σαν επικουρικό στοιχείο είτε σαν κομβικό συστατικό.

Η εξέλιξη στον χώρο της έρευνας γύρω από τις μεθόδους πρόβλεψης είναι ραγδαία τα 30 τελευταία χρόνια. Η αναγκαιότητα για λήψεις αποφάσεων σε περιβάλλοντα με αυξημένη αβεβαιότητα οδήγησε τόσο τον επιχειρηματικό όσο και τον ακαδημαϊκό κόσμο να ρίξουν βάρος στον συγκεκριμένο τομέα. Ειδικότερα έκρηξη αυτής της ζήτησης για σε μεγάλο βαθμό ασφαλείς προβλέψεις υπήρξε στις χρηματαγορές και στις αγορές συναλλάγματος.

Διάφορα μοντέλα πρόβλεψης χρησιμοποιούνται σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς. Ενδεικτικά αναφέρονται:

- Τουρισμός
- Μεταφορές και Μετακινήσεις
- Εμπόριο
- Χρηματοοικονομικά
- Περιβάλλον

#### Μέθοδοι Πρόβλεψης

Ένα μοντέλο πρόβλεψης αντιπροσωπεύει την διαδικασία που ακολουθούμε προκειμένου να παραχθούν οι κατάλληλες προβλέψεις. Είναι προφανές ότι κάθε μοντέλο αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τεχνική και για τον λόγο αυτό υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία μοντέλων πρόβλεψης. (Πετρόπουλος & Ασημακόπουλος, 2011)

Οι μέθοδοι πρόβλεψης ζήτησης χωρίζονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες:

- Ποιοτικές Μέθοδοι
- Ποσοτικές Μέθοδοι

Οι ποιοτικές μέθοδοι ή αλλιώς κριτικές προβλέψεις είναι εκτιμήσεις που τα στελέχη που καλούνται να πάρουν αποφάσεις, κάνουν σχετικά με μελλοντικές εξελίξεις. Είναι καθαρά υποκειμενικές προβλέψεις

και είναι προϊόν διαίσθησης, εμπειρίας και ατομικών γνώσεων. Οι κριτικές προβλέψεις πάσχουν λόγω του παράγοντα της προκατάληψης που υπεισέρχεται στην πρόβλεψη. Οι κριτικές προβλέψεις μπορούν να λάβουν υπ όψιν τους έκτακτα γεγονότα ή καταστάσεις που δεν μπορούν να αξιολογηθούν από μαθηματικά μοντέλα, αλλά είναι έμφυτη αδυναμία ή αισιοδοξία ή απαισιοδοξία που κάθε άτομο προσθέτει στην πρόβλεψη.

Η ποιοτική προσέγγιση στην πρόβλεψη μπορεί να γίνει με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ο πιο γνωστός είναι η ευθεία εκτίμηση και πρόβλεψη που κάνουν τα ίδια τα στελέχη μιας επιχείρησης. Πολλές εταιρείες χρησιμοποιούν το λεγόμενο sales-force rolling, δηλαδή αξιοποιεί την εκτίμηση για την πορεία της αγοράς του προσωπικού πωλήσεων που βρίσκεται σε ευθεία σύνδεση με τον τελικό πελάτη. Άλλες μέθοδοι είναι οι έρευνες στο καταναλωτικό κοινό, ή η μέθοδος των Δελφών κ.α.

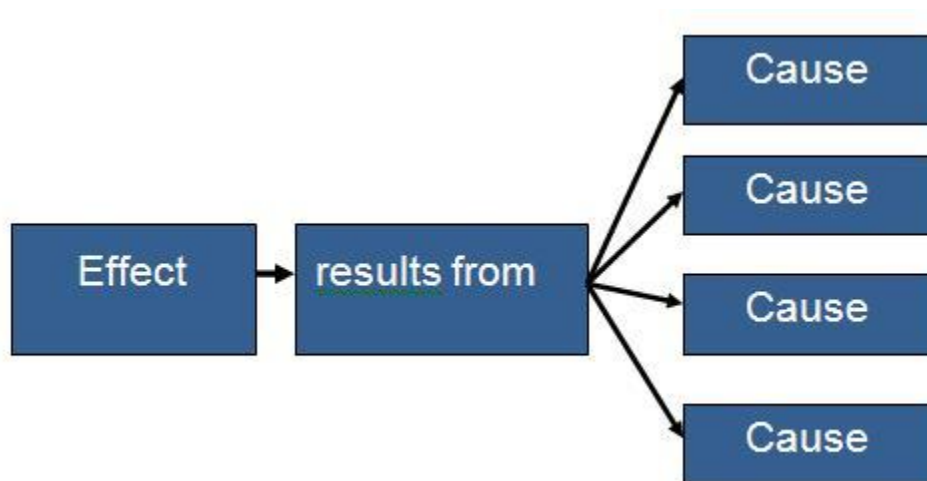
Οι ποσοτικές μέθοδοι χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Αιτιολογικές μέθοδοι
- Μέθοδοι χρονολογικών σειρών

Βασικό στοιχείο των ποσοτικών μεθόδων πρόβλεψης ζήτησης αποτελούν η παρατηρούμενη ζήτηση, το συστημικό μέρος και το τυχαίο μέρος με την σχέση τους να είναι η ακόλουθη : (ΤΕΙ Χαλκίδας, 2011)

#### ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΗ ΖΗΤΗΣΗ= ΣΥΣΤΗΜΙΚΟ ΜΕΡΟΣ + ΤΥΧΑΙΟ ΜΕΡΟΣ

Τα αιτιολογικά μοντέλα (causal models) ουσιαστικά συνδέουν την προς πρόβλεψη μεταβλητή ως συνάρτηση ενός ή περισσοτέρων εξωγενών παραγόντων. Π.χ. η ζήτηση ενός προϊόντος είναι συνάρτηση της τιμής του προϊόντος, των τιμών των ανταγωνιστικών προϊόντων κτλ. Πολύ μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των μοντέλων είναι ότι ουσιαστικά αποσυνθέτουμε την υπό πρόβλεψη μεταβλητή στους παράγοντες που την επηρεάζουν. Έτσι σε ένα υπάρχον σύστημα αποφάσεων καθίσταται εύκολο να γίνουν πολλές δοκιμές έτσι ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός αξιοποίησης αυτών των παραγόντων. Το μεγάλο μειονέκτημα αυτών των μοντέλων είναι η μεγάλη ευαισθησία που παρουσιάζουν σε τυχόν αλλαγές στον σύνδεσμο μεταξύ αίτιου αιτιατού.



### Εικόνα 3.1 Σχέση αιτίου – αιτιατού ( UNM Valencia, 2014)

Από την άλλη πλευρά οι μέθοδοι ανάλυσης χρονοσειρών (time series analysis) αφορούν στην αναγνώριση προτύπων σε δεδομένα με χρονική εξάρτηση και την προέκταση αυτών στο μέλλον. Μια σημαντική παρατήρηση και ίσως η πιο σημαντική στο κομμάτι της αξιοπιστίας των συγκεκριμένων μοντέλων, είναι ότι η εφαρμογή των μοντέλων των χρονοσειρών βασίζεται στην παραδοχή ότι το λανθάνον πρότυπο θα διατηρηθεί σταθερό. Προφανώς αν οι συνθήκες αλλάξουν τότε τα αποτελέσματα του μοντέλου θα τεθούν υπό αμφιβολία. Αυτό είναι και το κυριότερο μειονέκτημα αυτών των μοντέλων, δηλαδή η αδυναμία να συσχετίσει την πρόβλεψη με τις συνθήκες που επηρεάζουν την πρόβλεψη.

Ποιοτικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών

1. Συνιστώσα Τάσης: Επιδεικνύει την μακροπρόθεσμη ανοδική ή καθοδική κατεύθυνση των δεδομένων της χρονοσειράς.
2. Κυκλική Συνιστώσα: Ένας κύκλος δείχνει ένα μακροπρόθεσμο κυματοειδές επαναλαμβανόμενο πρότυπο δεδομένων.
3. Εποχικότητα: Είναι ένα βραχυπρόθεσμο επαναληπτικό πρότυπο δεδομένων
4. Τυχαία Συνιστώσα: Με αυτήν υπολογίζονται οι ακανόνιστες μεταβολές οι οποίες οφείλονται σε πολλούς διαφορετικούς παράγοντες που δεν μπορούν να αιτιολογηθούν. (Bronson & Naadimuthu, 2010, p. 311)

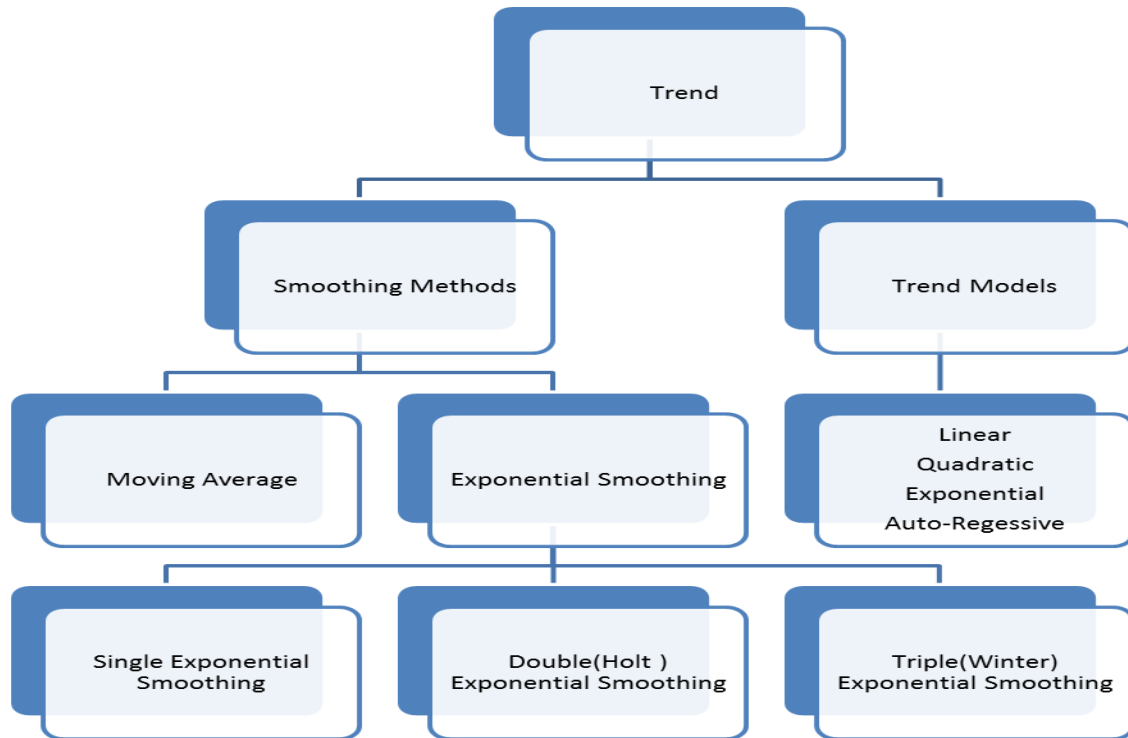
Η επιλογή του κάθε μοντέλου επιλέγεται με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- Περίοδος και ορίζοντας πρόβλεψης
- Επάρκεια Δεδομένων
- Επιζητούμενη ακρίβεια
- Κόστος μεθόδου
- Απλότητα και ευκολία εφαρμογής

Γνωστά και ευρέως διαδεδομένα μοντέλα ποσοτικών μεθόδων προβλέψεων αναφέρονται παρακάτω:

- Μέθοδοι Προεκβολής( Αποσύνθεση Χρονοσειρών):  
Οι μέθοδοι αποσύνθεσης εφαρμόζουν απλές μαθηματικές σχέσεις με σκοπό την απομόνωση των τεσσάρων βασικών συνιστωσών των χρονοσειρών όπως αυτές αναφέρθηκαν παραπάνω.
- Εκθετική Εξομάλυνση:  
Οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης είναι από τις πιο δημοφιλείς και αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1950. Στα συγκεκριμένα μοντέλα η στάθμιση των δεδομένων μειώνεται εκθετικά με το χρόνο, δίνοντας μεγαλύτερη στάθμιση στις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις.
- Σταθμισμένος κινητός μέσος όρος:  
Συνήθως τα πιο πρόσφατα σημεία έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα στον υπολογισμό του κινητού μέσου όρου.

- Μοντέλα Παλινδρόμησης:  
Πρόκειται ουσιαστικά για μια προσαρμογή γραμμικής σχέσης σε συνάρτηση με το χρόνο. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η μέθοδος ελάχιστων τετραγώνων.



Εικόνα 3.2 Μοντέλα ποσοτικών μεθόδων προβλέψεων

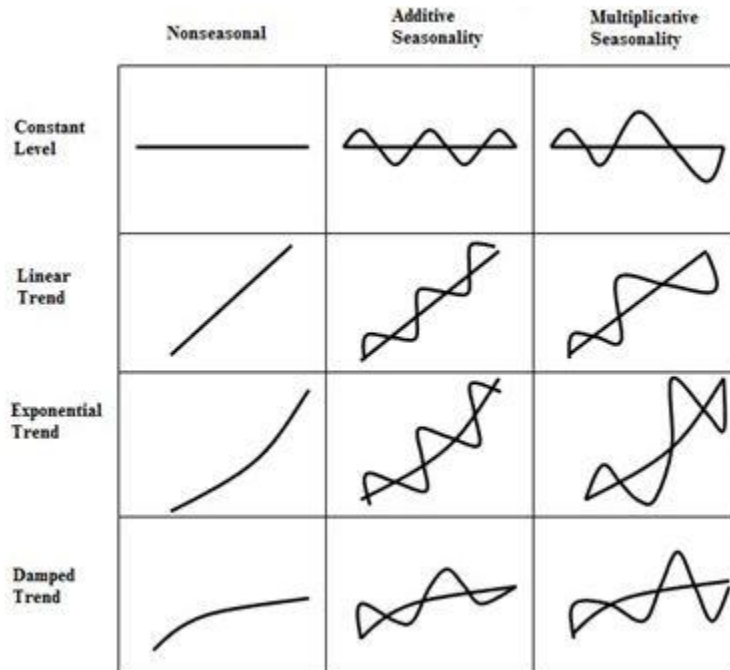
Συμπερασματικά μπορούμε συνοπτικά να παρουσιάσουμε την διάκριση μεταξύ ποιοτικής και ποσοτικής προσέγγισης στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 3.1 Διαφορές μεταξύ ποιοτικής και ποσοτικής προσέγγισης

Περιγραφή	Ποιοτική Προσέγγιση	Ποσοτική Προσέγγιση
<b>Εφαρμογή</b>	Χρησιμοποιείται όταν οι συνθήκες είναι ασαφείς ή έχουμε ελλιπή δεδομένα (π.χ νέες τεχνολογίες, νέα προϊόντα)	Χρησιμοποιείται όταν έχουμε σταθερές συνθήκες και επαρκή ιστορικά δεδομένα
<b>Εκτίμηση</b>	Περιλαμβάνει διαίσθηση και εμπειρία	Περιλαμβάνει ,μαθηματικές τεχνικές
<b>Τεχνικές</b>	Μέθοδος DELPHI Μέθοδος συμβούλιου στελεχών Μοντέλο Lancaster	Μοντέλα Χρονοσειρών  Αιτιοκρατικά μοντέλα

### 3.2 Πρότυπα Χρονοσειρών

Τα ποσοτικά(quantitative) μοντέλα προβλέψεων θεωρούν ότι οι χρονοσειρές ακολουθούν συγκεκριμένα πρότυπα τα οποία μπορούν να προεκταθούν στο μέλλον. Μια ποικιλία τέτοιων προτύπων(patterns) απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα. (Gardner, 1985)



Εικόνα 3.3 Πρότυπα Χρονοσειρών

Εμφανίζονται τέσσερα είδη τάσεων σε συνδυασμό με τρία είδη εποχικότητας.

Το μοντέλο σταθερού επιπέδου υποθέτει ότι τα δεδομένα δεν έχουν καθόλου τάση. Στα μοντέλα αυτά η μέση τιμή των δεδομένων θεωρείται σταθερή και ίση με μία ευθεία γραμμή παράλληλη στον  $x'$  και η πρόβλεψη είναι πάντα μια προέκταση αυτής της ευθείας.

Το μοντέλο γραμμικού επιπέδου υποθέτει τάση η οποία είναι ευθεία γραμμή με κλίση διάφορη του μηδενός

Το εκθετικό μοντέλο υποθέτει ότι το μέγεθος της ανάπτυξης θα αυξάνεται συνεχώς με το χρόνο. Για μακροχρόνιες προβλέψεις τα μοντέλα αυτά κατατάσσονται στα μη ρεαλιστικά.

Στην παραπάνω περίπτωση καλύτερη προσαρμογή δείχνουν τα damped μοντέλα τα οποία υποθέτουν μια φθίνουσα αύξηση και σε μακροπρόθεσμες προβλέψεις αυτή η αύξηση τείνει να γίνει οριζόντια γραμμή. (Levin, Rubin, & Stinson, 1986)

### 3.3 Μέθοδοι Αποσύνθεσης

Οι διάφορες μέθοδοι αποσύνθεσης εφαρμόζουν απλές μαθηματικές σχέσεις με σκοπό την αποσύνθεση των τεσσάρων βασικών συστατικών μιας χρονοσειράς:

- Τάση
- Κύκλος
- Εποχικότητα
- Τυχαιότητα

Είναι βολικό να διατυπωθεί η αποσύνθεση σαν μια μαθηματική συνάρτηση με τύπο:

$$Y_t = f(S_t, T_t, C_t, R_t)$$

$$Y_t = S_t + T_t + C_t + R_t$$

$$Y_t = S_t \square T_t \square C_t \square R_t$$

$Y_t$ : παρατήρηση κατά τη χρονική περίοδο t

$S_t$ : συνιστώσα εποχικότητας τη χρονική περίοδο t

$C_t$ : συνιστώσα κύκλου τη χρονική περίοδο t

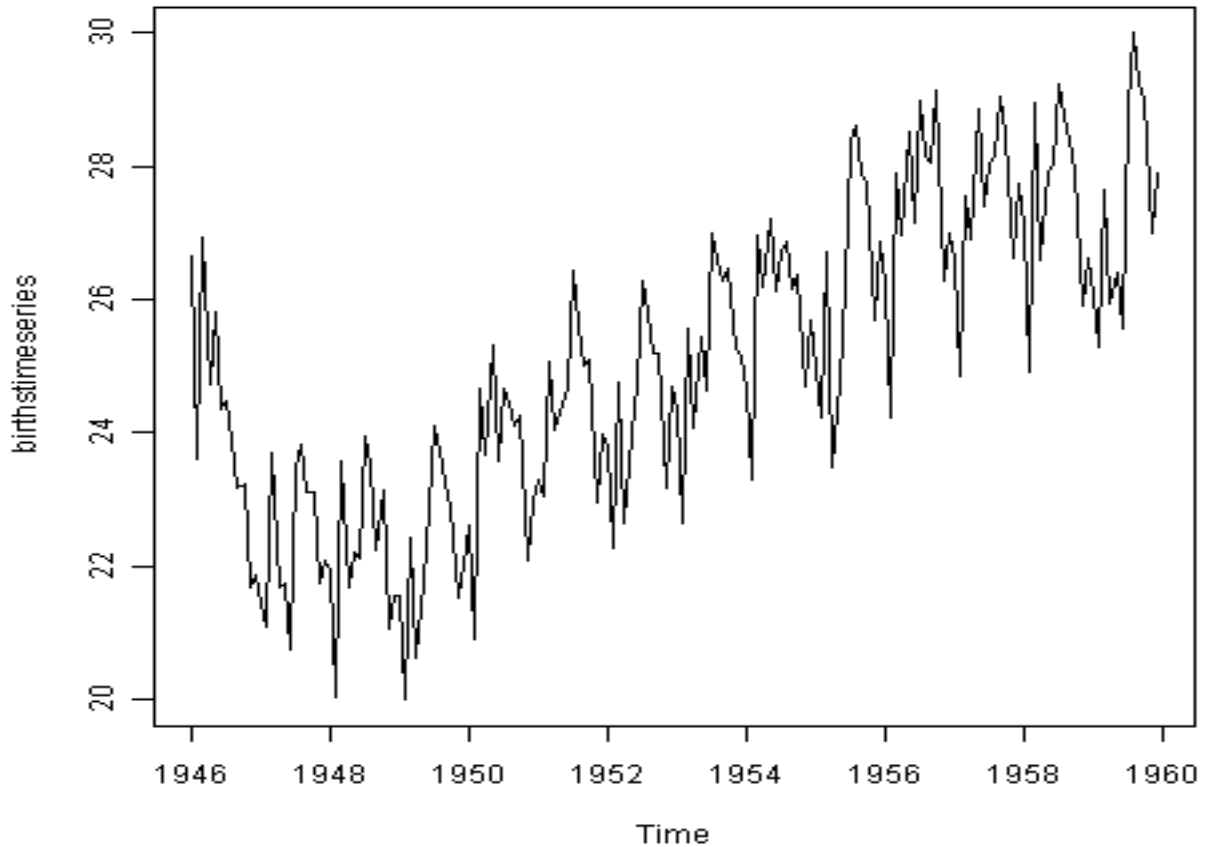
$R_t$ : συνιστώσα τυχαιότητας τη χρονική περίοδο t

$T_t$ : συνιστώσα τάσης τη χρονική περίοδο t

Οι δύο πιο απλές συναρτησιακές μορφές της παραπάνω διατύπωσης είναι η προσθετική (additive) και η πολλαπλασιαστική (multiplicative). Τα δύο αυτά μοντέλα φαίνονται παρακάτω:

$Y_t = S_t + T_t + C_t + R_t$  είναι προφανώς ότι είμαι η μαθηματική περιγραφή του προσθετικού μοντέλου και η  $Y_t = S_t \square T_t \square C_t \square R_t$  είναι το πολλαπλασιαστικό μοντέλο.

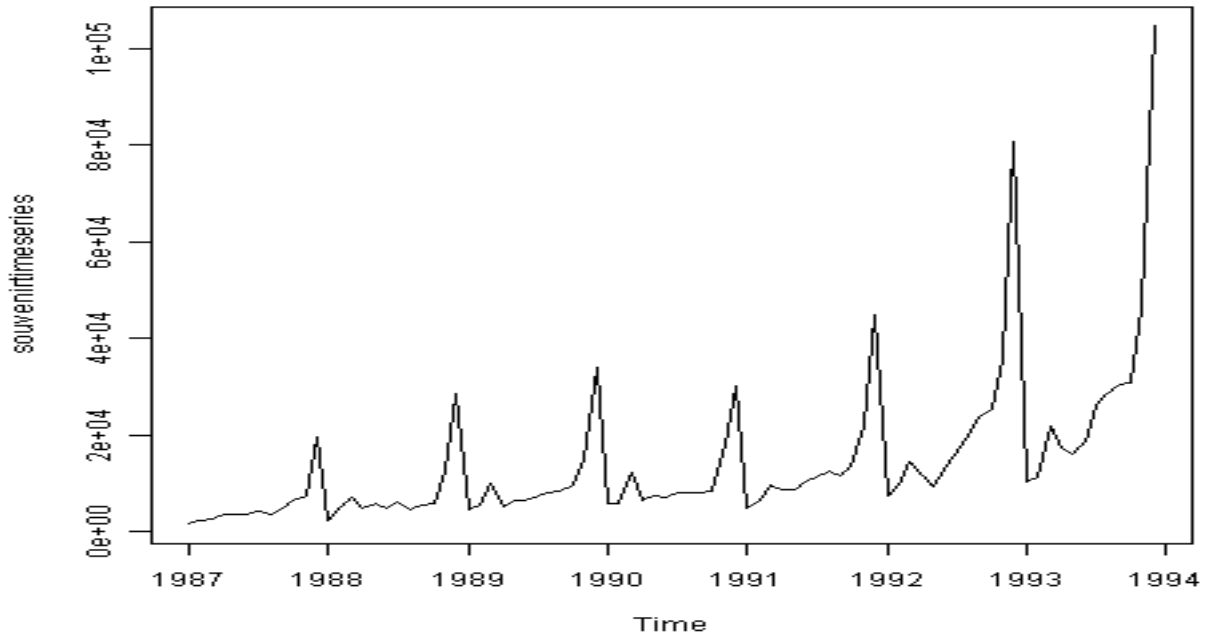
Η περιγραφή και αντιμετώπιση μιας χρονοσειράς με το προσθετικό ή με το πολλαπλασιαστικό μοντέλο οφείλεται σε μεγάλο μέρος στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της χρονοσειράς. (Πετρόπουλος & Ασημακόπουλος, 2011)



**Εικόνα 3.4 Αριθμός γεννήσεων ανά μήνα στη Νέα Υόρκη**

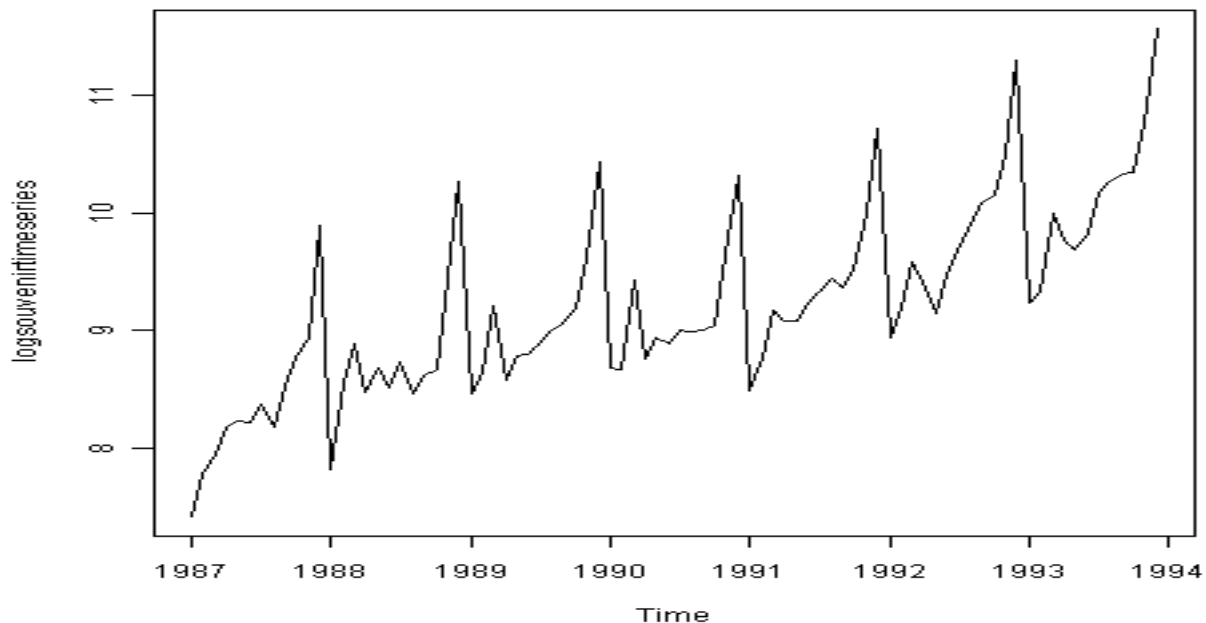
Στην παραπάνω χρονοσειρά εμφανίζονται ο αριθμός των γεννήσεων ανά μήνα στην πόλη της Νέας Υόρκης για ένα χρονικό διάστημα 14 χρόνων. Στην συγκεκριμένη χρονοσειρά είναι προφανές ότι έχουμε μια εποχική μεταβολή κάθε καλοκαίρι όπου εμφανίζεται μια κορύφωση. Αυτή η χρονοσειρά θα μπορούσε να εκφρασθεί με το προσθετικό μοντέλο αφού η εποχικές διακυμάνσεις φαίνονται σχετικά σταθερές σε μέγεθος στο πέρας του χρόνου καθώς και η τυχαίες διακυμάνσεις επίσης φαίνονται σχετικά σταθερές με το πέρας των ετών. (Coghlan, 2014)





**Εικόνα 3.5 Μηνιαίες Πωλήσεις**

Αντίστοιχα η συγκεκριμένη χρονοσειρά που απεικονίζει τις μηνιαίες πωλήσεις σε ένα μαγαζί με σουβενίρ από ένα παραλιακό θέρετρο στο Queensland, Australia. Εδώ φαίνεται ότι το προσθετικό μοντέλο δεν είναι κατάλληλο αφού φαίνεται ότι το μέγεθος των τυχαίων αλλά και εποχικών διακυμάνσεων αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Ένας απλός τρόπος για να μετατρέψουμε αυτή τη χρονοσειρά με τέτοιο τρόπο ώστε να μελετηθεί με το προσθετικό μοντέλο είναι να μετατρέψουμε τη σειρά υπολογίζοντας τον φυσικό λογάριθμο  $\log$  των αυθεντικών δεδομένων. Κάνοντας αυτή τη μετατροπή προκύπτει η παρακάτω χρονοσειρά. (Coghlan, 2014)



### Εικόνα 3.6 Μετατροπή Πολλαπλασιαστικού σε Προσθετικό Μοντέλο

Φαίνεται ότι το μέγεθος των τυχαίων και των εποχικών διακυμάνσεων σε αυτή την “log-transformed” χρονοσειρά είναι πλέον σχετικά σταθερές και δεν εξαρτώνται από τον χρόνο. Έτσι με βάση αυτή την μετατροπή είναι πλέον δυνατό να εκφράσουμε τη χρονοσειρά με το προσθετικό μοντέλο.

Απώτερος στόχος των μοντέλων αποσύνθεσης είναι η εξάλειψη από τη χρονοσειρά των συνιστωσών εποχικότητας και τυχαιότητας που θα μας οδηγήσουν στην <<καθαρή>> χρονοσειρά τάσης-κύκλου (trend-cycle) πάνω στην οποία συνήθως εφαρμόζεται στατιστική πρόβλεψη. Στη συνέχεια και αφού έχουν παραχθεί τα αποτελέσματα της πρόβλεψης εποχικοποιούνται βάση των αποτελεσμάτων της αποσύνθεσης ώστε να προβλέψουν τα τελικά αποτελέσματα πρόβλεψης. Επίσης πάνω στην καμπύλη τάσης-κύκλου μπορεί ο αναλυτής να προσθέσει τη δική του εμπειρία και διαίσθηση στον σχηματισμό προβλέψεων (judgmental forecasting)

Σε αυτές τις μεθόδους τα ιστορικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό μιας εξομαλυμένης τιμής για τις χρονοσειρές. Στη συνέχεια αυτή η εξομαλυμένη τιμή προεκτείνεται για να γίνει η μελλοντική πρόβλεψη.

Οι μέθοδοι εξομάλυνσης χωρίζονται σε 2 υποκατηγορίες :

Μέθοδος κινητού μέσου όρου

Μέθοδος εκθετικής εξομάλυνσης

Η κύρια διαφορά των 2 μεθόδων είναι ότι στη πρώτη τα δεδομένα συμμετέχουν στον υπολογισμό με ίσα βάρη, ενώ στη δεύτερη μέθοδο που αποδίδονται άνισα βάρη στα δεδομένα. (Ασημακόπουλος, 2007)

### 3.4 Κινητοί Μέσοι Όροι

Στην προσπάθεια να εξομαλύνουμε μια χρονοσειρά σε χρονοσειρά τάσης-κύκλου, προσπαθώντας να απαλείψουμε τις συνιστώσες εποχικότητας και τυχαιότητας υπάρχουν πολλοί μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία. Ο πιο απλός τρόπος είναι η μέθοδος των κινητών μέσων όρων. Τα τέσσερα κυριότερα είδη κινητών μέσων όρων είναι ο απλός κινητός μέσος όρος, σταθμισμένος κινητός μέσος όρος, κεντρικός μέσος όρος και διπλός κινητός μέσος όρος.

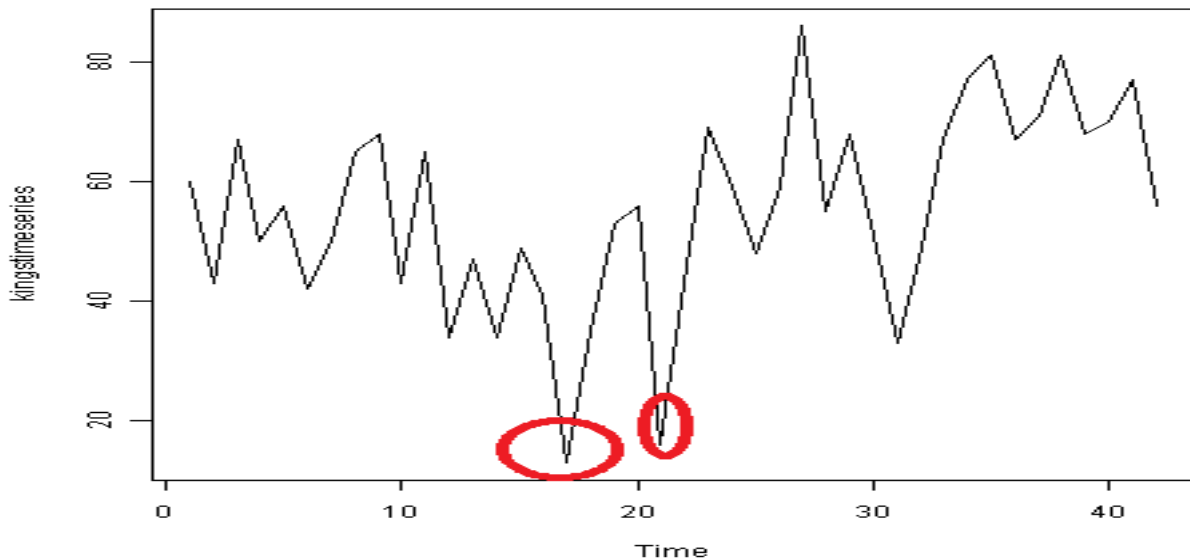
#### 3.4.1 Απλός κινητός μέσος όρος

Στόχος κάθε κινητού μέσου όρου είναι η εκτίμηση της τιμής της σειράς τάσης κύκλου για κάθε παρατήρηση. Η εκτίμηση αυτή γίνεται εφικτή βάση των γειτονικών παρατηρήσεων. Στην περίπτωση του απλού κινητού μέσου όρου η εκτίμηση γίνεται με τον υπολογισμό απλού μέσου όρου  $n$  τιμών γύρω από την τιμή για την οποία ζητείται ο υπολογισμός. Μια σημαντική παράμετρος αυτού του

μοντέλου είναι ότι η παράμετρος  $n$  πρέπει να είναι περιττός αριθμός για να διατηρηθεί η συμμετρία στους υπολογισμούς. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις τιμές που είναι εφικτό να γίνει. Μαθηματικά η διαδικασία αυτή αποτυπώνεται με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

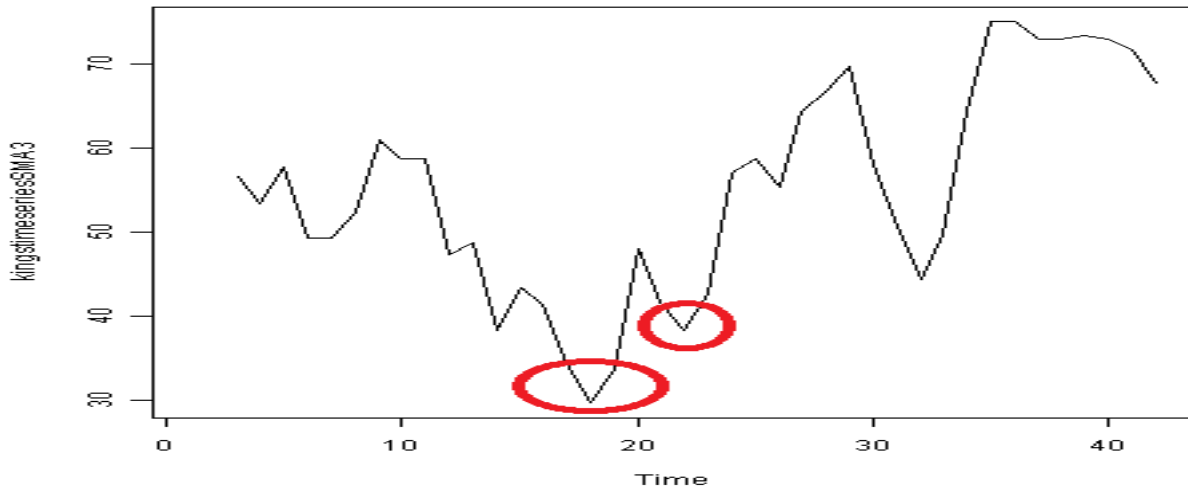
$$TC_i = KMO(n)_i = \frac{1}{n} \sum_{i=-(n \bmod 2)}^{(n \bmod 2)} Y_{t+i}$$

Γραφικά είναι εύκολο να γίνει αντιληπτό πως προκύπτει αυτή η εξομάλυνση με βάση την χρήση αυτού του μοντέλου. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρονοσειρά που απεικονίζει την ηλικία θανάτου 42 συνεχόμενων Άγγλων βασιλιάδων. (Coghlan, 2014)

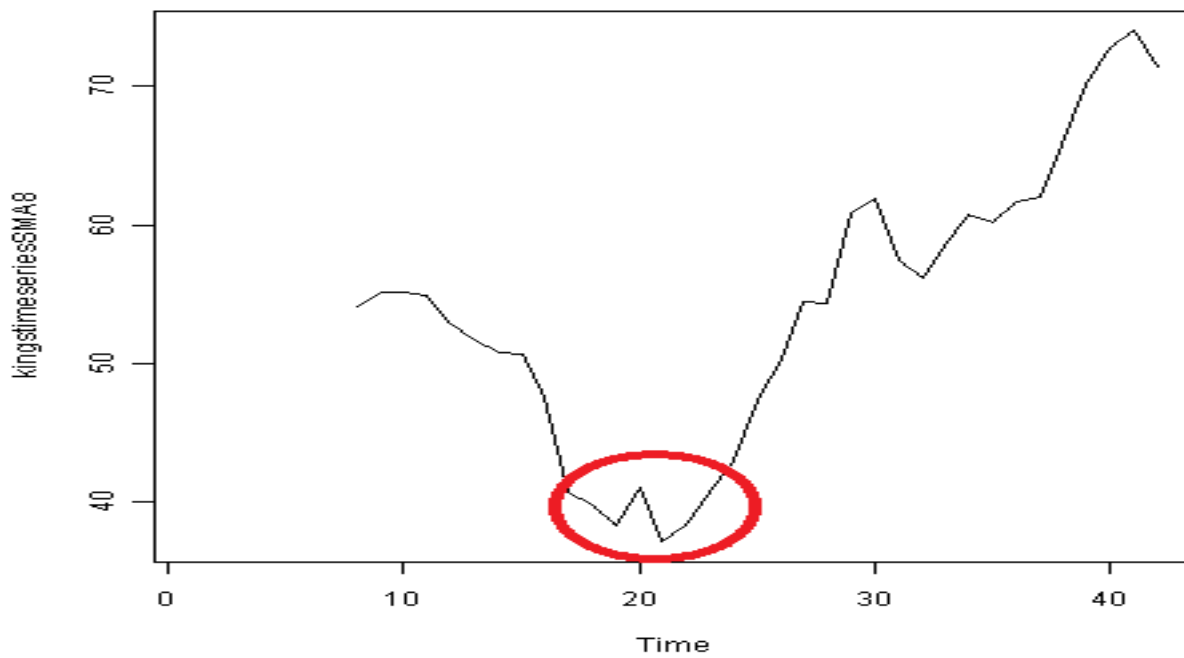


**Εικόνα 3.7 Ηλικία θανάτου 42 Άγγλων Βασιλιάδων**

Επιβάλλοντας στην παραπάνω χρονοσειρά μια εξομάλυνση χρησιμοποιώντας την μέθοδο απλών κινητών μέσων όρων, τάξεως τρία, και απεικονιστούν τα νέα δεδομένα, φαίνεται καθαρά η εξομάλυνση ειδικά στα σημεία που έχουν κυκλωθεί με κόκκινο χρώμα. Είναι προφανώς ότι αν συγκριθούν τα δύο διαγράμματα στο δεύτερο έχουμε μια πιο εξομαλυμένη μορφή που προσπαθεί να προσεγγίσει περισσότερο την μορφή τάσης-κύκλου της χρονοσειράς χωρίς την συνιστώσες τυχαιότητας και εποχικότητας.



Εικόνα 3.8 Εξομαλυμένη Χρονοσειρά με χρήση της μεθόδου κινητών μέσων όρων τρίτης τάξης



Εικόνα 3.9 Εξομαλυμένη Χρονοσειρά με χρήση της μεθόδου κινητών μέσων όρων τρίτης τάξης

### 3.4.2 Σταθμισμένος Κινητός Μέσος όρος

Ο σταθμισμένος κινητός μέσος όρος επιτρέπει τη στάθμιση κάθε ποσότητας, με την προϋπόθεση ότι το άθροισμα όλων των συντελεστών στάθμισης ισούται με 1. Ο μαθηματικός τύπος παρουσιάζεται παρακάτω. (Shim & Siegel, 2011)

$$TC_t = \text{ΣΚΜΟ}(n)_t = \frac{1}{n} \sum_{i=-(n \bmod 2)}^{(n \bmod 2)} \alpha_i * Y_{t+i}$$

$$\text{Όπου} \quad \sum_{i=-(n \bmod 2)}^{(n \bmod 2)} \alpha_i = 1$$

Υπάρχουν πολλές μεθοδολογίες για την επιλογή των κατάλληλων συντελεστών στο σταθμισμένο κινητό μέσο όρο όπως για παράδειγμα τα βάρη του Spenser, 1904. (Πετρόπουλος & Ασημακόπουλος, 2011)

### 3.5 Μέθοδοι Εκθετικής Εξομάλυνσης

Η εκθετική εξομάλυνση είναι μια μέθοδος πρόβλεψης η οποία προεκτείνει στοιχεία του προτύπου των ιστορικών δεδομένων, όπως τάσεις και εποχικού κύκλους, στο μέλλον. Οι προβλέψεις υπολογίζονται μετά από εξομάλυνση των δεδομένων προκειμένου να απομονωθούν τα πραγματικά πρότυπα από τις καθαρά τυχαίες διακυμάνσεις. Οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης έχουν ως βασική αρχή το γεγονός ότι όσο πιο πρόσφατα τα δεδομένα, τόσο περισσότερη πληροφορία εμπεριέχουν. Για το λόγο αυτό μεγαλύτερη βαρύτητα αποδίδεται στα πρόσφατα δεδομένα και φθίνει εκθετικά καθώς αναφερόμαστε σε δεδομένα τα οποία αντιστοιχούν σε παλαιότερες χρονικές περιόδους. Η δημοτικότητα των μεθόδων αυτών οφείλεται στην απλότητα των μοντέλων που υιοθετούν, τις περιορισμένες απαιτήσεις τους σε υπολογιστική ισχύ και αποθήκευση δεδομένων. (Πετρόπουλος & Ασημακόπουλος, 2011, σ. 132)

Ένα μειονέκτημα των μεθόδων εκθετικής εξομάλυνσης είναι ότι δεν περιλαμβάνουν κλαδικούς ή οικονομικούς παράγοντες, όπως οι συνθήκες της αγοράς, τιμές ή επιπτώσεις των πράξεων ανταγωνιστών.

### 3.5.1 Μοντέλο Σταθερού Επιπέδου (Simple Exponential Smoothing)

Το μοντέλο σταθερού επιπέδου περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$e_t = Y_t - F_t$$

$$S_t = S_{t-1} + a \cdot e_t$$

$$F_{t+1} = S_t$$

$e_t$  = σφάλμα (απόκλιση πραγματικής τιμής από την πρόβλεψη)

$S$  = το επίπεδο

$F$  = η πρόβλεψη

$t$  = η χρονική περίοδος

$a$  = ο συντελεστής εξομάλυνσης μπορεί να λάβει τιμές στο διάστημα  $[0,1]$

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι από την αναδρομικότητα του μοντέλου, είναι αναγκαίο να οριστεί ένα αρχικό επίπεδο ( $S_0$ ) προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία υπολογισμού του μοντέλου πρόβλεψης.

Ως αρχικό επίπεδο συνήθως χρησιμοποιείται :

- Ο μέσος όρος όλων των παρατηρήσεων
- Ο μέσος όρος των  $n$  πρώτων παρατηρήσεων
- Η πρώτη παρατήρηση

Η επιλογή μιας από τις εναλλακτικές έχει να κάνει με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε χρονοσειράς. Αν το αρχικό επίπεδο δεν είναι αντιπροσωπευτικό των δεδομένων, θα έχει αρνητική επίδραση στις τιμές των προβλέψεων.

Ο βέλτιστος συντελεστής εξομάλυνσης καθορίζεται από δύο παράγοντες οι οποίοι αλληλοεξαρτώνται. Ο ένας παράγοντας είναι το ποσοστό θορύβου στη χρονοσειρά. Όσο μικρότερος θόρυβος υπάρχει στα δεδομένα της χρονοσειράς, τόσο μικρότερη πρέπει να είναι η τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης για να αποφύγουμε την υπερβολική αντίδραση στο θόρυβο. Ο άλλος παράγοντας είναι η σταθερότητα του μέσου όρου της χρονοσειράς. Αν ο μέσος όρος μεταβάλλεται, ο συντελεστής εξομάλυνσης θα πρέπει να είναι μεγάλος ώστε οι προβλέψεις να παρακολουθούν τις μεταβολές που παρουσιάζουν τα δεδομένα. Αντίθετα αν ο μέσος όρος είναι σχετικά σταθερός, η τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης θα είναι μικρή. Στην ακραία περίπτωση όπου  $a=1$ , το μοντέλο ταυτίζεται με την απλοϊκή μέθοδο (Naive), ενώ στην περίπτωση που  $a=0$  τότε κάθε πρόβλεψη είναι ίση με το αρχικό επίπεδο.

Η συμπεριφορά του μοντέλου σταθερού επιπέδου πλησιάζει αρκετά αυτή του θερμοστάτη. Για κάθε τιμή της χρονοσειράς υπολογίζεται το σφάλμα πρόβλεψης. Αν το σφάλμα είναι θετικό (δηλαδή ή

προηγούμενη πρόβλεψη ήταν μικρότερη της πραγματικής τιμής), τότε η πρόβλεψη για την επόμενη χρονική περίοδο αυξάνεται. Αν το σφάλμα είναι αρνητικό (δηλαδή ή προηγούμενη πρόβλεψη ήταν μεγαλύτερη της πραγματικής τιμής), τότε η πρόβλεψη για την επόμενη χρονική περίοδο μειώνεται. Με τον τρόπο αυτό, τα σφάλματα χρησιμοποιούνται για να καθοδηγήσουν τις προβλέψεις προς ένα συγκεκριμένο στόχο, το πραγματικό επίπεδο της χρονοσειράς.

### 3.5.2 Μοντέλο γραμμικής τάσης (Holt Exponential Smoothing)

Το μοντέλο εξομάλυνσης για γραμμική τάση είναι μια επέκταση της απλής εκθετικής εξομάλυνσης η οποία μπορεί επιπρόσθετα να διαχειριστεί τη συνιστώσα της τάσης η οποία συχνά παρατηρείται στα επιχειρησιακά δεδομένα.

Το μοντέλο εξομάλυνσης γραμμικής τάσης περιγράφεται από τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$e_t = Y_t - F_t$$

$$S_t = S_{t-1} + a \cdot e_t + T_{t-1}$$

$$F_{t+1} = S_t + m \cdot T_t$$

$$T_t = T_{t-1} + \beta \cdot e_t$$

$e_t$  = σφάλμα (απόκλιση πραγματικής τιμής από την πρόβλεψη)

$S$  = το επίπεδο

$F$  = η πρόβλεψη

$t$  = η χρονική περίοδος

$a$  = ο συντελεστής εξομάλυνσης επιπέδου μπορεί να λάβει τιμές στο διάστημα [0,1]

$\beta$  = Ο συντελεστής εξομάλυνσης της τάσης. Ο συντελεστής εξομάλυνσης μπορεί να λάβει τιμές στο διάστημα [0,1]

Το αρχικό επίπεδο υπολογίζεται όπως στο περιγράφεται στο μοντέλο σταθερής τάσης. Η αρχική τάση συνήθως υπολογίζεται με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Διαφορά πρώτης και δεύτερης παρατήρησης
- Η σταθερά της κλίσης από το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης (Πετρόπουλος & Ασημακόπουλος, 2011)

Φυσικά στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί και άλλοι αρκετοί αλλά δεν είναι στην ουσία της παρούσας εργασίας να επεκταθούμε παραπάνω.

Η προσεκτική επιλογή των δύο παραπάνω παραμέτρων είναι ουσιώδης, διότι οι τιμές αυτές επηρεάζουν το μοντέλο και κατά επέκταση τις σημειακές προβλέψεις.

### 3.6 Σχετική Επιστημονική Βιβλιογραφία

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλοί και διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης της πρόβλεψης για την ζήτηση φυσικού αερίου. Οι τρόποι αυτοί χρησιμοποιούν και κλασσικά μοντέλα προβλέψεων αλλά και άλλα πιο σύνθετα και εξειδικευμένα.

Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της επιχειρησιακής διαδικασίας και απαίτησης καθώς και από τον σκοπό στον οποίο αποσκοπεί η πρόβλεψη

Οι Sánchez-Úbeda & Berzosa (2007) χρησιμοποιούν για προβλέψεις στον κοντινό ορίζοντα ή σε μεσοπρόθεσμη βάση με τη χρήση κλασσικών μεθόδων χρονοσειρών. Οι συγγραφείς τονίζουν την χρησιμότητα απλών μοντέλων έτσι ώστε να ενσωματώνονται στις προβλέψεις, τυχόν κριτικές προβλέψεις αλλά και στατιστικές προσαρμογές. (Sánchez-Úbeda & Berzosa, 2007)

Οι Akkurt, M. , Demirel, O.F.& Zaim, S., (2010) προτείνουν για την πρόβλεψη ζήτησης φυσικού αερίου τη χρήση μεθόδων χρονοσειρών (exponential smoothing, Box-Jenkins) σε μηνιαία και ετήσια βάση. Οι συγγραφείς θεωρούν ως καταλληλότερες τις μεθόδους χρονοσειρών λόγω της δυνατότητας αναπροσαρμογής του μοντέλου της πρόβλεψης με την εισαγωγή νέων ιστορικών δεδομένων όταν αυτά γίνονται διαθέσιμα. (Akkurt, Demirel, & Zaim, 2010)

Ειδικότερα όταν η πρόβλεψη της ζήτησης γίνεται με σκοπό τη εισαγωγή των αποτελεσμάτων σε κάποιο μοντέλο βελτιστοποίησης, μπορούν να αναφερθούν οι παρακάτω μελέτες.

Οι Chin & Vollman (1992) ασχολούνται με την επίπτωση του παράγοντα θερμοκρασία στη ζήτηση φυσικού αερίου. Η πρόταση τους όμως είναι η πρόβλεψη της ζήτησης με βάση τα ιστορικά δεδομένα, στα οποία θεωρούν ότι υπεισέρχεται ενδογενώς ο παράγοντας θερμοκρασία. (Chin & Vollmann, 1992)

Οι Avery et. al. (1992) ασχολούνται και αυτοί με την επίδραση της θερμοκρασίας. Η αντιμετώπισή τους γίνεται με την δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων π.χ.( πολύ κρύος χειμώνας, φυσιολογικός χειμώνας) για τη διαμόρφωση της ζήτησης. (Avery, Brown, Rosenkranz, & Wood, 1992)



## 4 Γραμμικός Προγραμματισμός

Ο γραμμικός προγραμματισμός (linear programming, γ.π.) αποτελεί αναμφίβολα το δημοφιλέστερο μοντέλο στο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας αλλά και της διοικητικής επιστήμης (management science) γενικότερα. Η μεγάλη επιτυχία που είχαν οι εφαρμογές του σε προβλήματα λήψης αποφάσεων των ιδιωτικών και δημόσιων επιχειρήσεων και οργανισμών αποδίδεται, από τη μία πλευρά στα επιτεύγματα της έρευνας μαθηματικών και οικονομολόγων σε θεωρητικό επίπεδο και από την άλλη πλευρά στην επαναστατική ανάπτυξη της πληροφορικής επιστήμης και τεχνολογίας. Κυριαρχεί σήμερα η αντίληψη ότι, τρεις στις τέσσερις εφαρμογές μοντέλων επιχειρησιακής έρευνας σε πραγματικά προβλήματα διοίκησης παραπέμπουν στο γ.π.

Ο γ.π. χρησιμοποιείται από τους επιχειρησιακούς ερευνητές ή τους αναλυτές προβλημάτων απόφασης για την προσέγγιση προβλημάτων κατανομής περιορισμένων πόρων ή μέσων σε εναλλακτικές και ανταγωνιστικές μεταξύ τους δραστηριότητες κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Πρόκειται για το γνωστό πρόβλημα κατανομής της «πίτας» (resource allocation problem). Προβλήματα απόφασης αυτής της μορφής είναι, για παράδειγμα, η κατανομή εργατικού δυναμικού, τεχνολογικού εξοπλισμού και πρώτων υλών σε διάφορες παραγωγικές διαδικασίες, η κατανομή κεφαλαίου σε διάφορα επενδυτικά προγράμματα, η ανάθεση σε περιορισμένο προσωπικό διαφόρων υπηρεσιών, η κατανομή καλλιεργήσιμης γης σε διάφορες αγροτικές δραστηριότητες, κ.λπ. Το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα αυτών των αποφάσεων (κριτήρια απόφασης) μπορεί να αφορά τη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους από πωλήσεις, την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής, τη μεγιστοποίηση της απασχόλησης, την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. κ.λπ.

Ο γ.π. είναι μια μαθηματική μέθοδος επίλυσης προβλημάτων απόφασης με εξαιρετικά ευρύ πεδίο εφαρμογών. Η τεχνική του γ.π. βοηθάει στην αντιμετώπιση προβλημάτων σχεδιασμού εθνικής οικονομίας, ενεργειακού προγραμματισμού, κατανομής προσωπικού σε εργασίες, προγραμματισμού παραγωγής αποθεμάτων και επενδύσεων, επιλογή θέσης εργοστασίων και αποθηκών, και άλλα πολλά, που απαντώνται σε ετερόκλητους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Για τη λύση αυτών των προβλημάτων ο γ.π. χρησιμοποιεί ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο αποτελείται από μεταβλητές απόφασης, μια αντικειμενική συνάρτηση και ένα σύνολο περιορισμών. Μεταβλητές ενός προβλήματος γ.π. είναι οι δραστηριότητες τις οποίες μπορούμε να αναπτύξουμε (π.χ. επενδύσεις ανά κατηγορία, γραμμές και ύψος παραγωγής ανά προϊόν κτλ) εκφρασμένες σε ποσότητες που πρόκειται να προσδιορισθούν με τη λύση του προβλήματος. Αντικειμενική συνάρτηση είναι εκείνη η οποία εκφράζει το αντικείμενο (π.χ. κόστος, κέρδος, πωλήσεις κτλ) το οποίο επιθυμούμε να βελτιστοποιήσουμε (να ελαχιστοποιήσουμε ή μεγιστοποιήσουμε, ανάλογα). Οι περιορισμοί είναι ένα σύνολο αλγεβρικών ανισοτήτων ή ισοτήτων που εκφράζουν τους περιορισμούς του επιχειρηματικού περιβάλλοντος και της τεχνολογίας μέσα στα οποία κινείται ο μάνατζερ που αποφασίζει π.χ. προσδιορισμοί δυναμικότητας, διαθεσιμότητας πρώτων υλών, τεχνολογίας, αγοράς, κλπ. (Σίσκος, 1998)

Το μοντέλο αυτό ονομάζεται μοντέλο γ.π. διότι:

- Η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί είναι γραμμικές συναρτήσεις ως προς τις άγνωστες μεταβλητές.
- Οι άγνωστες μεταβλητές είναι συνεχείς, δηλαδή μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή σε ένα διάστημα πραγματικών αριθμών.
- Η λύση ενός προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού αποτελεί ένα πρόγραμμα δράσης προκειμένου να επιτευχθεί ο επιθυμητός στόχος.

#### **4.1 Διατύπωση προβλημάτων γ.π.**

Ο γ.π. είναι ένα χρήσιμο βοήθημα για την αντιμετώπιση πολλών περίπλοκων προβλημάτων αποφάσεων. Η ποιότητα των αποφάσεων αυτών, όμως, εξαρτάται απόλυτα από την ακρίβεια της περιγραφής της κατάστασης που μελετάται και από την καταλληλότητα του μοντέλου και των προϋποθέσεων ή απλουστεύσεων που επιβάλλει ο μελετητής ή το συγκεκριμένο μοντέλο. Με λίγα λόγια η ποιότητα της απόφασης εξαρτάται σημαντικά από την ακρίβεια της διατύπωσης του προβλήματος.

Η διατύπωση ενός μοντέλου γ.π. ανάγεται σε τέσσερα απλούστερα βήματα:

- Κατανόηση του προβλήματος και ορισμός των μεταβλητών
- Ορισμός της αντικειμενικής συνάρτησης
- Ορισμός των περιορισμών
- Εξέταση των προϋποθέσεων του γ.π.

Τα παραπάνω στάδια ισχύουν για όλα τα προβλήματα γ.π. Φυσικά ο χρόνος ολοκλήρωσης και η δυσκολία κάθε βήματος αλλάζει από πρόβλημα σε πρόβλημα. Επίσης θα πρέπει να τονιστεί ότι τα βήματα δεν είναι στεγανά διαχωρισμένα μεταξύ τους καθώς και ότι το δε περιεχόμενο τους δεν είναι σαφώς καθορισμένο. Όπως επίσης είναι σύνηθες κατά τη διάρκεια της διατύπωσης ενός γραμμικού προβλήματος να χρειαστεί να ανατρέξουμε σε προηγούμενα στάδια για την διόρθωση και αναθεώρηση των εκεί προϋποθέσεων και συμπερασμάτων. Τέλος πολύ σημαντικό ρόλο στην διατύπωση ενός προβλήματος παίζει η εμπειρία του αναλυτή στη διατύπωση παρόμοιων προβλημάτων.

Παρακάτω γίνεται ανάλυση των παραπάνω βημάτων:

- Κατανόηση του προβλήματος και ορισμός των μεταβλητών

Το στάδιο αυτό είναι το δυσκολότερο από όλα τα υπόλοιπα σε πραγματικές συνθήκες. Ο αναλυτής εδώ καλείται να κατανοήσει επαρκώς και σε βάθος το πρόβλημα που καλείται να λύσει. Πρέπει να σχηματίσει το πρόβλημα και να διατυπώσει θεωρητικά ερωτήματα πάνω στο συγκεκριμένο πρόβλημα, όπως εναλλακτικούς τρόπους επίλυσης, μεταβλητές (εξωγενείς, ελεγχόμενες) κτλ. Επίσης ο αναλυτής θα πρέπει από το πλήθος των δεδομένων και πληροφοριών που έχει στη διάθεσή του να καταλήξει σε αυτά που πραγματικά είναι αξιοποιήσιμα και σε αυτά που δεν τον ενδιαφέρουν. Πολλές φορές θα χρειαστεί να γίνει επαλήθευση στα δεδομένα, κάποια συμπλήρωση, εξακρίβωση κτλ

- Ορισμός αντικειμενικής συνάρτησης

Το μοντέλο του γ.π. προϋποθέτει μία και μοναδική αντικειμενική συνάρτηση. Στην συνάρτηση αυτή πρέπει να καταλήξει ο αναλυτής αφού προσεχτικά εξειδικεύσει τους παράγοντες εκείνους που επιδρούν πάνω στην τιμή του αντικειμένου που θέτει προς βελτιστοποίηση (πωλήσεις, έσοδα κτλ)

- Ορισμός των περιορισμών

Μεγάλο μέρος της επιτυχίας του προτύπου του γραμμικού προβλήματος εξαρτάται από την ικανότητα του αναλυτή να διατυπώσει με ακρίβεια και πληρότητα τους περιορισμούς που είναι σχετικοί με την κατάσταση που μελετάται. Οι περιορισμοί αυτοί μπορούν να περιλάβουν περιορισμούς δυναμικότητας (παραγωγής, αγοράς κλπ), διαθεσιμότητας πρώτων υλών κ.α.

- Εξέταση των προϋποθέσεων

Για να διατυπωθεί ένα μοντέλο γ.π. θα πρέπει να προηγουμένων να ισχύουν οι προϋποθέσεις του γραμμικού προβλήματος. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι οι παρακάτω:

1. Γραμμικότητα
  2. Διαιρετότητα
  3. Βεβαιότητα
- Όλες οι συναρτήσεις ενός μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού θα πρέπει να είναι γραμμικές ως προς τις άγνωστες μεταβλητές  $C^T x_1, x_2, \dots, x_n$ . Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να ισχύουν οι ιδιότητες αναλογικότητας και προσθετικότητας.
  - Το μοντέλο του γραμμικού προγραμματισμού προϋποθέτει ότι κάθε μεταβλητή είναι συνεχής και επομένως άπειρα διαιρετή. Αυτό συνεπάγεται ότι όλα τα επίπεδα δραστηριοτήτων και όλες οι χρήσεις πόρων επιτρέπεται να πάρουν κλασματικές ή ακέραιες τιμές.
  - Το μοντέλο του γραμμικού προγραμματισμού προϋποθέτει ότι όλες οι παράμετροι του προβλήματος είναι γνωστές με απόλυτη βεβαιότητα. Πολλές φορές η προϋπόθεση αυτή δεν ισχύει. Στην περίπτωση αυτή είναι σημαντική η ανάλυση ευαισθησίας που παρουσιάζει τις επιπτώσεις αλλαγής της τιμής μιας παραμέτρου στην λύση ενός προβλήματος. (Πραστάκος, 2006)

## 4.2 Κανονική μορφή

Ένα γραμμικό πρόβλημα είναι σε κανονική μορφή (standard form) αν όλοι οι περιορισμοί εκφράζονται μαθηματικά με εξισώσεις και αν είναι γνωστή μία εφικτή λύση. Σε συμβολισμό μητρών, η κανονική μορφή γράφεται:

Πίνακας 4.1 Κανονική Μορφή

$$\text{Βελτιστοποίηση: } z = C^T X$$

$$\text{με περιορισμούς: } AX = B$$

$$\text{με: } X \geq 0$$

όπου  $X$  είναι το διάνυσμα-στήλη που περιέχει τους αγνώστους.  $C^T$  είναι το διάνυσμα γραμμή που περιέχει τα αντίστοιχα κόστη.  $A$  είναι η μήτρα που περιέχει τους συντελεστές των εξισώσεων των περιορισμών και  $B$  είναι το διάνυσμα-στήλη των δεξιών εξισώσεων των περιορισμών. (Bronson & Naadimuthu, 2010)

Παράδειγμα επίλυσης προβλήματος με τη χρήση γραμμικού προγραμματισμού ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα

## 4.3 Παράδειγμα επίλυσης προβλήματος με τη χρήση γραμμικού προγραμματισμού

Διευθυντικό στέλεχος της ΔΕΗ υπεύθυνο για την ηλεκτροδότηση συγκεκριμένης περιοχής της Στερεάς Ελλάδας μελετά το εξής πρόβλημα: (Σίσκος, 1998)

Η ωριαία ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος εκφρασμένη σε μεγαβατώρες (MW-H) κατανέμεται σε τρεις κατηγορίες κατά τη διάρκεια μιας ημέρας (24ωρο):

- Ώρες αιχμής (από ώρα 09 έως 19): ζήτηση 7MW-H
- Ώρες κανονικής ζήτησης (από 19 έως 23): ζήτηση 5 MW-H
- Ώρες χαμηλής ζήτησης (από 23 έως 09): ζήτηση 1,5 MW-H

Στο εσωτερικό καθενός από τα παραπάνω τρία χρονικά διαστήματα η ζήτηση μπορεί να θεωρηθεί αμετάβλητη.

Για να ικανοποιηθεί η ζήτηση αυτή υπάρχουν 3 διαφορετικοί τρόποι παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος:

- Υδραυλική παραγωγή (ΥΔ)
- Θερμική παραγωγή με λιγνίτη (ΘΛ)
- Θερμική παραγωγή με πετρέλαιο (ΘΠ)

Τα μοναδιαία κόστη παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τις τρεις μονάδες παραγωγής καθώς και οι οριακές τους ωριαίες δυνατότητες παραγωγής δίνονται στον πίνακα 18.14:

**Πίνακας 4.2 Εναλλακτικές μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας**

<b>Μέσα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος</b>	<b>ΥΔ</b>	<b>ΘΛ</b>	<b>ΘΠ</b>
<b>Μοναδιαίο κόστος (χρημ. μονάδες/KW-H)</b>	5	11	15
<b>Ελάχιστη ωριαία παραγωγή (MW-H)</b>	2	0	0
<b>Μέγιστη ωριαία παραγωγή</b>	5	2	3

Οι υδραυλικές τουρμπίνες ρυθμίζονται μία και μόνη φορά την ημέρα και συνεπώς η υδραυλική παραγωγή δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Η μονάδα παραγωγής που τροφοδοτείται με λιγνίτη δεν εργάζεται κατά το χρονικό διάστημα 23-09.

Ειδικές συνθήκες περιφερικής οικονομίας απαγορεύουν στη συνολική θερμική παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος να έχει υψηλότερες τιμές από αυτές της υδραυλικής παραγωγής. Εξάλλου, σύμφωνα με ειδικό όρο συμβολαίου μεταξύ ΔΕΗ και καταναλωτών, η ζήτηση θεωρείται ικανοποιηθείσα όταν η παραγωγή περιλαμβάνεται μεταξύ του 90 και του 110% της ζήτησης.

Ο μελετητής του προβλήματος θέλει να επιτύχει ένα βέλτιστο προγραμματισμό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τις τρεις ηλεκτρογενείς μονάδες και για την αντιμετώπιση της συγκεκριμένης ζήτησης.

Από πρώτη όψη, το πρόβλημα συνίσταται στον καθορισμό μιας ορθολογικής κατανομής της ηλεκτρικής παραγωγής των τριών σταθμών παραγωγής στα τρία ωράρια. Ας χρησιμοποιήσουμε λοιπόν τον παρακάτω συνήθη συμβολισμό:

$$\Delta Y=1, \Theta\Lambda=2, \Theta\P=3$$

$$\text{ωράρια: } (09-19)=1, (19-23)=2, (23-09)=3$$

Ορίζουμε, κατά συνέπεια, τις εξής εννέα μεταβλητές απόφασης:

$X_{ij}$ : Ωριαία παραγωγή (σε MW-H) του σταθμού  $i$  κατά τη διάρκεια του ωραρίου  $j$ . Σύμφωνα με τα δεδομένα του προβλήματος έχουμε:

$$X_{11}=X_{12}=X_{13}=X_1 \text{ και } X_{23}=0$$

Οπότε οι μεταβλητές απόφασης μειώνονται στις έξι

Οι περιορισμοί που θέτει το πρόβλημα είναι (εκφράζονται όλοι σε MW-H):

Περιορισμοί περιφερειακής οικονομίας

$$X_{21} + X_{31} \leq X_1$$

$$X_{22} + X_{32} \leq X_1$$

$$X_{33} \leq X_1$$

Περιορισμοί οριακής παραγωγής

$$X_1 \geq 2, X_1 \leq 5$$

$$X_{21} \leq 2, X_{22} \leq 2$$

$$X_{31} \leq 3, X_{32} \leq 3, X_{33} \leq 3$$

Περιορισμοί ζήτησης

Η ζήτηση θεωρείται ότι ικανοποιείται όταν το φορτίο κυμαίνεται στα όρια:

$$09-19: 6,3-7,7$$

$$19-23: 4,5-5,5$$

$$23-09: 1,35-1,65$$

Εδώ θα πρέπει να τεθούν μόνο οι περιορισμοί ελάχιστης ζήτησης (σε αντίθετη περίπτωση δεν υπάρχει δυνατή λύση, αφού υπερκαλύπτεται η ζήτηση στο ωράριο 23-09):

$$X_1 + X_{21} + X_{31} \geq 6,3$$

$$X_1 + X_{22} + X_{32} \geq 4,5$$

$$X_1 + X_{33} \geq 1,35$$

Φυσικοί περιορισμοί

$$X_{21} \geq 0, X_{22} \geq 0, X_{31} \geq 0, X_{32} \geq 0, X_{33} \geq 0$$

Κριτήριο βελτιστοποίησης

Το κριτήριο βελτιστοποίησης της ΔΕΗ είναι το κόστος παραγωγής του 24-ώρου και μοντελοποιείται μέσω της αντικειμενικής συνάρτησης:

$$[\text{min}z] = (5X_1 + 11X_{21} + 15X_{31}) \times 10 + (5X_1 + 11X_{22} + 15X_{32}) \times 4 + (5X_1 + 5X_{33}) \times 10$$

$$= 120X_1 + 110X_{21} + 150X_{31} + 44X_{22} + 60X_{32} + 150X_{33} \text{ (χρημ. μονάδες)}$$

Το ολοκληρωμένο γ.π. είναι διαστάσεων 13 x 6. Ωστόσο, οι επτά περιορισμοί οριακής παραγωγής είναι περιορισμοί φράγματος και δεν επιβαρύνουν τη διαδικασία της μεθόδου simplex (βλ. κεφ.6, §6.5).

Το κόστος της θερμικής παραγωγής είναι υπερδιπλάσιο της υδραυλικής παραγωγής. Μια καλή λύση λοιπόν συνίσταται στη λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού στο μέγιστο της απόδοσής του και την ενεργοποίηση του σταθμού λιγνίτη όπου χρειαστεί. Με το σκεπτικό αυτό έχουμε (μη μηδενικές μεταβλητές):

$$X_1=5, X_{21}=1,3$$

Οπότε η κατανομή του φορτίου στα ωράρια είναι:

$$09-19: 6,3$$

$$19-23: 5$$

$$23-09: 5$$

Η λύση αυτή κοστίζει στη ΔΕΗ 743 χρηματικές μονάδες /24ωρο, προκαλεί όμως σημαντικές απώλειες φορτίου μέσα στο δεκάωρο 23-09.

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής έχει παρά ταύτα διαφορετική άποψη...! Η «καλή» λύση παραπάνω δεν είναι βέλτιστη. Η βέλτιστη λύση είναι η ακόλουθη (μη μηδενικές μεταβλητές):

$$X_1^*=4,5, X_{21}^*=1,8$$

Και κοστίζει στη ΔΕΗ φθηνότερα: 738 χ.μ./24ωρο. Έτσι, η νέα κατανομή φορτίου στα ωράρια διαμορφώνεται ως εξής:

$$09-19: 6,3$$

$$19-23: 4,5$$

$$23-09: 4,5$$

#### 4.4 Σχετική Επιστημονική Βιβλιογραφία

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα για την δημιουργία συστημάτων αποφάσεων που αφορούν την ελαχιστοποίηση του κόστους με το οποίο λειτουργούν εταιρείες εμπορίας και διανομής φυσικού αερίου. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν κλασσικές τεχνικές όπως γραμμικό προγραμματισμό(linear programming) ή και πιο εξειδικευμένες όπως χρήση μικτού ακέрайου προσωπικού, πολυκριτήριου προγραμματισμού ή και στοχαστικών μοντέλων.

Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου εξαρτάται από τις συνθήκες της αγοράς καθώς και από τους παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο τις αποφάσεις κάθε εταιρείας.

Οι Avery, Brown, Rosenkranz και Wood (1992) μελετούν το πρόβλημα της αγοράς, αποθήκευσης και μεταφοράς φυσικού αερίου. Την περίοδο που διεξαγόταν η έρευνα το φυσικό αέριο στις Ηνωμένες Πολιτείες κάλυπτε περίπου το 25% των ενεργειακών αναγκών της. Στην έρευνα τους προτείνουν ένα σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων βασιζόμενο σε ένα μοντέλο ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους με την ταυτόχρονη ικανοποίηση παρεμφερείς παράγοντες. Για την μελέτη τους παρουσίασαν εφαρμογή στην Southwest Gas Corporation καθώς και ένα case-study της Questar Pipeline Corporation. (Avery, Brown, Rosenkranz, & Wood, 1992)

Οι Kannan, Palocsay και Stevens (1996) ασχολήθηκαν με τα προβλήματα που αντιμετωπίζει μια τοπική εταιρεία διανομής φυσικού αερίου( LDCs) στην εξαγορά ποσοτήτων φυσικού αερίου κάτω από συνθήκες αβέβαιης ζήτησης και συχνών τιμολογιακών αλλαγών. Στην μελέτη τους προσεγγίζουν το πρόβλημα με ένα στοχαστικό μοντέλο κυρίως διότι το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπ όψιν του την έννοια της απόληψης(deliverability), δηλαδή τον ρυθμό με τον οποίο μπορεί να προστεθεί ή να αφαιρεθεί φυσικό αέριο από μια αποθηκευτική εγκατάσταση. Χρησιμοποιώντας δεδομένα από μια LDC από το Huntsville, Alabama προχώρησαν σε ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους σεβόμενοι συγχρόνως όλους τους περιορισμούς για την ασφάλεια στην προμήθεια φυσικού αερίου. Συγχρόνως αποδεικνύουν ότι η ασφάλεια σχετίζεται με τον ρυθμό της απόληψης, ο οποίος με τη σειρά του σχετίζεται με έναν αριθμό παραγόντων όπως διαθεσιμότητα φυσικού αερίου, αποθήκευση και μεταφορά και καιρικές συνθήκες. (Borpp, Kannan, Palocsay, & Stevens, 1996)

Οι Zheng, Rebennack, Iliadis και Pardalos (2011) στην μελέτη τους σχετικά με τις τεχνικές βελτιστοποίησης που χρησιμοποιούνται στην αγορά φυσικού αερίου, προκειμένου η ζήτηση σε φ.α από τους καταναλωτές να ικανοποιείται στο μέγιστο δυνατό βαθμό, παρουσιάζουν διάφορα μοντέλα με ιδιαίτερη έμφαση στην παραγωγή και μεταφορά φυσικού αερίου, καθώς και στη λειτουργία συνολικά της αγοράς φυσικού αερίου. Στην μελέτη τους αυτή κάνουν χρήση μικτού ακέрайου μη γραμμικού προγραμματισμού(MINLP) και μικτού ακέрайου προγραμματισμού(MIP).

Οι Guldman και Wang (1997) στην έρευνα προτείνουν λύσεις για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης του μίγματος προμηθειών φυσικού αερίου από μια τοπική εταιρεία προμήθειας και διανομής φυσικού αερίου. Στην μελέτη τους αυτή κάνουν χρήση μικτό ακέрайο γραμμικό προγραμματισμό(MILP) και μη γραμμικό προγραμματισμό(NLP). Κάθε υποθετική πηγή προμήθειας χαρακτηρίζεται από τιμολογιακές και μη παραμέτρους. Η μεταβλητή του καιρού είναι ο βασικό



στοχαστικός παράγοντας που οδηγεί την ζήτηση φυσικού αερίου. Το μοντέλο ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος προμήθειας φυσικού αερίου. (Guldmann & Wang, 1999)

Επίσης στη διεθνή βιβλιογραφία πολλές μελέτες αφορούν όχι τόσο την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας αλλά την συμπεριφορά και την λειτουργία διαφόρων αγορών φυσικού αερίου.

Οι Weizsacker και Perner (2001) περιγράφουν μακροχρόνιο μοντέλο προσομοίωσης για την Ευρωπαϊκή ηλεκτρική αγορά και αγορά φυσικού αερίου. Στο πρώτο μέρος της έρευνας τους οι δύο αγορές μοντελοποιούνται ξεχωριστά με τη χρήση δυναμικού γραμμικού προγραμματισμού. Σε δεύτερη φάση τα μοντέλα συνδέονται μεταξύ τους και μάλιστα τα αποτελέσματα δείχνουν μεγάλη σχέση μεταξύ κατανάλωσης παραγωγής φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις συνθήκες προμήθειας στην αγορά φυσικού αερίου. (Weizsacker & Perner, 2001)

Η Ολλανδική υπηρεσία για την ανάλυση Οικονομικής πολιτικής (2006) ασχολείται με Ευρωπαϊκή Αγορά Φυσικού Αερίου. Στο μοντέλο NATURAL GAS που ανέπτυξαν παρουσιάζονται μακροχρόνιες προβολές της προμήθειας, μεταφοράς, αποθήκευσης και κατανάλωσης για μια περίοδο 5 χρόνων, διακριτές σε δύο περιόδους (χειμώνας και καλοκαίρι). Τα αποτελέσματα του μοντέλου περιλαμβάνουν επίπεδα επενδύσεων σε διάφορα παρακλάδια όπως κατανάλωση, εξάντληση αποθεμάτων και επίπεδα τιμών. Επίσης το μοντέλο NATGAS υπολογίζει τις μακροχρόνιες επιπτώσεις στην μέτρα που λαμβάνονται τόσο για την μελλοντική παραγωγή φυσικού αερίου όσο και για τις τιμολογιακές πολιτικές στην Ευρώπη. Όμως το μοντέλο NATGAS προσπαθεί να δώσει απαντήσεις και στην συμπεριφορά των παραγωγών φυσικού αερίου, επενδυτών σε εγκαταστάσεις (αγωγοί, αποθήκευση LNG), traders και καταναλωτές. Το συγκεκριμένο μοντέλο καλύπτει το Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία, Ολλανδία και Ιταλία. Επίσης καλύπτει και τις κύριες χώρες παραγωγούς και προμηθευτές της Ευρωπαϊκής αγοράς όπως η Ρωσία, Νορβηγία, Αλγερία, Ολλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο. (Zwart & Mulder, 2006)

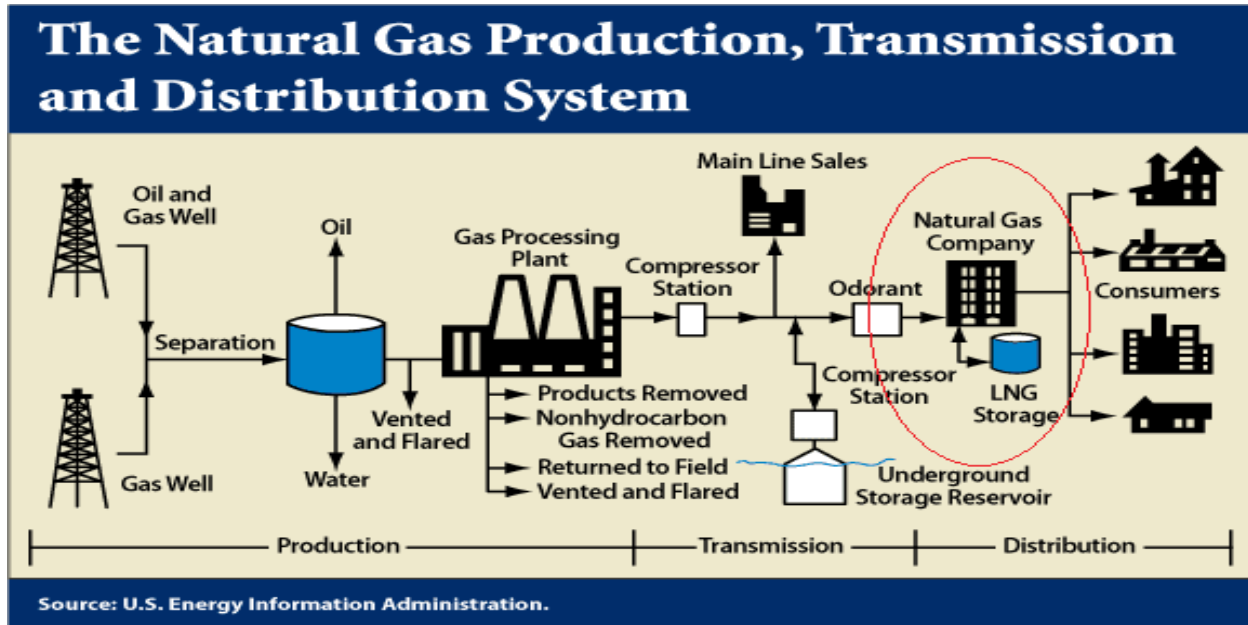
Τέλος στη διεθνή βιβλιογραφία έχουμε και μελέτες που αφορούν εργαλεία για τον εμπλουτισμό μελετών όπως αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω, με επιπλέον δυνατότητες εισαγωγής μεταβλητών απόφασης.

Ο Francisco E. Torres (1991) προτείνει μεθοδολογία για την εισαγωγή σε ένα πρόγραμμα με συνεχής μεταβλητές, δυαδικές μεταβλητές. Με εργαλεία και τεχνικές που προτάθηκαν αρχικά από τον Glover (1975) τέτοια προβλήματα μπορεί να μετατραπούν σε προγράμματα που είναι γραμμικά και στις δυαδικές μεταβλητές. (Torres, 1990)

## 5 Μοντελοποίηση

### 5.1 Ο ρόλος της εταιρείας

Για τις ανάγκες της έρευνας και της επεξεργασίας του μοντέλου που αναπτύχθηκε, ορίζεται μία “φανταστική” εταιρεία προμήθειας και διανομής φυσικού ή οποία κατέχει μονοπωλιακή θέση στην ελληνική αγορά. Στην παρακάτω εικόνα ορίζεται η θέση της εταιρείας στην εφοδιαστική αλυσίδα της ροής φυσικού αερίου από την παραγωγή μέχρι και τον τελικό καταναλωτή.



Εικόνα 5.1 Η θέση της εταιρείας στην εφοδιαστική αλυσίδα

Ο ρόλος της εταιρείας μπορεί να περιγραφεί ως ενός μεσάζοντα μεταξύ της παραγωγής και του τελικού καταναλωτή. Επίσης η εταιρεία έχει την δυνατότητα αποθήκευσης ποσοτήτων φυσικού αερίου, καθώς και εγκαταστάσεις αεριοποίησης υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, ο σκοπός είναι να προσομοιωθεί σε κάποιο βαθμό μια εταιρεία που εδράζεται και έχει κύκλο εργασιών στον Ελλαδικό χώρο. Με βάση την θεώρηση αυτή κάποιες από τις δυνατότητες και υποχρεώσεις της εταιρείας που ενδεχομένως να ομοιάζουν σε υπάρχουσες δεδομένες καταστάσεις.

## 6 Μοντέλα Προβλέψεων

### 6.1 Η γλώσσα R

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας και για την ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον και η γλώσσα R. Η R είναι μια γλώσσα και ένα περιβάλλον κατάλληλα σχεδιασμένο για στατιστικούς υπολογισμούς και γραφικά. Είναι ένα GNU project το οποίο είναι παρόμοιο με την S γλώσσα η οποία αρχικά αναπτύχθηκε από την Bell Laboratories (πρώην AT&T, τώρα Lucent Technologies) και από τον John Chambers και συναδέλφους του. Υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ των 2 γλωσσών αλλά μεγάλο σύνολο εντολών γραμμένες σε S μπορούν να τρέξουν χωρίς αλλαγές και σε περιβάλλον R. Η R δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε από τους Ross Ihaka και Robert Gentleman στο University of Auckland, New Zealand. Στην παρούσα φάση η R αναπτύσσεται και εξελίσσεται από την R Development Core Team στην οποία μέλος είναι και ο ίδιος ο Chambers. Η ονομασία της R οφείλεται στα αρχικά γράμματα των μικρών ονομάτων των δύο δημιουργών της.



Εικόνα 6.1 Το official logo της R

Η R προσφέρει μια μεγάλη ποικιλία από στατιστικές( γραμμικά και μη μοντέλα, κλασικά στατιστικά τεστ, ανάλυση χρονοσειρών, κτλ) και γραφικές τεχνικές καθώς και μεγάλες δυνατότητες επέκτασης και ανάπτυξης. Μία από τις πολλές ευκολίες που προσφέρει η R είναι η ευκολία με την οποία μπορούν να παραχθούν διαγράμματα και γραφικές παραστάσεις κατάλληλες για στατιστικές και όχι μόνο αναλύσεις. Η R είναι ένα ελεύθερο λογισμικό σύμφωνα με τα Free Software Foundation's GNU General Public License. Έχει τη δυνατότητα compiling σε μια μεγάλη ποικιλία UNIX πλατφόρμων και παρομοίων συστημάτων (συμπεριλαμβανομένων FreeBSD και Linux), Windows και MacOS. (Wikipedia, 2014)

Το περιβάλλον R

Το περιβάλλον R είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό με δυνατότητες για χειρισμό των δεδομένων, υπολογισμούς και γραφικές απεικονίσεις. Περιλαμβάνει:

- Αποτελεσματικό χειρισμό δεδομένων και αποθηκευτική δυνατότητα
- Μια πλατφόρμα τελεστών για υπολογισμούς σε πίνακες και σειρές
- Μια ολοκληρωμένη συλλογή από εργαλεία για ανάλυση δεδομένων

Η R σαν την S είναι σχεδιασμένη γύρω από μια πραγματική γλώσσα υπολογιστή και επιτρέπει στους χρήστες να προσθέσουν επιπλέον λειτουργικότητα με την δυνατότητα να ορίζουν νέες συναρτήσεις. Για ζητήματα που απαιτούν έντονη υπολογιστική ισχύ, κώδικας σε C, C++ και Fortran μπορεί να συνδεθεί και να κληθεί κατά τη διάρκεια που <<τρέχει>> ένας αλγόριθμος.

Η R εξελίσσεται συνεχώς μέσω της χρήσης πακέτων(packages) που δημιουργούνται από χρήστες με συγκεκριμένες συναρτήσεις, για συγκεκριμένες εφαρμογές. Επίσης η R έχει το δικό της LaTeX format, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή κατάλληλου documentation.

#### Προγραμματιστικά χαρακτηριστικά

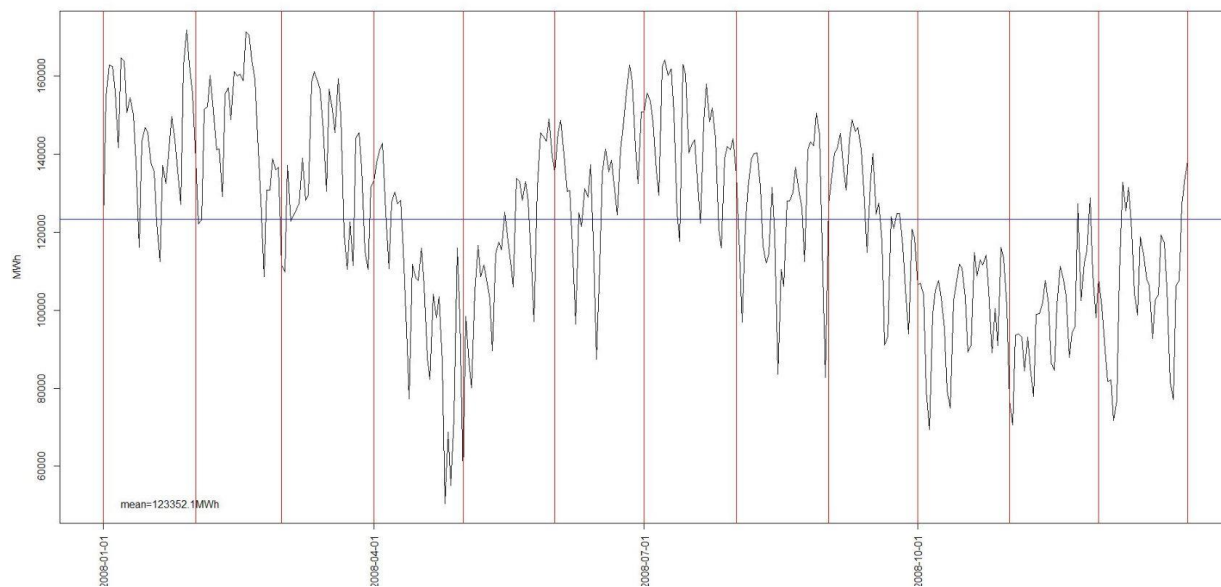
Η R είναι μια γλώσσα υψηλού επιπέδου με τη χρήση interpreter και χρησιμοποιεί command line. Όπως και άλλες παρόμοιες γλώσσες όπως η APL και η MATLAB, η R υποστηρίζει υπολογισμούς μεταξύ πινάκων. Η R επίσης πέρα από συναρτησιακό λογισμό, υποστηρίζει και object-oriented προγραμματισμό. (Wikipedia, 2014)

## 6.2 Παρουσίαση Δεδομένων

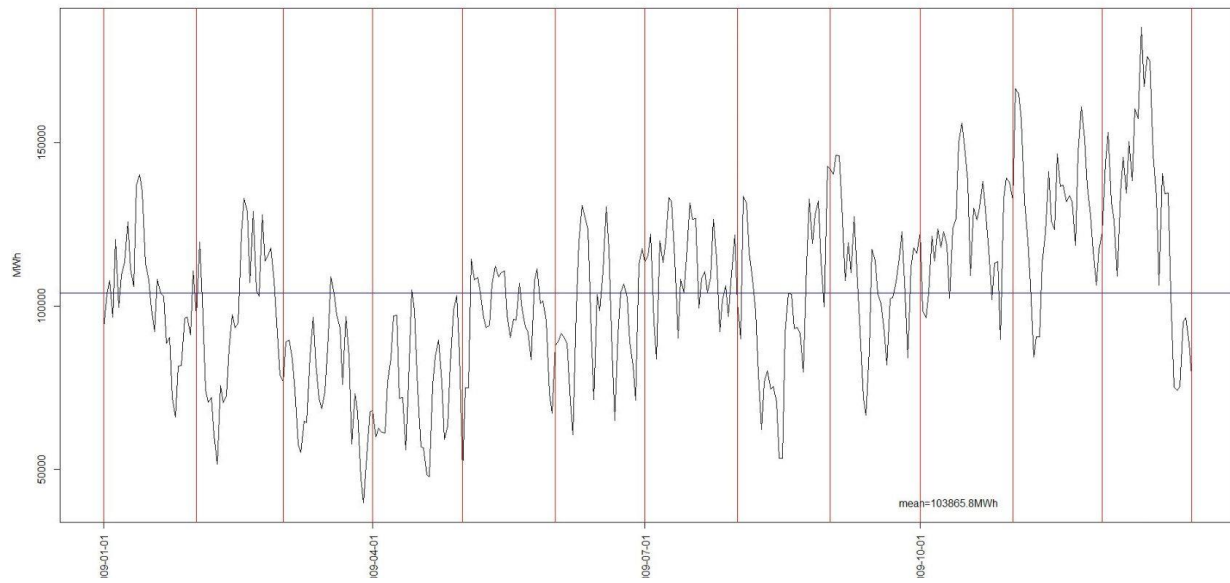
Τα δεδομένα που θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία αφορούν τα επίσημα στοιχεία της περιόδου 1/1/2008 έως και 21/5/2011, όπως αυτά αναρτήθηκαν επίσημα στην διαδικτυακή σελίδα του ΔΕΣΦΑ. Τα στοιχεία είναι οι συνολικές ημερήσιες ποσότητες φυσικού αερίου που εισήχθησαν στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου από όλα τα διαφορετικά σημεία εισόδου και είναι εκφρασμένα σε MWh. (ΔΕΣΦΑ, 2012)

Λόγω του πλήθους των δεδομένων σε πρώτη φάση επιλέχθηκε η παράθεση των ημερήσιων δεδομένων σε ετήσια βάση σε διαφορετικά διαγράμματα με ταυτόχρονη παράθεση σε κάθε διάγραμμα του ετήσιου μέσου όρου. Με μπλε γραμμή φαίνεται η ετήσια μέση τιμή και με τις κάθετες κόκκινες γραμμές ξεχωρίζουν οι ημερολογιακοί μήνες μεταξύ τους.

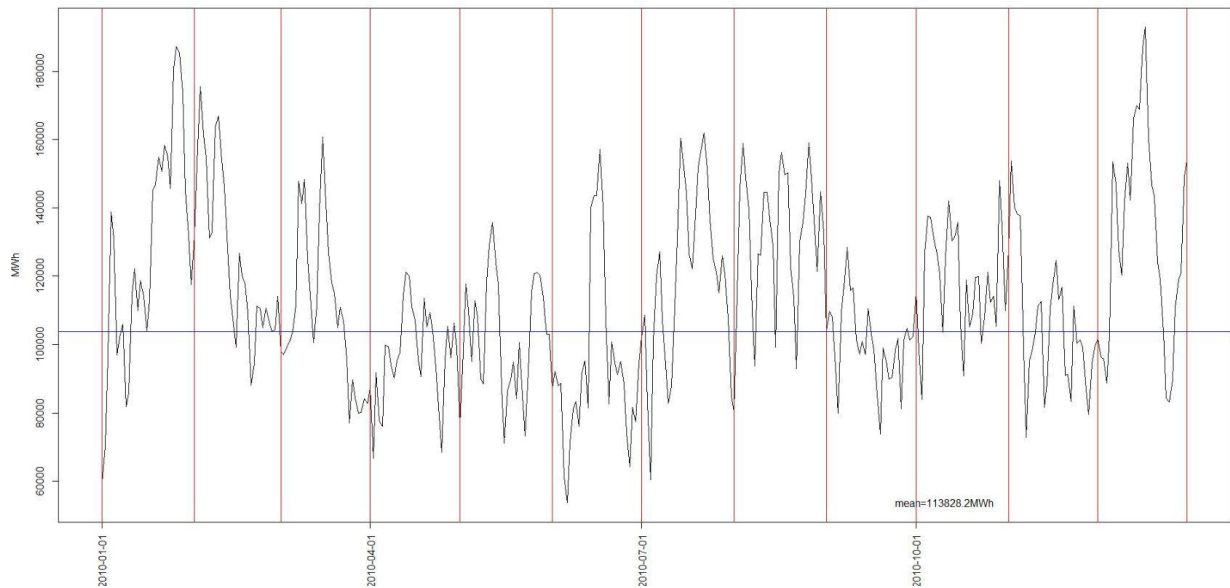
Όλες οι αναλύσεις και τα διαγράμματα έχουν δημιουργηθεί και εξαχθεί από το προγραμματιστικό περιβάλλον R.



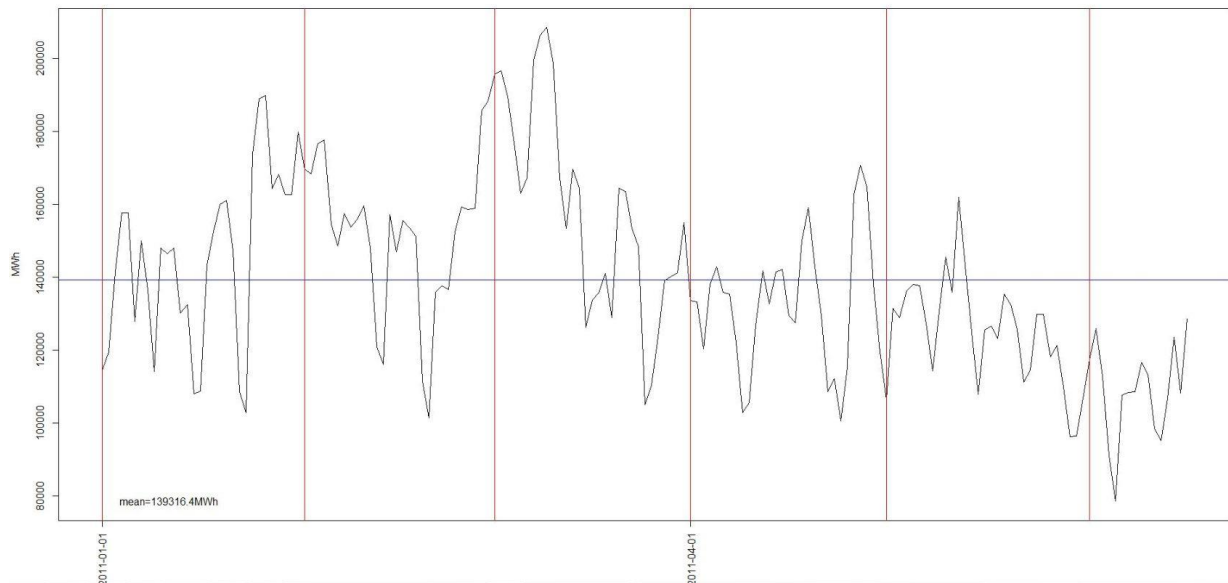
Εικόνα 6.2 Ημερήσια Ζήτηση Φ.Α στην ελληνική αγορά για το 2008



**Εικόνα 6.3 Ημερήσια Ζήτηση Φ.Α στην ελληνική αγορά για το 2009**

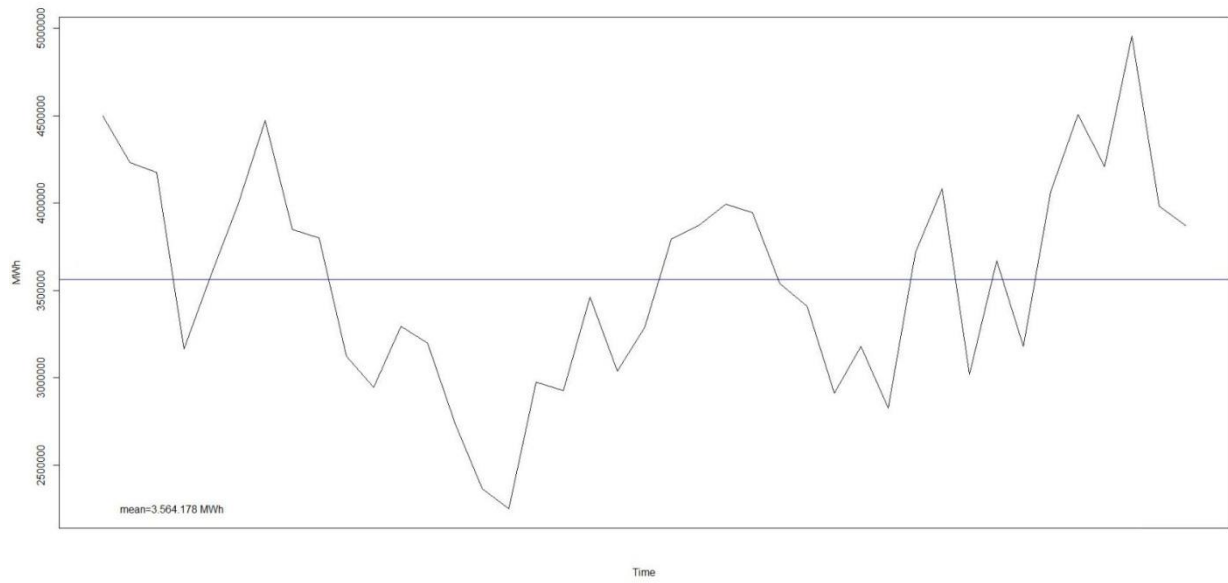


**Εικόνα 6.4 Ημερήσια Ζήτηση Φ.Α στην ελληνική αγορά για το 2010**



**Εικόνα 6.5 Ημερήσια Ζήτηση Φ.Α στην ελληνική αγορά για το 2011**

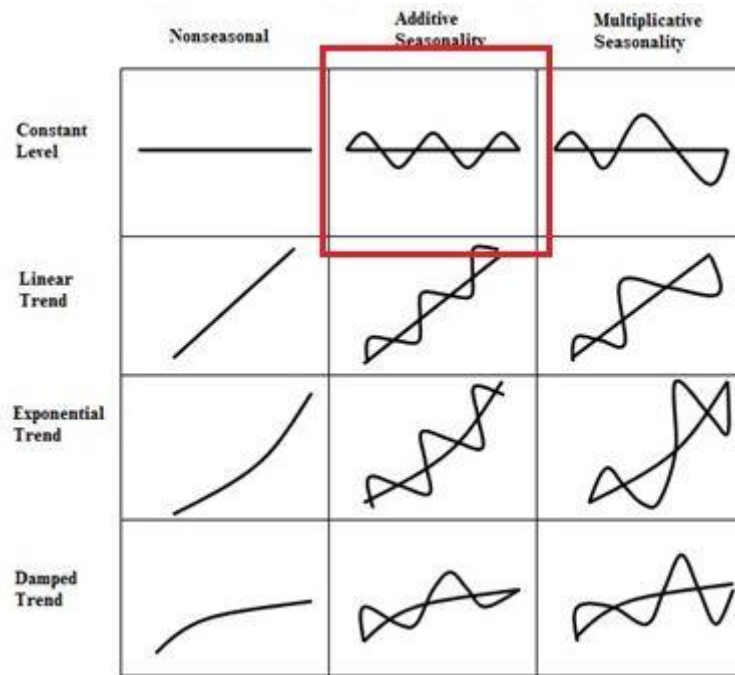
Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας απαιτήθηκαν οι μηνιαίες τιμές της ζήτησης φυσικού αερίου εκφρασμένες σε MWh. Αθροίζοντας τα διαθέσιμα δεδομένα προέκυψε μια χρονοσειρά αποτελούμενη από 41 στοιχεία, δηλαδή συνολική ζήτηση για 41 μήνες, ξεκινώντας από τον Ιανουάριο του 2008 και καταλήγοντας στον Μάιο 2011. Παρακάτω φαίνεται διαγραμματικά η παραπάνω χρονοσειρά.



**Εικόνα 6.6 Μηνιαία ζήτηση Φ.Α. στην ελληνική αγορά για τους μήνες Ιανουάριο**

**2008 έως και Μάιο 2011**

Με αυτή την διαγραμματική εικόνα της χρονοσειράς μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποια πρώτα συμπεράσματα. Σε μια πρώτη ανάγνωση η χρονοσειρά φαίνεται να είναι σταθερού επιπέδου χωρίς κάποια σαφή τάση. Επίσης η συνιστώσα της εποχικότητας είναι προσθετικού επιπέδου καθώς δεν διακρίνεται κάποια αύξηση της τάσης εποχικότητας με το πέρασ του χρόνου. Αν έπρεπε να τοποθετηθεί η χρονοσειρά προς εξέταση σε κάποια από τις κατηγορίες όπως αυτές απεικονίστηκαν στην εισαγωγή στα πρότυπα του Gardner κατ επέκταση της κατηγοριοποίησης κατά Pegel (1969), η συγκεκριμένη χρονοσειρά τοποθετείται στο σταθερό επίπεδο με συγχρόνως αθροιστική εποχικότητα.



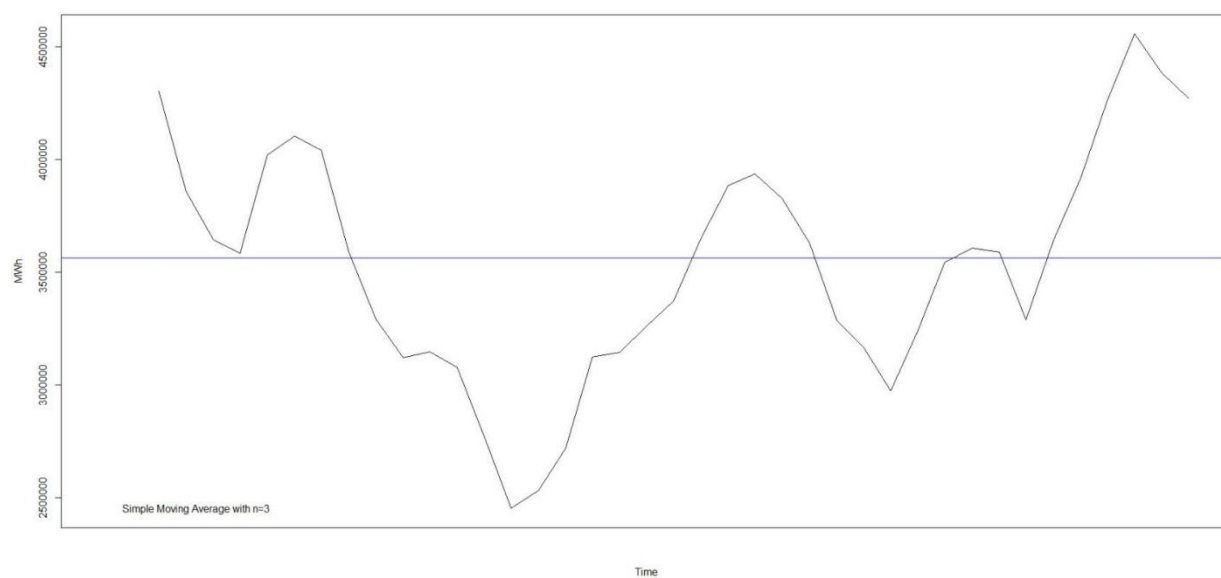
Εικόνα 6.7 Κατηγορίες χρονοσειρών (Gardner, 1985)



## 6.3 Αποσύνθεση Χρονοσειράς

### 6.3.1 Μέθοδος κινητών μέσων όρων

Αρχικά για να προσδιορίσουμε τη μορφή των δεδομένων απαλείφοντας τις συνιστώσες τυχαιότητας και εποχικότητας θα επέμβουμε στα δεδομένα μας εφαρμόζοντας την μέθοδο κινητών μέσων όρων. Η κύρια χρησιμότητα των κινητών μέσων όρων συνίσταται στην εξάλειψη της εποχικότητας και της τυχαιότητας από τις χρονοσειρές, ώστε να προκύψει μια εκτίμηση της γραμμής τάσης-κύκλου(trend-cycle). Στο παρακάτω διάγραμμα εμφανίζεται η χρονοσειρά μας αφού έχει εφαρμοστεί η απλή μέθοδος κινητών μέσων όρων τρίτης τάξεως.



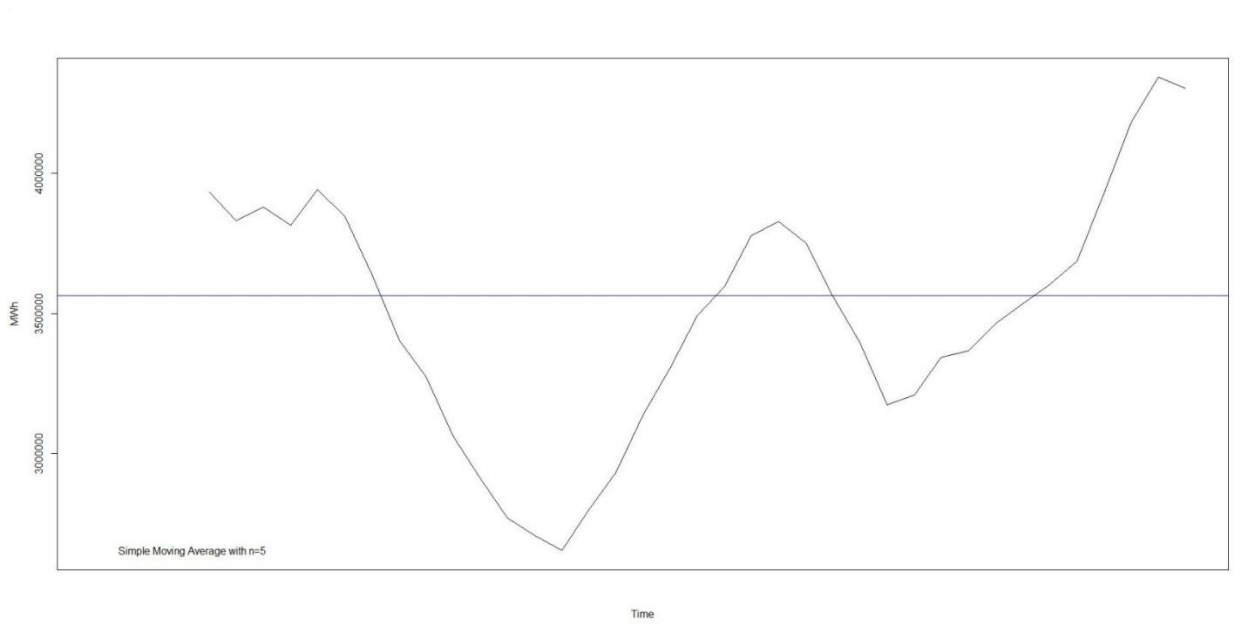
Εικόνα 6.8 Η χρονοσειρά μετά την εφαρμογή της μεθόδου κινητών μέσων όρων 3ης τάξεως

Τα νέα δεδομένα που προκύπτουν ύστερα από την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.1 Τα δεδομένα της μεθόδου κινητών μέσων όρων 3ης τάξης

	January	February	March	April	May	June	July	August	September
<b>2008</b>	NA	NA	4303121	3857583	3644563	3582822	4018827	4104763	4041510
<b>2009</b>	3146556	3078242	2769014	2452360	2531444	2718606	3123316	3144327	3264028
<b>2010</b>	3935865	3825804	3631150	3286877	3166481	2972543	3242185	3543870	3607758
<b>2011</b>	3916481	4259065	4556553	4382751	4270577				
	<b>October</b>	<b>November</b>	<b>December</b>						
<b>2008</b>	3592097	3290363	3121500						
<b>2009</b>	3373763	3650386	3885361						
<b>2010</b>	3590755	3289739	3637651						
<b>2011</b>									

Φαίνεται ότι έχει αρχίσει να σχηματίζεται μια χρονοσειρά με πιο έντονη τη συνιστώσα της τάσης, αλλά για υπάρξει μια πιο καθαρή εικόνα επιβάλλουμε στη χρονοσειρά την μέθοδο κινητών μέσων όρων πέμπτης τάξεως αυτή τη φορά. Στο παρακάτω διάγραμμα εμφανίζεται η χρονοσειρά μας αφού έχει εφαρμοστεί η απλή μέθοδος κινητών μέσων όρων πέμπτης τάξεως.



**Εικόνα 6.9 Η χρονοσειρά μετά την εφαρμογή της μεθόδου κινητών μέσων όρων 5ης τάξεως**

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα δεδομένα της μεθόδου.

**Πίνακας 6.2 Τα δεδομένα της μεθόδου κινητών μέσων όρων 5ης τάξης**

	January	February	March	April	May	June	July	August	September
<b>2008</b>	NA	NA	NA	NA	3933227	3831371	3879551	3814212	3941728
<b>2009</b>	3273147	3060776	2909482	2770346	2706742	2652712	2797390	2931930	3139713
<b>2010</b>	3777705	3828063	3751372	3559600	3396736	3173378	3209428	3344368	3365907
<b>2011</b>	3687559	3925469	4182666	4343366	4305225				
	<b>October</b>	<b>November</b>	<b>December</b>						
<b>2008</b>	3848071	3638737	3403331						
<b>2009</b>	3302782	3490998	3596939						
<b>2010</b>	3463992	3534685	3603187						
<b>2011</b>									

Πλέον έχουμε μια σαφή εικόνα της τάσης της χρονοσειράς. Είναι εμφανής μια πτώση κατά την περίοδο Φεβρουάριος-Αύγουστος 2009 και στη συνέχεια μια ανοδική πορεία με μία διακύμανση σχετική γύρω από τον μέσο όρο κατά την περίοδο Ιούλιος-Σεπτέμβριος 2010.

### 6.3.2 Μέθοδος Αποσύνθεσης

Δίνοντας στην R τα δεδομένα της χρονοσειράς και ορίζοντας την χρονοσειρά ως προσθετικού τύπου, μια επιλογή που στην R δίνεται by default προκύπτουν τα παρακάτω δεδομένα.

Στον πρώτο πίνακα φαίνονται τα δεδομένα στην αρχική μορφή τους

**Πίνακας 6.3 Αρχικά δεδομένα χρονοσειράς**

	January	February	March	April	May	June	July	August	September
<b>2008</b>	4500973	4231473	4176918	3164356	3592414	3991694	4472372	3850222	3801936
<b>2009</b>	3199300	2740079	2367662	2249339	2977330	2929150	3463469	3040362	3288252
<b>2010</b>	3944189	3540045	3409217	2911370	3178858	2827403	3720295	4083913	3019067
<b>2011</b>	4505776	4208617	4955267	3984368	3872097				
	<b>October</b>	<b>November</b>	<b>December</b>						
<b>2008</b>	3124133	2945020	3295346						
<b>2009</b>	3792676	3870229	3993178						
<b>2010</b>	3669285	3180865	4062803						
<b>2011</b>									

Στον δεύτερο πίνακα φαίνεται η επίπτωση της εποχικότητας πάνω στα δεδομένα τάσης κύκλου.

**Πίνακας 6.4 Επίπτωση εποχικότητας στα αρχικά δεδομένα**

	January	February	March	April	May	June	July	August	September
<b>2008</b>	354766.7	-66116.3	-306298	-609430	-127962	-348681	491873.9	264911.8	-33995.1
<b>2009</b>	354766.7	-66116.3	-306298	-609430	-127962	-348681	491873.9	264911.8	-33995.1
<b>2010</b>	354766.7	-66116.3	-306298	-609430	-127962	-348681	491873.9	264911.8	-33995.1
<b>2011</b>	354766.7	-66116.3	-306298	-609430	-127962				
	<b>October</b>	<b>November</b>	<b>December</b>						
<b>2008</b>	102752	-109181	387359.4						
<b>2009</b>	102752	-109181	387359.4						
<b>2010</b>	102752	-109181	387359.4						
<b>2011</b>									

Στον τρίτο πίνακα φαίνεται η επίπτωση της τυχειότητας πάνω στα δεδομένα τάσης-κύκλου.

**Πίνακας 6.5 Επίπτωση τυχειότητας στα αρχικά δεδομένα**

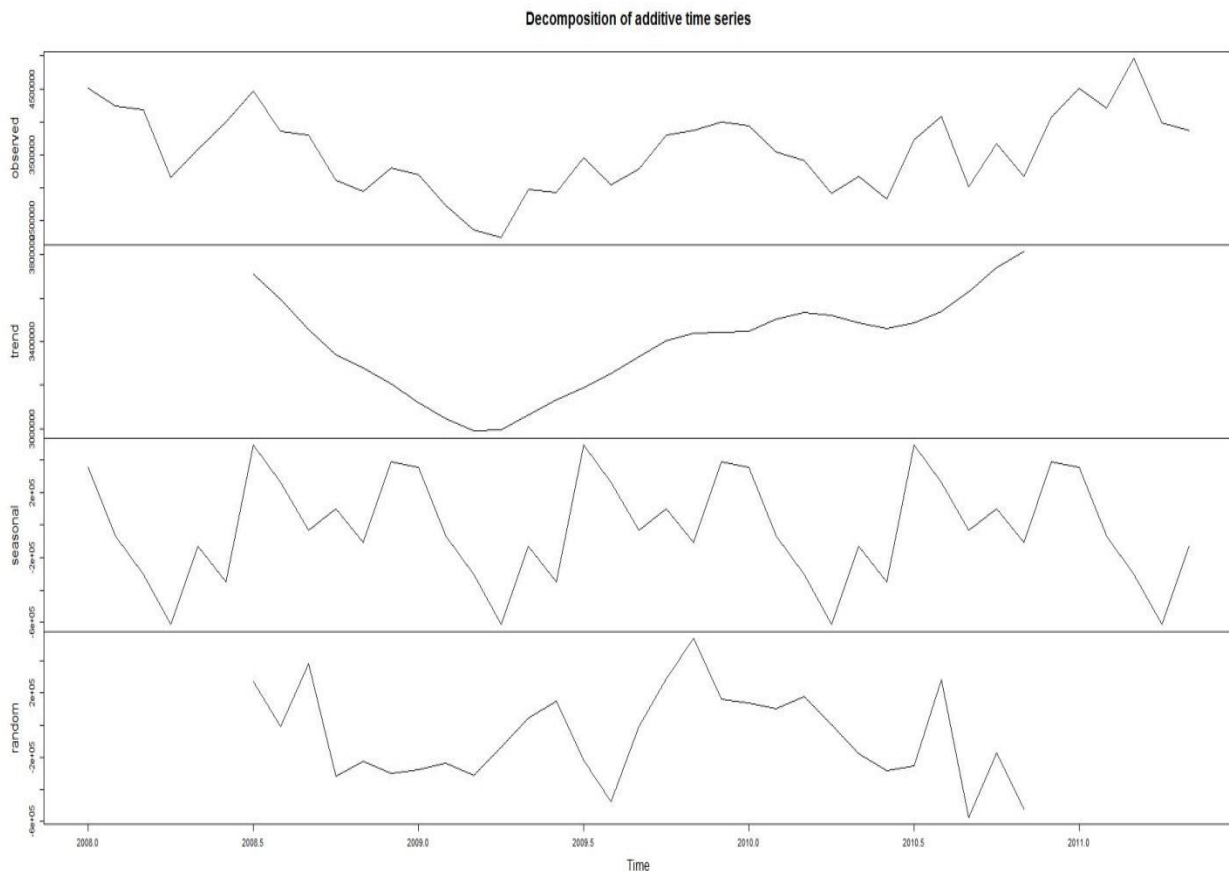
	January	February	March	April	May	June	July	August	September
<b>2008</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	272496.4	-6314.26	381833.9
<b>2009</b>	-276086	-238642	-315730	-137373	42742.73	147655.1	-218695	-479208	-9140.8
<b>2010</b>	140451.1	103007.2	180095.2	1738.188	-178378	-283290	-257254	282069.3	-576146
<b>2011</b>	NA	NA	NA	NA	NA				
	<b>October</b>	<b>November</b>	<b>December</b>						
<b>2008</b>	-319204	-222630	-298943						
<b>2009</b>	287553	541058	163308.2						
<b>2010</b>	-171801	-521881	NA						
<b>2011</b>									

Στον τέταρτο κατά σειρά πίνακα εμφανίζονται τα δεδομένα απαλλαγμένα από τις εποχικές και τυχαίες συνιστώσες. Ουσιαστικά παρουσιάζονται τα δεδομένα σε μορφή τάσης-κύκλου(trend-cycle).

**Πίνακας 6.6 Τα δεδομένα σε μορφή τάσης-κύκλου**

	January	February	March	April	May	June	July	August	September
<b>2008</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3708002	3591624	3454097
<b>2009</b>	3120620	3044838	2989691	2996143	3062549	3130176	3190289	3254658	3331388
<b>2010</b>	3448972	3503154	3535419	3519062	3485197	3459375	3485675	3536932	3629208
<b>2011</b>	NA	NA	NA	NA	NA				
	October	November	December						
<b>2008</b>	3340586	3276831	3206930						
<b>2009</b>	3402371	3438353	3442510						
<b>2010</b>	3738335	3811928	NA						
<b>2011</b>									

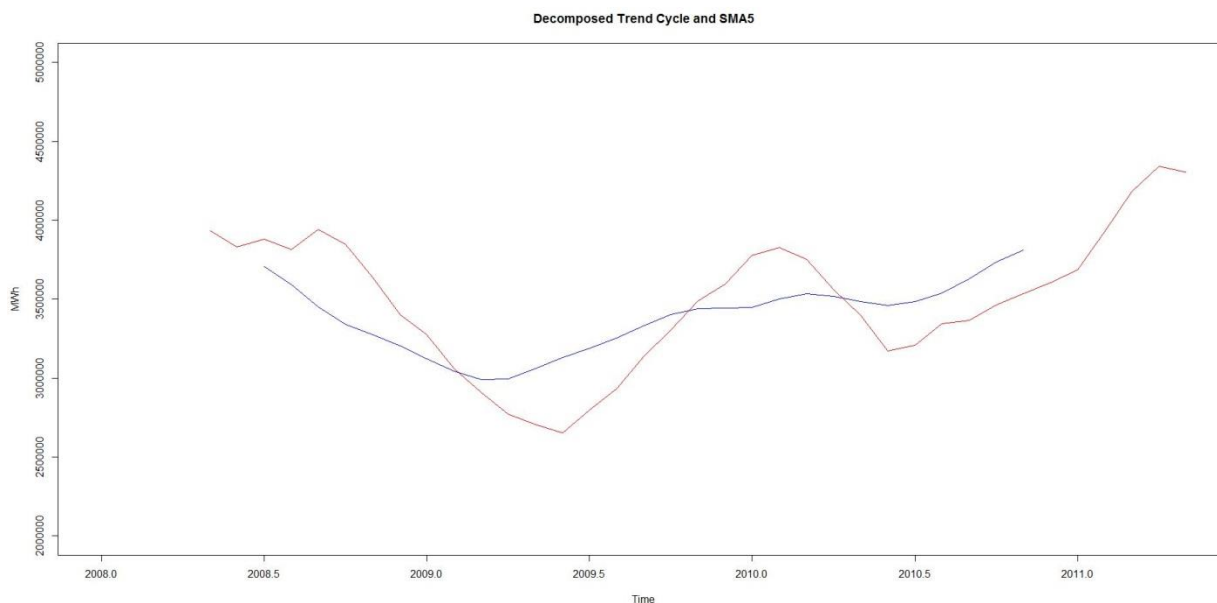
Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται οι συνιστώσες πως επιδρούν πάνω στα δεδομένα και με ποιo τρόπο προκύπτει η αυθεντική χρονοσειρά.



**Εικόνα 6.10 Η χρονοσειρά χωρισμένη στις συνιστώσες της**

Είναι πλέον πολύ πιο εύκολο να επιβεβαιωθεί αυτό που σε πρώτη φάση εμφανίστηκε σαν συμπέρασμα χρησιμοποιώντας την μέθοδο κινητών μέσων όρων. Είναι εμφανής η καθοδική τάση μέχρι και το πρώτο τρίμηνο του 2009 και στη συνέχεια η καθαρά ανοδική φάση στην οποία υπεισέρχονται τα δεδομένα μας.

Στο παρακάτω διάγραμμα γίνεται μια σύγκριση των μορφών τάσης-κύκλου που προκύπτουν από τις 2 διαφορετικές μεθόδους που έχουν επιλεγεί.



**Εικόνα 6.11 Σύγκριση μεθόδου εξομάλυνσης με τη μέθοδο κινητών μέσων όρων 5ης τάξης**

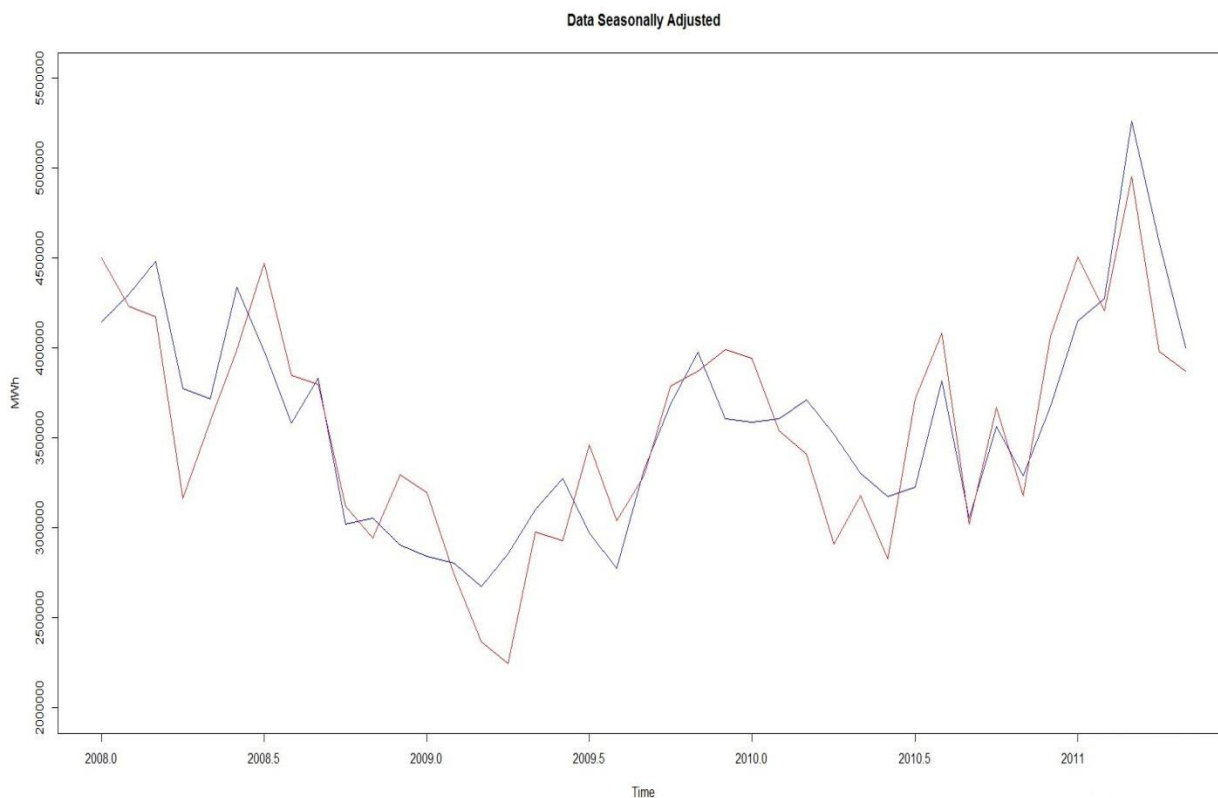
Είναι προφανές ότι αν αυξανόταν και άλλο η τάξη που θα επιβαλλόταν στην μέθοδο κινητών μέσων όρων τα δύο γραφήματα θα προσεγγίζανε μεγάλο βαθμό το ένα το άλλο. Είναι προφανές όμως ότι εποχιακά μετά το πρώτο τρίμηνο κάθε έτους έχουμε μια πτώση στη ζήτηση. Και αυτό είναι εμφανές στη διαφορά που βλέπουμε μεταξύ των δύο γραφημάτων. Επίσης μπορεί να εξαχθεί σαν συμπέρασμα ότι η μέθοδος κινητών μέσων όρων πέμπτης τάξης προχωράει σε αποσύνθεση της αρχικής χρονοσειράς αλλά δεν είναι αρκετή για να έχουμε μια πλήρη εικόνα της μορφής τάσης-κύκλου της χρονοσειράς.

Πλέον υπάρχει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα της χρονοσειράς με βάση τη μέθοδο της αποσύνθεσης. Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα δεδομένα από τα οποία έχει αφαιρεθεί η επίδραση της εποχικότητας σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθόδου που παρουσιάσαμε παραπάνω. (Coghlan, 2014)

**Πίνακας 6.7 Αποεποχικοποιημένα Δεδομένα**

	January	February	March	April	May	June	July	August	September
<b>2008</b>	4146206	4297590	4483216	3773787	3720376	4340375	3980498	3585310	3835931
<b>2009</b>	2844534	2806196	2673960	2858770	3105292	3277831	2971595	2775450	3322247
<b>2010</b>	3589423	3606161	3715514	3520800	3306819	3176084	3228421	3819001	3053062
<b>2011</b>	4151009	4274733	5261565	4593798	4000058				
	October	November	December						
<b>2008</b>	3021381	3054202	2907987						
<b>2009</b>	3689924	3979411	3605818						
<b>2010</b>	3566533	3290047	3675443						
<b>2011</b>									

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η νέα αυτή η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά σε συνδυασμό με την αρχική χρονοσειρά. Με κόκκινο χρώμα φαίνεται είναι η αυθεντική χρονοσειρά και με μπλε η χρονοσειρά αφού τις έχει αφαιρεθεί η εποχική συνιστώσα.



**Εικόνα 6.12 Σύγκριση Αποεποχικοποιημένης Χρονοσειράς με την Αυθεντική**

## 6.4 Πρόβλεψη με χρήση της μεθόδου SES

Δεδομένου ότι η προς επεξεργασία χρονοσειρά έχει τοποθετηθεί στο σταθερό επίπεδο, μία καλή μέθοδος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για προβλέψεις είναι η μέθοδος της απλής εκθετικής εξομάλυνσης (Simple Exponential Smoothing). Στην παρούσα μελέτη θα τρέξουν δύο παράλληλα μοντέλα πρόβλεψης. Το πρώτο θα αξιοποιήσει τα αυθεντικά δεδομένα ενώ η δεύτερη θα χρησιμοποιήσει τα δεδομένα που προέκυψαν ύστερα από την αφαίρεση της εποχικής συνιστώσας. Η χρήση της μεθόδου SES βασίζεται στα στοιχεία της χρονοσειράς μιας και κύρια χαρακτηριστικά της χρονοσειράς είναι προσθετικότητα και η απουσία κάποιας επικρατούσας τάσης. (Coghlan, 2014)

Αρχικά τρέχουμε το μοντέλο με τη χρήση των αυθεντικών δεδομένων. Σαν αρχικό επίπεδο επιλέγεται η πρώτη παρατήρηση.

Η γλώσσα R αυτόματα προσφέρει τη βέλτιστη παράμετρο εξομάλυνσης  $\alpha$  με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (MSE). Η μέθοδος μας δίνει σαν έξοδο τα παρακάτω δεδομένα:

Εικόνα 6.13 Ο συντελεστής  $\alpha$  της μεθόδου SES

Smoothing parameters:	
alpha:	0.73229

Επίσης προσφέρονται όλα τα δεδομένα των υπολογισμένων προβλέψεων

Πίνακας 6.8 Τα αποτελέσματα της μεθόδου SES πάνω στα αυθεντικά δεδομένα

		Πρόβλεψη
February	2008	4500973
March	2008	4311189
April	2008	4216634
May	2008	3475611
June	2008	3557865
July	2008	3863371
August	2008	4292235
September	2008	3980965
October	2008	3854891
November	2008	3340285
December	2008	3061936
January	2009	3226306
February	2009	3207288
March	2009	2878276
April	2009	2518697
May	2009	2329013
June	2009	2785564
July	2009	2886678
August	2009	3292859
September	2009	3115049
October	2009	3237020
November	2009	3628318

December	2009	3798674
January	2010	3935645
February	2010	3941662
March	2010	3658840
April	2010	3483053
May	2010	3080469
June	2010	3149755
July	2010	2922752
August	2010	3484389
September	2010	3906579
October	2010	3281585
November	2010	3554607
December	2010	3291415
January	2011	3834633
February	2011	4307258
March	2011	4237794
April	2011	4743045
May	2011	4208778

Στη συνέχεια κάνοντας χρήση της βιβλιοθήκης forecast της R παρέχεται ένας πίνακας προβλέψεων με ορίζοντα πρόβλεψης 12 μήνες.

**Πίνακας 6.9 12-μήνη πρόβλεψη της μεθόδου SES**

Point	Forecast	Lo80	Hi80	Lo95	Hi95	
June	2011	3971684	3337526	4605843	3001822	4941546
July	2011	3971684	3196061	4747307	2785471	5157897
August	2011	3971684	3076684	4866684	2602900	5340468
September	2011	3971684	2971455	4971913	2441966	5501402
October	2011	3971684	2876288	5067080	2296421	5646947
November	2011	3971684	2788753	5154615	2162547	5780821
December	2011	3971684	2707264	5236105	2037920	5905448
January	2012	3971684	2630717	5312651	1920852	6022516
February	2012	3971684	2558310	5385058	1810115	6133253
March	2012	3971684	2489436	5453933	1704781	6238587
April	2012	3971684	2423623	5519746	1604129	6339240
May	2012	3971684	2360496	5582872	1507584	6435784

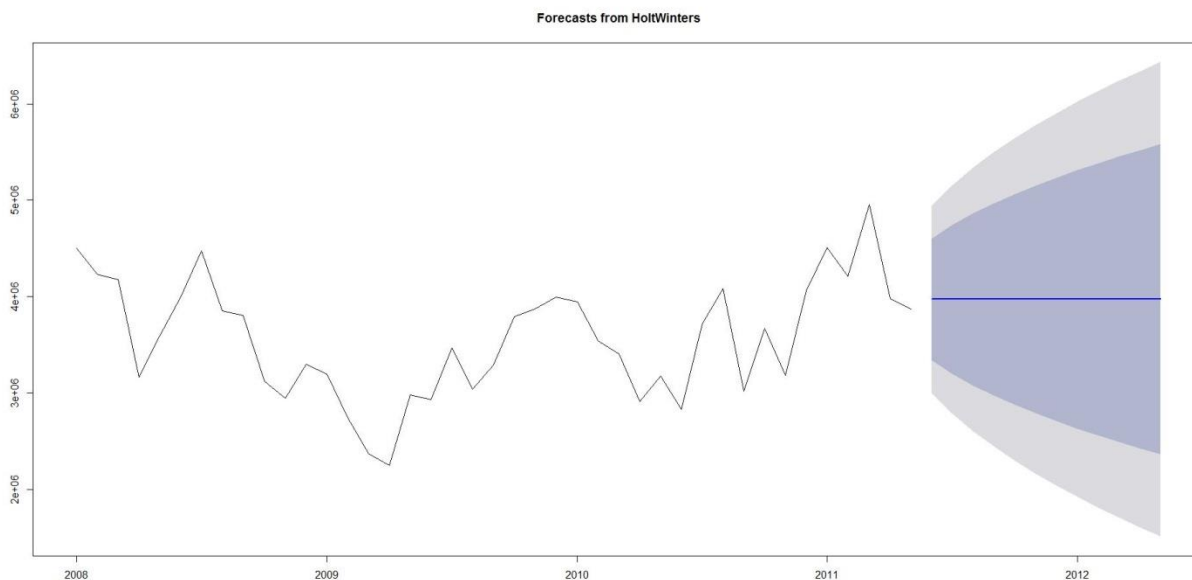
Με τη χρήση της συγκεκριμένης βιβλιοθήκης δίνεται η δυνατότητα πέραν την τιμής της πρόβλεψης να δίνεται και το διάστημα πρόβλεψης με πιθανότητα 80% ή με πιθανότητα 90%. Ουσιαστικά αφού χρησιμοποιούμε ένα μοντέλο σταθερού επιπέδου θα έχουμε ένα επίπεδο προβλέψεων και αυτό που ουσιαστικά αλλάζει στις προβλέψεις είναι το διάστημα πρόβλεψης μέσα στο οποίο είναι πιθανό να κινηθεί η προς πρόβλεψη τιμή.

Για να αξιολογήσουμε την αξιοπιστία του μοντέλου υπολογίζουμε και το σφάλμα SSE (Sum of squared errors) το οποίο από το μοντέλο υπολογίζεται ίσο με: (Bronson & Naadimuthu, 2010)

$$SSE=9.56 \cdot 10^{12}.$$



Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρονοσειρά προβλέψεων καθώς και το διάστημα προβλέψεων όπως αυτό υπολογίστηκε από τον παραπάνω πίνακα.



**Εικόνα 6.14 Χρονοσειρά και διάστημα εμπιστοσύνης προβλέψεων**

Στη συνέχεια θα εφαρμοστεί η ίδια μέθοδος αλλά πάνω στα αποεποχικοποιημένα δεδομένα που προέκυψαν από τη μέθοδο της αποσύνθεσης.

Σαν αρχικό επίπεδο επιλέγεται η πρώτη παρατήρηση.

Από την R μας παρέχεται και πάλι η παράμετρος εξομάλυνσης  $\alpha$ .

**Πίνακας 6.10 Παράμετρος alpha της μεθόδου SES**

Smoothing	parameters:
	alpha: 0.704209

Τα δεδομένα των υπολογισμένων προβλέψεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6.11 Αποτελέσματα της μεθόδου SES επί των αποεποχικοποιημένων δεδομένων**

		Πρόβλεψη
February	2008	4146206
March	2008	4257063
April	2008	4422672
May	2008	3947500
June	2008	3781180
July	2008	4190673
August	2008	4036764

September	2008	3706169
October	2008	3801192
November	2008	3230145
December	2008	3101304
January	2009	2959740
February	2009	2875376
March	2009	2824716
April	2009	2714319
May	2009	2820099
June	2009	3028943
July	2009	3211201
August	2009	3035740
September	2009	2845133
October	2009	3194519
November	2009	3557299
December	2009	3866407
January	2010	3675581
February	2010	3612488
March	2010	3607855
April	2010	3686693
May	2010	3565211
June	2010	3375993
July	2010	3229602
August	2010	3228737
September	2010	3660981
October	2010	3215808
November	2010	3472641
December	2010	3338929
January	2011	3585355
February	2011	3999577
March	2011	4201071
April	2011	4977660
May	2011	4696562

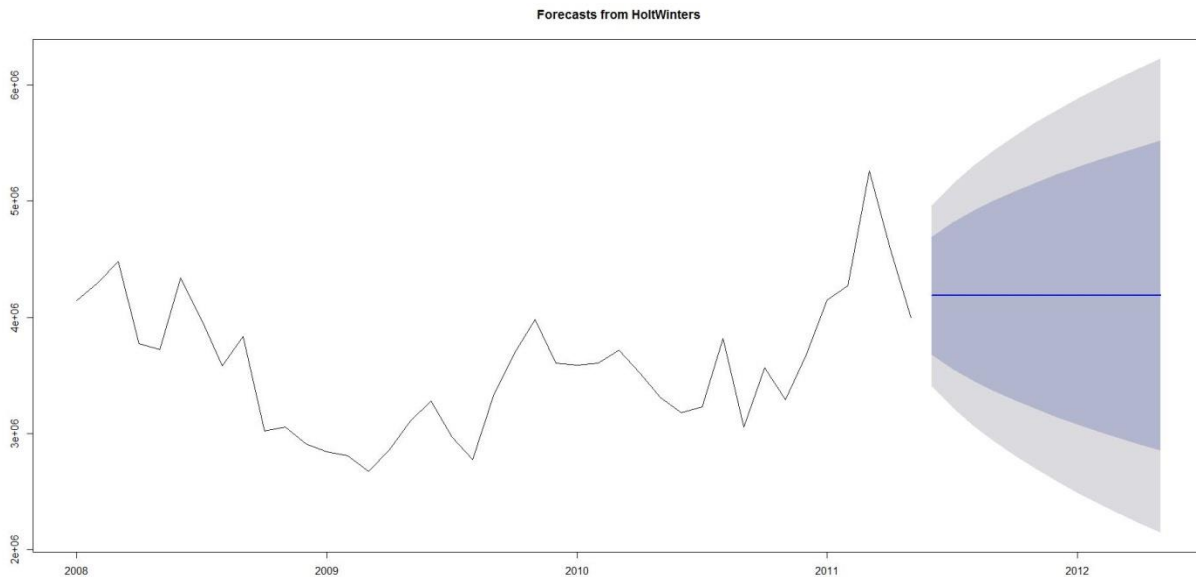
Και στη συνέχεια το μοντέλο προχωράει σε forecast με ορίζοντα πρόβλεψης 12 μηνών.

**Πίνακας 6.12** μήνη πρόβλεψη της μεθόδου SES

Point	Forecast	Lo80	Hi80	Lo95	Hi95	
June	2011	4186520	3677879	4695161	3408621	4964419
July	2011	4186520	3556082	4816957	3222349	5150690
August	2011	4186520	3454272	4918767	3066643	5306396
September	2011	4186520	3364983	5008056	2930088	5442952
October	2011	4186520	3284490	5088550	2806984	5566056
November	2011	4186520	3210613	5162426	2693999	5679040
December	2011	4186520	3141948	5231091	2588986	5784054
January	2012	4186520	3077527	5295513	2490462	5882578
February	2012	4186520	3016648	5356392	2397355	5975685
March	2012	4186520	2958783	5414256	2308859	6064180
April	2012	4186520	2903526	5469513	2224351	6148689
May	2012	4186520	2850553	5522487	2143335	6229705

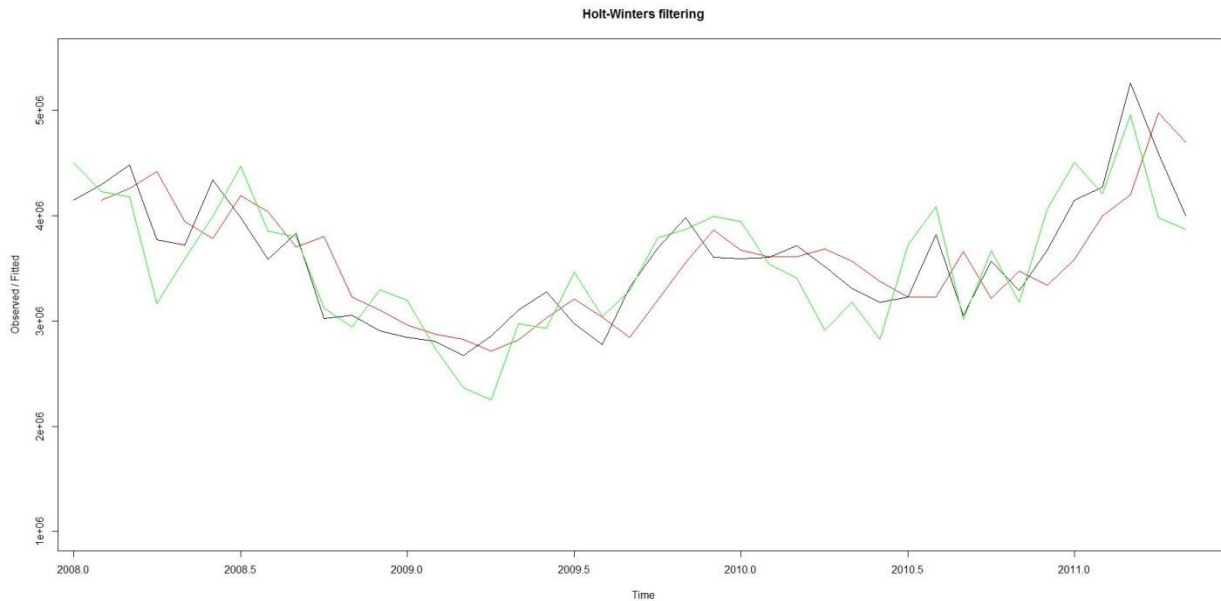
Το άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων (SSE) είναι ίσο με:  $SSE=6.14E+12$

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρονοσειρά προβλέψεων καθώς και το διάστημα προβλέψεων όπως αυτό υπολογίστηκε από τον παραπάνω πίνακα.



**Εικόνα 6.15 Χρονοσειρά και διάστημα εμπιστοσύνης προβλέψεων**

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται με πράσινο χρώμα η αυθεντική χρονοσειρά, με μαύρο χρώμα η χρονοσειρά αφού τις έχει αφαιρεθεί η συνιστώσα της εποχικότητας και με κόκκινο χρώμα είναι η χρονοσειρά προβλέψεων με βάση τα αποεποχικοποιημένα δεδομένα.



Εικόνα 6.16 Συνδυασμένη παρουσίαση αυθεντικής, αποεποχικοποιημένης και χρονοσειράς προβλέψεων

## 6.5 Πρόβλεψη με χρήση της μεθόδου Holt

Μια πιο ρεαλιστική παραδοχή θα ήταν η τοποθέτηση της χρονοσειράς σαν μοντέλο γραμμικής τάσης (linear trend) που αποτελεί και την πιο δημοφιλή επιλογή στα μοντέλα που συνήθως χρησιμοποιούνται. Μια διαφορετική ανάγνωση της αυθεντικής χρονοσειράς θα ήταν αντί για σταθερού επιπέδου η χρονοσειρά να ερμηνευθεί ως δύο κομμάτια ένα με φθίνουσα τάση μέχρι τον Αύγουστο του 2009 και μια σταθερή αυξητική τάση από εκεί και πέρα. Σε μια τέτοια ανάγνωση καταλληλότερο μοντέλο θα ήταν το μοντέλο γραμμικής τάσης ή αλλιώς το μοντέλο Holt Exponential Smoothing.

Και στην χρήση αυτού του μοντέλου θα χρησιμοποιηθούν και πάλι δύο χρονοσειρές. Η πρώτη θα είναι η χρονοσειρά με τα αυθεντικά δεδομένα και η δεύτερη αυτή με τα δεδομένα αφού πρώτα τους έχουν αφαιρεθεί οι εποχικές συνιστώσες.

Όπως και στο μοντέλο σταθερής τάσης η εύρεση των βέλτιστων παραμέτρων alpha και beta γίνεται με βάση την ελαχιστοποίηση του δείκτη σφάλματος MSE.

Τρέχοντας στην R το μοντέλο Holt με τα αυθεντικά δεδομένα έχουμε τα παρακάτω δεδομένα.

Πίνακας 6.13 Συντελεστές alpha και beta μεθόδου Holt

Smoothing	parameters:	
	alpha: 0.752615	0.752615
	beta : 0.092526	0.092526

Τα δεδομένα των υπολογισμένων προβλέψεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6.14 Δεδομένα προβλέψεων της μεθόδου Holt**

		<b>Πρόβλεψη</b>	<b>Επίπεδο</b>	<b>Τάση</b>
March	2008	3961974	4231473	-269499
April	2008	3869213	4123744	-254531
May	2008	3035112	3338727	-303615
June	2008	3189740	3454547	-264806
July	2008	3584342	3793303	-208961
August	2008	4105566	4252687	-147122
September	2008	3748487	3913390	-164903
October	2008	3627532	3788713	-161181
November	2008	3052430	3248666	-196236
December	2008	2767876	2971592	-203716
January	2009	2997874	3164858	-166984
February	2009	2996513	3149471	-152958
March	2009	2632702	2803517	-170815
April	2009	2243958	2433229	-189271
May	2009	2059111	2248008	-188897
June	2009	2625223	2750178	-124955
July	2009	2750172	2853963	-103791
August	2009	3232891	3287010	-54119
September	2009	3020465	3087991	-67526.1
October	2009	3173128	3222006	-48878.3
November	2009	3633674	3639409	-5735.02
December	2009	3822447	3811709	10737.85
January	2010	3973569	3950942	22626.94
February	2010	3972038	3951457	20581.08
March	2010	3637412	3646913	-9501.48
April	2010	3440276	3465669	-25392.2
May	2010	2979990	3042213	-62223.5
June	2010	3081286	3129661	-48375
July	2010	2824155	2890210	-66054.5
August	2010	3494953	3498604	-3650.4
September	2010	3975576	3938213	37362.73
October	2010	3226447	3255692	-29245.3
November	2010	3561326	3559734	1592.432
December	2010	3250084	3274985	-24901.6
January	2011	3893442	3861749	31693.38
February	2011	4428628	4354294	74334.21
March	2011	4322057	4263044	59013.35
April	2011	4901729	4798621	103107.9
May	2011	4250534	4211308	39226.01

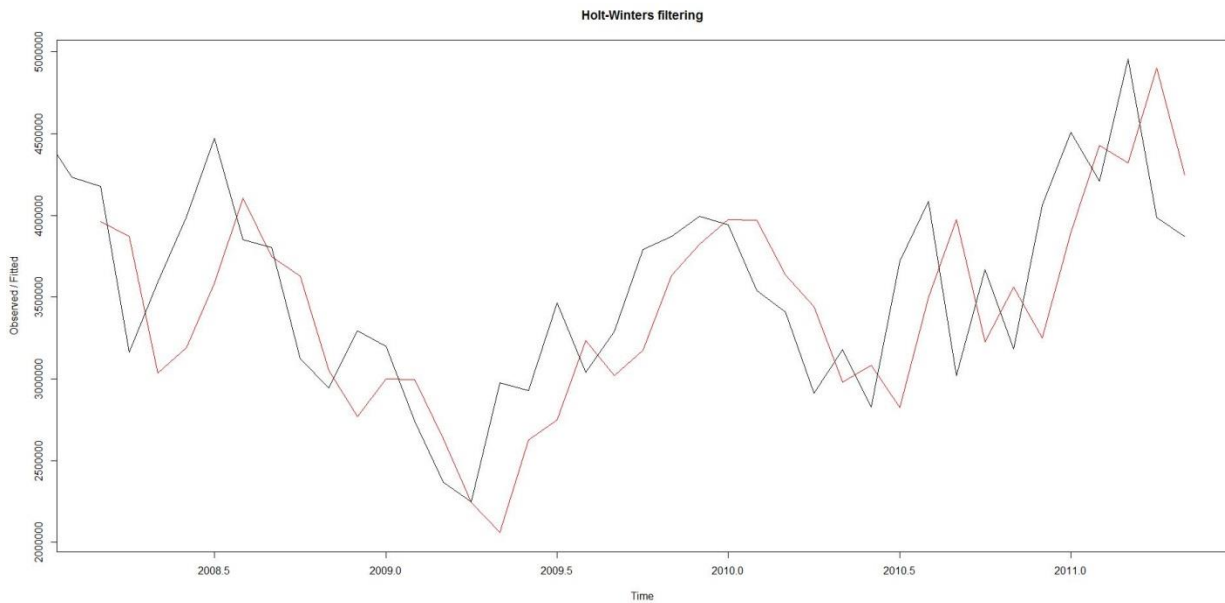
Και στη συνέχεια το μοντέλο προχωράει σε forecast με ορίζοντα πρόβλεψης 12 μηνών.

Πίνακας 6.15 Πρόβλεψη της μεθόδου Holt

Point	Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
June	3978589	3315532	4641647	2964530	4992649
July	3991462	3133040	4849885	2678618	5304306
August	4004335	2961928	5046742	2410111	5598559
September	4017208	2795292	5239124	2148449	5885967
October	4030081	2629884	5430278	1888664	6171498
November	4042954	2463937	5621971	1628055	6457852
December	4055827	2296402	5815251	1365019	6746634
January	4068700	2126626	6010774	1098554	7038846
February	4081573	1954182	6208963	828009	7335136
March	4094445	1778790	6410101	552956.6	7635934
April	4107318	1600265	6614372	273111.5	7941525
May	4120191	1418483	6821899	-11714.7	8252097
June	4133064	1233365	7032764	-301643	8567772
July	4145937	1044862	7247012	-596748	8888622
August	4158810	852947.7	7464672	-897070	9214690
September	4171683	657612.1	7685754	-1202625	9545990
October	4184556	458856.5	7910255	-1513410	9882521
November	4197429	256690.9	8138166	-1829410	10224267
December	4210302	51131.59	8369472	-2150600	10571203
January	4223175	-157800	8604149	-2476949	10923298
February	4236047	-370081	8842176	-2808418	11280513
March	4248920	-585683	9083523	-3144967	11642808
April	4261793	-804578	9328164	-3486552	12010139
May	4274666	-1026736	9576068	-3833128	12382461

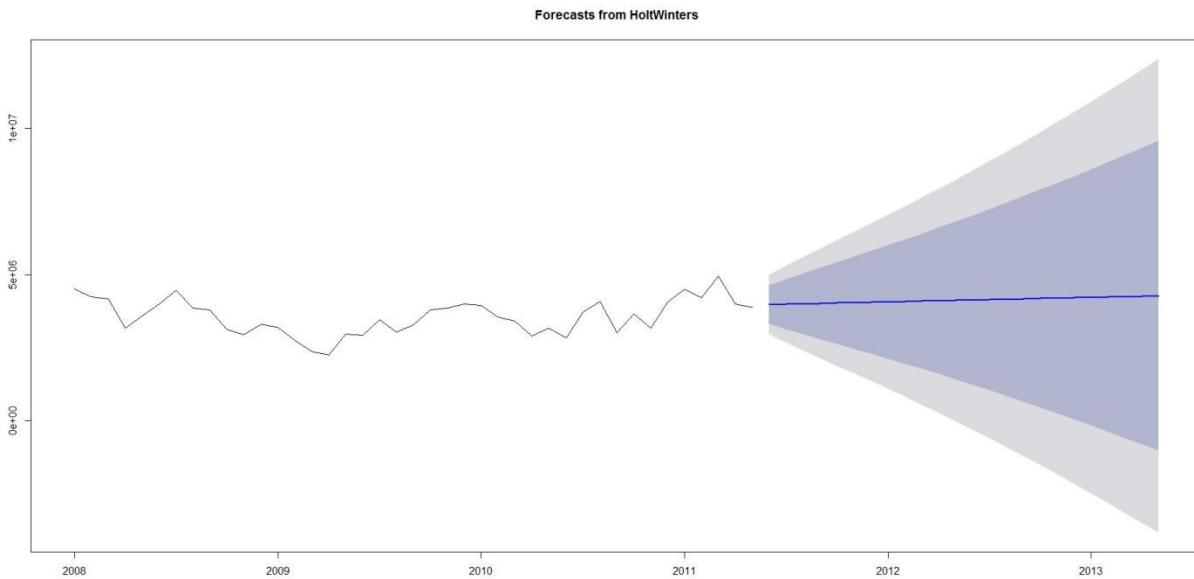
Το άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων (SSE) είναι ίσο με:  $SSE = 1.06E+13$

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται το μοντέλο Holt σχεδιασμένο μαζί με την αυθεντική χρονοσειρά.



Εικόνα 6.17 Συνδυασμένη παρουσίαση μεθόδου Holt μαζί με την αυθεντική χρονοσειρά

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρονοσειρά προβλέψεων καθώς και το διάστημα προβλέψεων όπως αυτό υπολογίστηκε από τον παραπάνω πίνακα.



**Εικόνα 6.18 Χρονοσειρά και διαστήματα εμπιστοσύνης προβλέψεων**

Εφαρμόζεται η ίδια μέθοδος με χρήση των αποεποχικοποιημένων δεδομένων.

**Πίνακας 6.16 Συντελεστές alpha και beta της μεθόδου Holt**

Smoothing	parameters:	
	alpha:	0.824408
	beta:	0.054983

Τα δεδομένα των υπολογισμένων προβλέψεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6.17 Δεδομένα προβλέψεων της μεθόδου Holt**

		Πρόβλεψη	Επίπεδο	Τάση
March	2008	4448974	4297590	151383.9
April	2008	4630139	4477203	152936
May	2008	4038274	3924155	114119.3
June	2008	3875906	3776196	99709.55
July	2008	4379581	4258818	120763
August	2008	4153247	4050574	102673.4
September	2008	3761965	3685035	76929.88
October	2008	3903226	3822943	80282.62
November	2008	3216536	3176226	40310.33
December	2008	3115658	3082706	32952.03
January	2009	2967991	2944452	23538.69
February	2009	2884154	2866212	17942.61
March	2009	2834294	2819885	14408.9
April	2009	2709255	2702113	7141.293

May	2009	2846434	2832516	13918.52
June	2009	3085491	3059839	25652.02
July	2009	3278428	3244058	34370.43
August	2009	3045934	3025472	20462.26
September	2009	2831147	2822945	8201.758
October	2009	3266477	3236014	30462.39
November	2009	3665227	3615570	49656.43
December	2009	3988140	3924242	63897.78
January	2010	3719519	3672951	46567.87
February	2010	3652937	3612267	40670.87
March	2010	3652925	3614375	38550.6
April	2010	3745912	3704524	41387.64
May	2010	3591512	3560328	31183.76
June	2010	3375088	3356809	18279.21
July	2010	3220287	3211028	9258.759
August	2010	3236620	3226992	9627.466
September	2010	3752765	3716740	36025.67
October	2010	3180233	3175924	4309.467
November	2010	3520522	3498702	21819.69
December	2010	3341889	3330516	11372.7
January	2011	3643366	3616874	26492.06
February	2011	4111374	4061871	49502.53
March	2011	4302956	4246048	56907.3
April	2011	5193600	5093241	100359.2
May	2011	4772290	4699118	73171.31

Και στη συνέχεια κατά τα γνωστά το μοντέλο προχωράει σε forecast με ορίζοντα πρόβλεψης 12 μηνών.

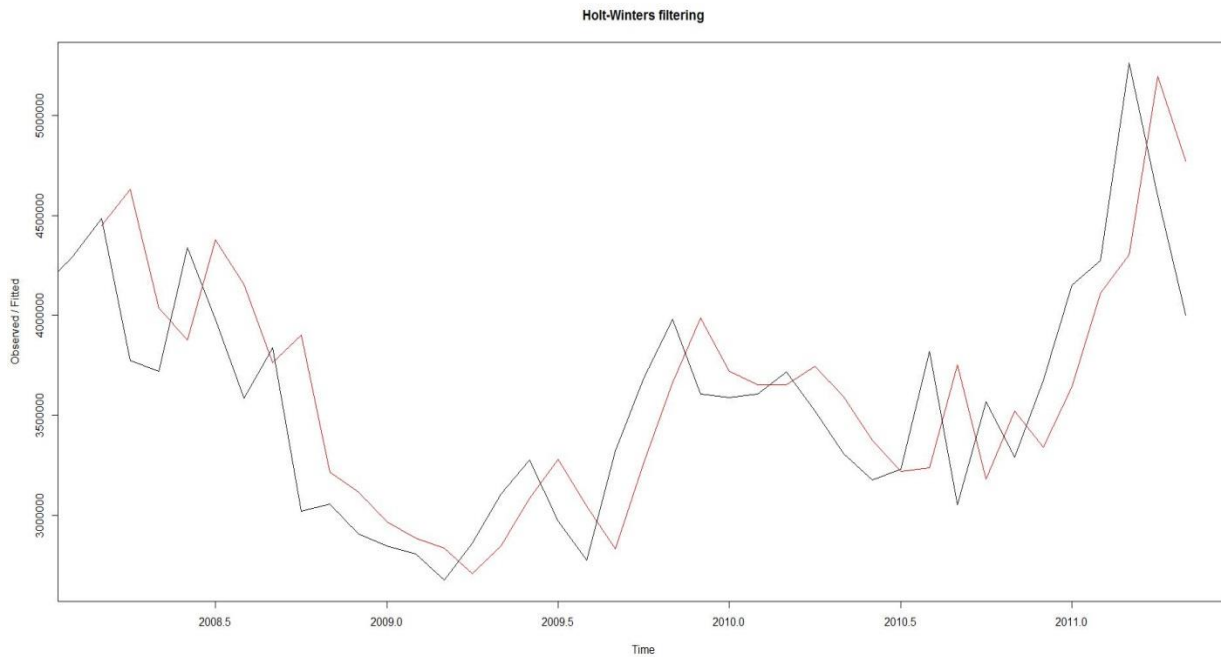
Πίνακας 6.18 Πρόβλεψη της μεθόδου Holt

Point	Forecast	Lo80	Hi80	Lo95	Hi95	
June	2011	4173823	3634576	4713071	3349116	4998531
July	2011	4211991	3497322	4926660	3118999	5304983
August	2011	4250159	3381688	5118629	2921948	5578370
September	2011	4288326	3277163	5299489	2741886	5834766
October	2011	4326494	3179073	5473915	2571665	6081322
November	2011	4364661	3084892	5644430	2407424	6321899
December	2011	4402829	2993096	5812562	2246828	6558830
January	2012	4440997	2902690	5979303	2088360	6793633
February	2012	4479164	2812995	6145333	1930978	7027350
March	2012	4517332	2723525	6311139	1773941	7260723
April	2012	4555499	2633924	6477075	1616703	7494295
May	2012	4593667	2543926	6643408	1458858	7728475
June	2012	4631834	2453326	6810343	1300093	7963576
July	2012	4670002	2361966	6978038	1140165	8199839
August	2012	4708170	2269722	7146617	978885.6	8437454
September	2012	4746337	2176496	7316178	816104.7	8676570
October	2012	4784505	2082211	7486798	651703.3	8917306
November	2012	4822672	1986804	7658541	485586.1	9159759
December	2012	4860840	1890225	7831454	317677.1	9404003
January	2013	4899007	1792435	8005580	147915.2	9650100
February	2013	4937175	1693402	8180948	-23748.2	9898098
March	2013	4975343	1593099	8357586	-197352	10148037
April	2013	5013510	1491509	8535512	-372927	10399947
May	2013	5051678	1388613	8714742	-550496	10653851



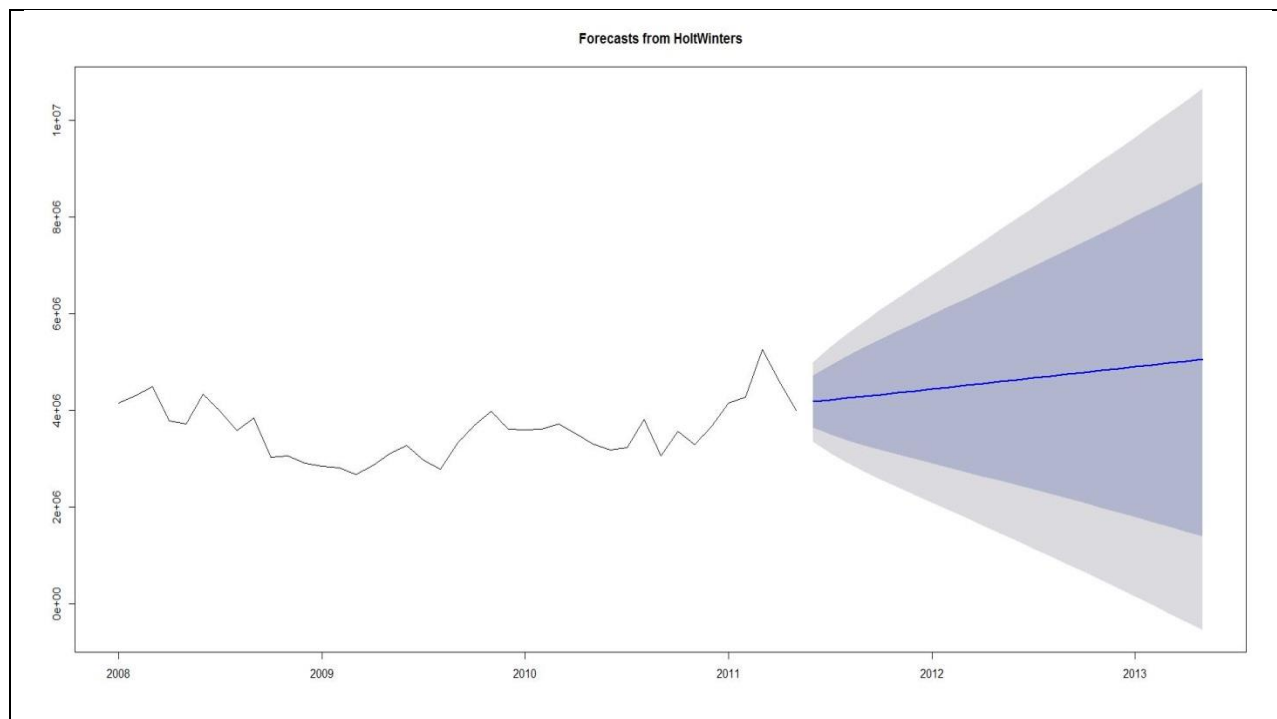
Το άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων (SSE) είναι ίσο με:  $SSE = 6.89E+12$

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται το μοντέλο Holt σχεδιασμένο μαζί με την αποεποχικοποιημένη σειρά.



**Εικόνα 6.19 Συνδυασμένη παρουσίαση της χρονοσειράς πρόβλεψης και της αποεποχικοποιημένης χρονοσειράς**

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρονοσειρά προβλέψεων καθώς και το διάστημα προβλέψεων όπως αυτό υπολογίστηκε από τον παραπάνω πίνακα.



Εικόνα 6.20 Χρονοσειρά και διαστήματα εμπιστοσύνης προβλέψεων

Στον παρακάτω συνοπτικό πίνακα παρουσιάζονται τα μοντέλα και τα κυριότερα εκ των αποτελεσμάτων τους.

Εικόνα 6.21 Συγκεντρωτικός Πίνακας

Μοντέλο	Δεδομένα	Πρόβλεψη( $v+1$ )	alpha	beta	SSE
Σταθερού επιπέδου	Αυθεντικά	3971684	0.704209	-	9.56E+12
Σταθερού επιπέδου	Αποεποχικοποιημένα	4186520	0.73229	-	6.14E+12
Holt	Αυθεντικά	3978589	0.752615	0.092526	1.06E+13
Holt	Αποεποχικοποιημένα	4173823	0.8244083	0.05498253	6.89E+12

## 7 Συμπεράσματα και προοπτικές

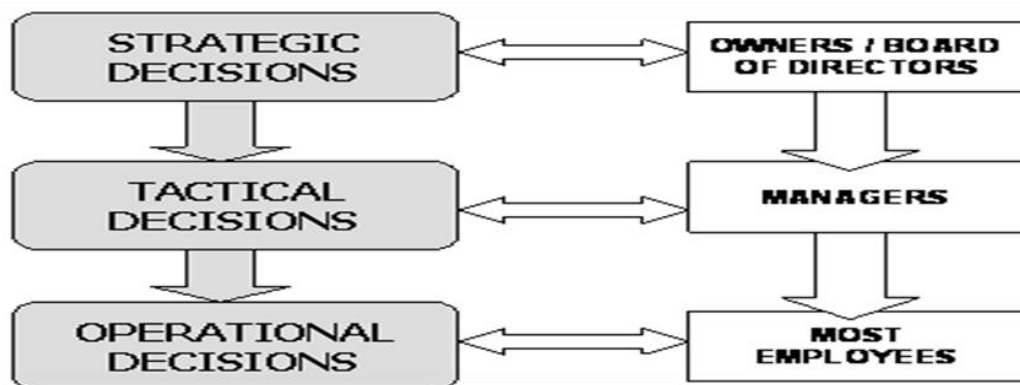
Από τα παραπάνω αποτελέσματα τόσο των σεναρίων της μοντελοποίησης που παρουσιάστηκε, όσο και των αποτελεσμάτων των μοντέλων προβλέψεων γίνεται εμφανής η σημαντικότητα της χρήσης τέτοιων εργαλείων στον επιχειρησιακό σχεδιασμό της εταιρείας.

### 7.1 Συμπεράσματα και προοπτικές στη μοντελοποίηση με χρήση γραμμικού προγραμματισμού

Με βάση τα σενάρια που παρουσιάστηκαν, γίνεται κατανοητή η σημασία της χρήσης τέτοιων μοντέλων στον τακτικό αλλά και στρατηγικό σχεδιασμό μιας εταιρείας. Με τον τρόπο αυτό η εταιρεία έχει μια σαφή εικόνα των αναγκών, κινδύνων, υποχρεώσεων αλλά και ευκαιριών που της παρουσιάζονται. Επίσης καθίσταται σαφής η ανάγκη για αξιόπιστες και σημαντικού μεγέθους υποδομές για την αξιοποίηση ευκαιριών ιδιαίτερα από τη χρήση της spot αγοράς. Φυσικά η οικονομική ωφέλεια τέτοιων ευκαιριών, η συχνότητα εμφάνισης των, αλλά και το κόστος που απαιτείται για την ανάπτυξη τέτοιων υποδομών είναι κάτι που αλλάζει από αγορά σε αγορά και δεν είναι μέσα στα πλαίσια της παρούσας εργασίας να το εξετάσει.

Ένα άλλο κομμάτι που γίνεται σαφές είναι η ακαμψία που μπορεί να δημιουργηθεί στις κινήσεις μιας εταιρείας από τις μακροχρόνιες συμβάσεις που έχει υπογράψει με προμηθευτές της. Τέτοιες συμβάσεις μπορεί να δημιουργήσουν ευνοϊκή τιμολογιακή πολιτική αλλά η δέσμευση για την παραγγελία συγκεκριμένων ποσοτήτων μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα αν η ζήτηση δεν ακολουθήσει τις εκτιμήσεις των συμβάσεων.

Τέλος αν έπρεπε να κατατάξουμε αυτό το μοντέλο σαν ένα εργαλείο στα χέρια της διοίκησης θα χαρακτηριζόταν όχι τόσο σαν ένα εργαλείο για το επιχειρησιακό επίπεδο (day to day approach), αλλά πιο πολύ στο τακτικό και στρατηγικό επίπεδο. Η χρήση μηνιαίων μεταβλητών απομακρύνει το μοντέλο από τις λειτουργικές ιδιαιτερότητες και περιορισμούς και το οδηγεί στην απεικόνιση της εικόνας της εταιρείας από ένα υψηλότερο επίπεδο. Ουσιαστικά δημιουργεί ένα άνω όριο στο τι θα αντιμετωπίσει η εταιρεία με βάση τις προβλέψεις της ζήτησης και από εκεί και πέρα τυχόν λειτουργικοί περιορισμοί, μειώνουν ή αλλάζουν τις μεταβλητές που αποφασίζει το μοντέλο.



### Εικόνα 7.1 Παρουσίαση επιπέδου απόφασης μοντέλου

Μια πιθανή επέκταση του συγκεκριμένου μοντέλου είναι η χρήση ημερήσιων μεταβλητών ζήτησης και η εισαγωγή και ημερήσιων λειτουργικών περιορισμών. Η επιλογή μηνιαίων μεταβλητών έγινε στην προσπάθεια να προταθεί ένα αξιόπιστο μοντέλο με σκοπό της απόδοσης μια γενικότερης εικόνας της εταιρείας με βάση την οποία μπορούν να παρθούν αποφάσεις για την ανάπτυξη, επέκταση και πολιτική της εταιρείας από την διοίκηση σε ένα υψηλότερο επίπεδο.

## 7.2 Συμπεράσματα και προοπτικές στη μοντελοποίηση με χρήση μοντέλων πρόβλεψης

Η επιλογή μεθόδων χρονοσειρών έγινε λόγω της ιδιότητας που αυτές παρουσιάζουν, να επιτρέπουν δηλαδή τη χρήση νέων ιστορικών δεδομένων στη καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου. Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί για πρόβλεψη 12 μηνών, αλλά φυσικά με το πέρασμα του χρόνου νέα ιστορικά δεδομένα εισέρχονται στο μοντέλο πρόβλεψης, για εξαγωγή καλύτερα προσαρμοσμένων αποτελεσμάτων.

Με βάση των συγκεντρωτικό πίνακα αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκε παραπάνω, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα.

Πίνακας 7.1 Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων

Μοντέλο	Δεδομένα	Πρόβλεψη(n+1)	alpha	beta	SSE
Σταθερού επιπέδου	Αυθεντικά	3971684	0.704209	-	9.56E+12
Σταθερού επιπέδου	Αποεποχικοποιημένα	4186520	0.73229	-	6.14E+12
Holt	Αυθεντικά	3978589	0.752615	0.092526	1.06E+13
Holt	Αποεποχικοποιημένα	4173823	0.8244083	0.05498253	6.89E+12

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται η αύξηση του συντελεστή προσαρμογής alpha όταν γίνεται χρήση αποεποχικοποιημένων δεδομένων σε σχέση με τη χρήση των αυθεντικών δεδομένων. Η απώλεια της εποχικής συνιστώσας οδηγεί τα δεδομένα κινούνται πιο κοντά στον μέσο όρο όποτε τυχόν αλλαγές στο επίπεδο κάνουν το μοντέλο πιο ευαίσθητο, σε αντίθεση με τα αυθεντικά δεδομένα που κινούνται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από το μ.ο.

Επίσης στη χρήση του μοντέλου Holt υπάρχει μια μείωση του συντελεστή beta στη χρήση των αποεποχικοποιημένων δεδομένων. Αυτό οφείλεται στην κάμψη που υπάρχει στην αύξηση της τάσης που φαίνεται στην χρονοσειρά μας το 2011 (βλ. Εικόνα 6.6) οπότε το μοντέλο γίνεται λιγότερο ευαίσθητο στις μεταβολές της τάσης ειδικά αφού από τα δεδομένα έχει αφαιρεθεί και η εποχική συνιστώσα.

Με βάση τα σφάλματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 7.1 η χρήση αποεποχικοποιημένων δεδομένων παρουσιάζει μικρότερα σφάλματα τόσο στη μέθοδο SES, όσο και στη μέθοδο Holt. Επίσης καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα έχει το μοντέλο SES στα αποεποχικοποιημένα δεδομένα, όπου εμφανίζεται και ο μικρότερος δείκτης σφάλματος.

Για ορίζοντα πρόβλεψης 12 μηνών, θεωρείται καλύτερη η χρήση της μεθόδου Holt, διότι είναι πιο προσαρμοσμένη στην πραγματικότητα της αγοράς. Για πρόβλεψη μόνο του επόμενου βήματος (one step ahead forecasting), θα επιλεγόταν η SES για λόγους που προαναφέρθηκαν.

Η χρήση μηνιαίων μεταβλητών θεωρείται ότι περιέχει ενδογενώς παραμέτρους θερμοκρασίας, κυκλικών ή εποχικών οικονομικών παραμέτρων κτλ. Φυσικά μια ημερήσια αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος ίσως να καθιστούσε υποχρεωτική την σύνδεση των αποτελεσμάτων με συγκεκριμένες μεταβλητές (θερμοκρασία, οικονομία κτλ)

Η επιλογή των μηνιαίων μεταβλητών επίσης δίνει την δυνατότητα εισαγωγής κριτικών και εμπειρικών προβλέψεων, ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας σε μια αγορά που εξωτερικοί παράγοντες που δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν αλλά μπορεί να οδηγήσουν σε τεράστιες και κομβικής σημασίας αλλαγές στις αποφάσεις (βλ. Ρωσο-Ουκρανική Κρίση, Ρώσο-Γεωργιανή κρίση κτλ).

## Bibliography

- UNM Valencia. (2014). *Cause and Effect Essay Model*. Valencia: Retrieved January 15, 2014 from <http://www.unm.edu/~unmvclib/classpages/101models/causeandeffect.html>.
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. (2009). *Έκθεση της ΡΑΕ για την ασφάλεια εφοδιασμού της χώρας με φυσικό αέριο*. Retrieved January 23, 2014, from [http://www.rae.gr/old/K2/Report-SoS\\_GAS.pdf](http://www.rae.gr/old/K2/Report-SoS_GAS.pdf).
- Akkurt, M., Demirel, O., & Zaim, S. (2010). "Forecasting Turkey's Natural Gas Consumption by Using Time Series Methods. *European Journal of Economic and Political Studies*, 2.
- Avery, W., Brown, J., Rosenkranz, R., & Wood, G. (1992). Optimization of Purchase, Storage and Transmission Contracts for Natural Gas Utilities. *Operations Research*, 40(3), 446-462.
- Bopp, A., Kannan, V., Palocsay, S., & Stevens, S. (1996). An Optimization Model for Planning Natural Gas Purchases, Transportation, Storage and Deliverability. *Omega, International Journal of Management Science*, 24(5), 511-522.
- Bronson, R., & Naadimuthu, G. (2010). *Επιχειρησιακή Έρευνα*. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Brooks, R. (1995). Optimizing Complex Natural Gas Models. *Presentation at the INFORMS Annual Meeting, Institute for Operation Research and Management Science*.
- Brooks, R., & Neill, C. (2003). Natural Gas Operations Optimizing System . *Presentation at the INFORMS Annual Meeting, Institute for Operation Research and Management Science*.
- Chin, L., & Vollmann, T. (1992). Decision Support Models for Natural Gas dispatch. *Find Articles, Business, Transportation Journal*.
- Coghlan, A. (2014). *A Little Book of R For Time Series*. Cambridge U.K.
- Energypress.gr. (2013). *IOBE: Όφελος έως και 36 δις. για την οικονομία από τον TAP*. Retrieved July 10, from <http://www.energypress.gr/news/IOBE:-Ofelos-ews-kai-36-dis.-gia-thn-oikonomia-apo-ton-TAR>.
- Gardner, S. (1985). Exponential Smoothing "The State of the Art". *Journal of forecasting*, vol 4, pp 1-38.
- Guldman, J., & Wang, F. (1999). Optimizing the natural gas supply mix of local distribution utilities. *European Journal of Operational Research*, 112, 598-612.

- IOBE. (2011). *Επιδράσεις και αναγκαίες προσαρμογές για τη μεγάλη κλίμακα διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή*. Αθήνα: Μονάδα Παρακολούθησης και Ανάλυσης του Τομέα Ηλεκτρικής Ενέργειας του Ιδρύματος Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών (IOBE).
- Levin, D., Rubin, D., & Stinson, J. (1986). *Quantitative approaches to management*. New York: McGraw-Hill.
- Sánchez-Úbeda, E., & Berzosa, A. (2007). Modeling and forecasting industrial end-use natural gas consumption. *Energy Economics* 29, 710–742.
- Shim, J., & Siegel, J. (2011). *Διοίκηση Εκμετάλλευσης*. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Torres, F. (1990). Linearization of mixed-integer products. *Volume 49, Issue 1-3*, 427-428.
- Trans Adriatic Pipeline AG. (2014). *Η ΕΤΑΙΡΕΙΑ TAP AG*. Retrieved January 26 2014, from <https://www.trans-adriatic-pipeline.com/gr/about-us/tap-ag-company/>.
- Weizsacker, C., & Perner, J. (2001). An Integrated simulation model for European electricity and natural gas supply. *Electrical Engineering*, 83, 265-270.
- Wikipedia. (2014). *R(programming\_language)*. Retrieved February 2, 2014 from [http://en.wikipedia.org/wiki/R\\_\(programming\\_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/R_(programming_language)).
- Υpodomes.gr. (2013). *Προχωρά ο αγωγός φυσικού αερίου TAP στην Ελλάδα*. Retrieved November 25, from <http://ypodomes.com/index.php/energeia/fusiko-aerio/item/22617>.
- Zwart, G., & Mulder, M. (2006). NATGAS, A model for the European Natural Gas Market. *CPB Momenandum, CPB Netherland Bureau for Economic Policy Analysis, A welfare-economic analysis of the Dutch gas depletion policy, Regulation and Competition*.
- Avery, W., Brown, J., Rosenkranz, R., & Wood, G. (1992). Optimization of Purchase, Storage and Transmission Contracts for Natural Gas Utilities. *Operations Research*, 40(3), 446-462.
- Ασημακόπουλος, Β. (2007). *Μέθοδοι Προβλέψεων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- ΔΕΠΑ. (2014). *Ευρωπαϊκό Ρυθμιστικό Πλαίσιο*. Retrieved January 28, 2014, from <http://www.depa.gr/content/article/002001014002/293.html>.
- ΔΕΠΑ. (2014). *Λειτουργία Απελευθερωμένης Αγοράς Αερίου*. Retrieved January 28, 2014, from <http://www.depa.gr/content/article/002001014002/293.html>.
- ΔΕΣΦΑ. (2012). Retrieved 15 December, 2013 from <http://www.desfa.gr/>.
- ΔΕΣΦΑ. (2012). *Μελέτη Ανάπτυξης ΕΣΦΑ 2013-2022*. Retrieved January 28, 2014, from <http://www.desfa.gr/files>.

ΔΕΣΦΑ. (2014). *Το Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου*. Retrieved January 28, 2014, from <http://www.desfa.gr/default.asp?pid=165&la=1>.

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. (2003). *ΟΔΗΓΙΑ 2003/55/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ*.

Πετρόπουλος, Φ., & Ασημακόπουλος, Β. (2011). *Επιχειρησιακές Προβλέψεις*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

Πραστάκος, Γ. (2006). *Διοικητική Επιστήμη*. Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη.

Σίσκος, Γ. (1998). *Γραμμικός Προγραμματισμός*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.

ΤΕΙ Χαλκίδας. (2011). *Σημειώσεις στις Μεθόδους Προβλέψεων*. Τμήμα Διοίκησης και Εφοδιασμού.