



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
UNIVERSITY OF PIRAEUS

«Η ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ»

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ – ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ LOGISTICS

από

ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Εκπόνηση Εργασίας:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΤΟΣ ΧΟΝΔΡΟΜΑΡΑΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ

ΑΜ: TML2113

Επιβλέπων Καθηγητής:

ΡΑΧΑΝΙΩΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2023

ΔΗΛΩΣΗ

«Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου».

«Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του μη πρωτότυπου υλικού ΜΔΕ ανήκουν στο μεταπτυχιακό φοιτητή και το επιβλέπον μέλος ΔΕΠ εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους ΜΔΕ ανήκουν στον μεταπτυχιακό φοιτητή και τον επιβλέποντα από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο (ή των τριών σε περίπτωση συνεπιβλέποντα) ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του μη συμμετέχοντα στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο»

Μεταπτυχιακός Φοιτητής

ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΤΟΣ-ΧΟΝΔΡΟΜΑΡΑΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής

ΡΑΧΑΝΙΩΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αλυσίδα εφοδιασμού των καυσίμων παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην οικονομία και στην οικονομική ανάπτυξη, ενώ η πρόβλεψη της ζήτησης των καυσίμων οδηγεί στην βελτίωση της λειτουργίας της αλυσίδας εφοδιασμού. Η σωστή πρόβλεψη της ζήτησης μπορεί να οδηγήσει στη μείωση των αποθεμάτων, στην καλύτερη οργάνωση της παραγωγής και εν γένει στη μείωση του κόστους. Με την παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται μια ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας των καυσίμων και η μελέτη κάθε σταδίου της αλυσίδας. Στη συνέχεια αναλύεται ο ρόλος των προβλέψεων στην εφοδιαστική αλυσίδα και γίνεται μια ενδελεχής ανάλυση της ζήτησης και των χαρακτηριστικών της. Παρουσιάζονται τα σφάλματα πρόβλεψης της ζήτησης και γίνεται ανάλυση βασικών στατιστικών μεθόδων πρόβλεψης. Εν συνεχεία εξετάζονται τα χαρακτηριστικά της ζήτησης των καυσίμων και αναλύονται τα προβλήματα που δημιουργούνται στην εφοδιαστική αλυσίδα των καυσίμων από τα σφάλματα πρόβλεψης. Τέλος αναλύονται οι εφοδιαστικές αλυσίδες των καυσίμων στις ΗΠΑ και στη Ελλάδα και παρουσιάζεται η μοντελοποίηση των προβλέψεων της ζήτησης της βενζίνης στις ΗΠΑ και της ζήτησης της αμόλυβδης βενζίνης και diesel στην Ελλάδα.

ABSTRACT

The fuel supply chain plays an important role in the economy and the support of economic growth, while forecasting fuel demand will lead to an improved supply chain operation. An accurate demand forecasting can lead to the reduction of inventories, improved production and overall lower operation costs. This thesis initially aims to analyze the fuel supply chain and examine its stages. Subsequently the role of forecasting in supply chain is examined and a thorough analysis of demand and its characteristics is made. The errors of demand forecasting are presented, and the basic measures of forecast errors are examined, while an analysis of basic statistical forecasting methods is presented. Finally, an analysis is presented regarding fuel supply chain in the United States and Greece and forecasting methods of gasoline demand in the United States and unleaded gasoline and diesel demand in Greece are presented.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Πανεπιστήμιο Πειραιώς και το Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας για την ευκαιρία που μου δόθηκε να παρακολουθήσω το πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών του τμήματος με ειδίκευση στη Διοίκηση Logistics.

Θα ήθελα ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, κ. Ραχανιώτη Νικόλαο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάθεση της παρούσας εργασίας, για την επιστημονική καθοδήγηση, την πολύτιμη βοήθεια και την υποστήριξη του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη που μου παρείχαν σε όλη την πορεία των σπουδών μου. Ιδιαίτερα ευχαριστώ την αδελφή μου Αγγελική για την ενθάρρυνση και την υποστήριξη της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iv
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	vii
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ	ix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	1
1.1.Εισαγωγή.....	1
1.2.Upstream Εφοδιαστική αλυσίδα	2
1.3.Midstream εφοδιαστική αλυσίδα	5
1.3.1.Μεταφορά αργού πετρελαίου	6
1.3.2.Αποθήκευση αργού πετρελαίου	8
1.4. Downstream εφοδιαστική αλυσίδα	10
1.4.1.Δύλιση αργού πετρελαίου	11
1.4.2.Διανομή και πώληση	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΖΗΤΗΣΗΣ	14
2.1. Ο ρόλος των προβλέψεων στην εφοδιαστική αλυσίδα	14
2.2. Προβλέψεις ζήτησης	15
2.3. Χαρακτηριστικά της ζήτησης.....	16
2.4. Σφάλματα πρόβλεψης	18
2.5. Ανάλυση χρονολογικών σειρών	19
2.5.1. Απλός μέσος όρος.....	20
2.5.2. Κινούμενος μέσος όρος	20
2.5.3. Σταθμισμένος μέσος όρος.....	20
2.5.4. Απλή Εκθετική εξομάλυνση	21
2.5.5. Εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση	22

2.5.6. Εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα ..	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ	25
3.1. Χαρακτηριστικά της ζήτησης των καυσίμων.....	25
3.2. Προβλήματα από σφάλματα πρόβλεψης στην εφοδιαστική αλυσίδα.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΙΣ ΗΠΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	29
4.1. Εφοδιαστική αλυσίδα των καυσίμων στις ΗΠΑ.....	29
4.2. Η εφοδιαστική αλυσίδα των καυσίμων στην Ελλάδα.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ	37
5.1. Εισαγωγή.....	37
5.2. Ζήτηση της βενζίνης στις ΗΠΑ	37
5.2.1. Κινούμενος μέσος όρος	39
5.2.2. Απλή εκθετική εξομάλυνση	41
5.2.3. Εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα ..	43
5.3. Ζήτηση της αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα.....	45
5.3.1. Κινούμενος μέσος όρος	46
5.3.2. Σταθμισμένος μέσος όρος.....	47
5.3.3. Απλή Εκθετική εξομάλυνση	48
5.4. Ζήτηση του diesel στην Ελλάδα	50
5.4.1. Κινούμενος μέσος όρος	51
5.4.2. Σταθμισμένος μέσος όρος.....	52
5.4.3. Απλή Εκθετική εξομάλυνση	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνες

- Εικόνα 1: Εφοδιαστική αλυσίδα καυσίμων.....2
- Εικόνα 2: Χώρες OPEC+ και OPEC.....3
- Εικόνα 3: Στρατηγικά αποθέματα ασφάλειας στην Ε.Ε.....9
- Εικόνα 4 :Συνολικές ανάγκες εισαγωγών πετρελαίου στις ΗΠΑ.....30
- Εικόνα 5: Καθαρές εισαγωγές πετρελαίου ανά χώρα προέλευσης.....31
- Εικόνα 6: Τα μεγαλύτερα διυλιστήρια στις ΗΠΑ.....33
- Εικόνα 7: Εισαγωγές πετρελαίου στην Ελλάδα ανά χώρα προέλευσης.....35

Διαγράμματα

- Διάγραμμα 1: Μηνιαία κατανάλωση βενζίνης στις ΗΠΑ κατά την περίοδο 2015 – 2019.....38
- Διάγραμμα 2: Κινούμενος μέσος όρος 4 περιόδων της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ.....40
- Διάγραμμα 3: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ.....42
- Διάγραμμα 4: Γράφημα ζήτησης και προβλέψεων της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ.....44
- Διάγραμμα 5: Κατανάλωση αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα κατά την περίοδο 2000-2021.....45
- Διάγραμμα 6: Κινούμενος μέσος όρος 4 περιόδων της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα.....46
- Διάγραμμα 7: Σταθμισμένος μέσος όρος της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα.....48
- Διάγραμμα 8: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα49
- Διάγραμμα 9: Κατανάλωση diesel στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2021.....50
- Διάγραμμα 10: Κινούμενος μέσος όρος 2 περιόδων της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα.....51
- Διάγραμμα 11: Σταθμισμένος μέσος όρος της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα.....53

- Διάγραμμα 12: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα55

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1: Μηνιαία κατανάλωση βενζίνης στις ΗΠΑ.....37
- Πίνακας 2: Κινούμενος μέσος όρος 4 περιόδων της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ.....39
- Πίνακας 3: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ.....41
- Πίνακας 4: Εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ.....43
- Πίνακας 5: Κατανάλωση αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα.....45
- Πίνακας 6: Κινούμενος μέσος όρος 4 περιόδων της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα.....46
- Πίνακας 7: Σταθμισμένος μέσος όρος της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα.....47
- Πίνακας 8: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα.....48
- Πίνακας 9: Κατανάλωση diesel στην Ελλάδα.....50
- Πίνακας 10: Κινούμενος μέσος όρος 2 περιόδων της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα.....51
- Πίνακας 11: Σταθμισμένος μέσος όρος της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα.....52
- Πίνακας 12: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα.....54

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

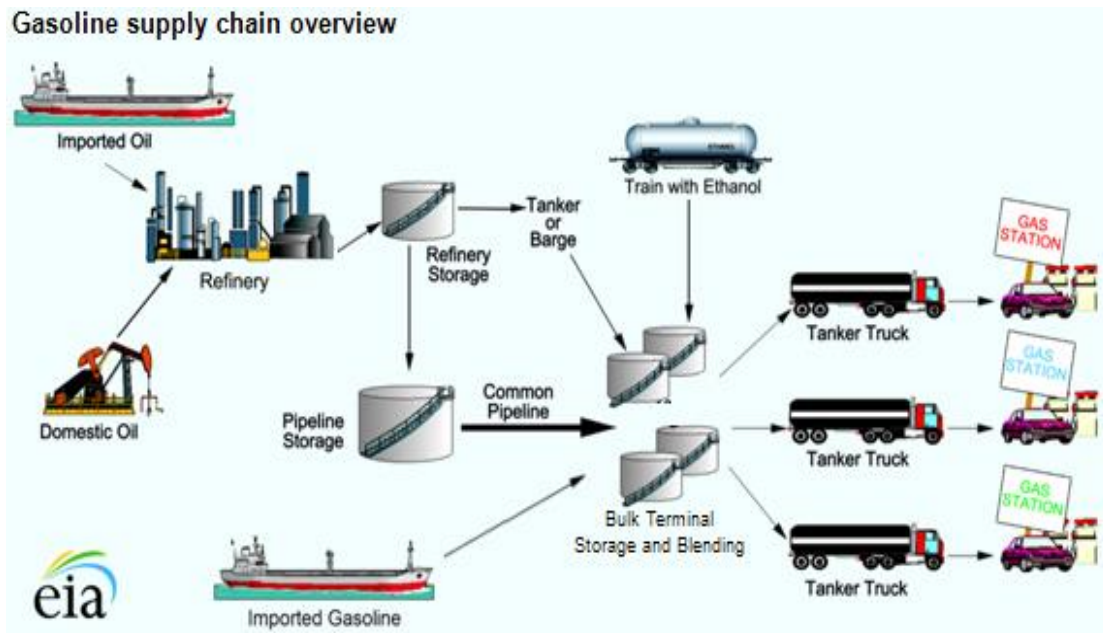
- ΑΕΠ - Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
- API - American Petroleum Institute
- BP - British Petroleum
- DWT - Deadweight Tonnage (Συνολικό βάρος μεταφορικής ικανότητας πλοίου)
- ΕΛΠΕ – Ελληνικά Πετρέλαια
- ΕΛΣΤΑΤ - Ελληνική Στατιστική Αρχή
- EC - European Commission
- EIA - Energy Information Administration
- Eurostat - Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία
- IEA - International Energy Agency
- MAD - Μέση απόλυτη απόκλιση
- MAPE - Μέση εκατοστιαία απόλυτη απόκλιση
- ΜΟΗ – Motor Oil Hellas
- MSE – Μέση τετραγωνική απόκλιση
- NACS - National Association of Convenience Stores
- NOC - National Oil Company
- OPEC - Οργανισμός πετρελαίου – εξαγωγικών κρατών
- OPEC + - Χώρες μη μέλη του OPEC που συμμετέχουν σε πρωτοβουλίες του.
- ΡΑΕ – Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
- RMSE – Ρίζα της μέσης τετραγωνικής απόκλισης
- SPR – Strategic Petroleum Reserve
- ULCC – Ultra Large Crude Carrier
- VLCC – Very Large Crude Carrier
- WEF – World Economic Forum

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

1.1. Εισαγωγή

Η αλυσίδα εφοδιασμού των καυσίμων σε όλο το μήκος της, από το αρχικό της στάδιο που είναι η εξόρυξη του αργού πετρελαίου μέχρι το τελικό στάδιο που είναι το διυλισμένο προϊόν που λαμβάνει ο τελικός καταναλωτής από την αντλία του πρατήριου λιανικής, διακρίνεται για την ιδιαίτερα μεγάλη πολυπλοκότητά της. Οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά μήκος αυτής της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν να επιμεριστούν σε τρεις κατηγορίες αναλόγως της θέσης που κατέχουν στην αλυσίδα, δηλαδή ανάλογα με το εάν είναι στην αρχή της διαδικασίας, στο μέσο ή στο τέλος της αλυσίδας εφοδιασμού.

Αναλυτικότερα, ο Downey (2009, σ. 62) αναφέρει ότι στο αρχικό στάδιο (Upstream) βρίσκονται οι εταιρείες εξόρυξης του αργού πετρελαίου και οι εταιρείες υποστήριξης της παραγωγικής διαδικασίας. Στο ενδιάμεσο στάδιο (Midstream) είναι η μεταφορά και αποθήκευση του αργού πετρελαίου από τις περιοχές εξόρυξης προς τους αγοραστές και τις περιοχές επεξεργασίας, μέσω της διύλισης του αργού πετρελαίου. Αυτή η μεταφορά μπορεί να γίνει είτε με αγωγούς μεταφοράς πετρελαίου είτε με δεξαμενόπλοια μεταφοράς αργού πετρελαίου τύπου τάνκερ, που είναι και ο συνηθέστερος τρόπος. Η αποθήκευση μπορεί να γίνεται είτε στις χώρες παραγωγής είτε στις περιοχές επεξεργασίας και διύλισης. Στο τελικό στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού (Downstream), το οποίο είναι ίσως και το σημαντικότερο, καθώς είναι αυτό που θα φέρει το τελικό διυλισμένο προϊόν στον τελικό καταναλωτή, είναι τα διυλιστήρια, οι εταιρείες μεταφοράς και διανομής του διυλισμένου προϊόντος και τα πρατήρια λιανικής πώλησης, μέσω των οποίων θα προμηθευτεί το καύσιμο ο τελικός καταναλωτής (Εικόνα 1).



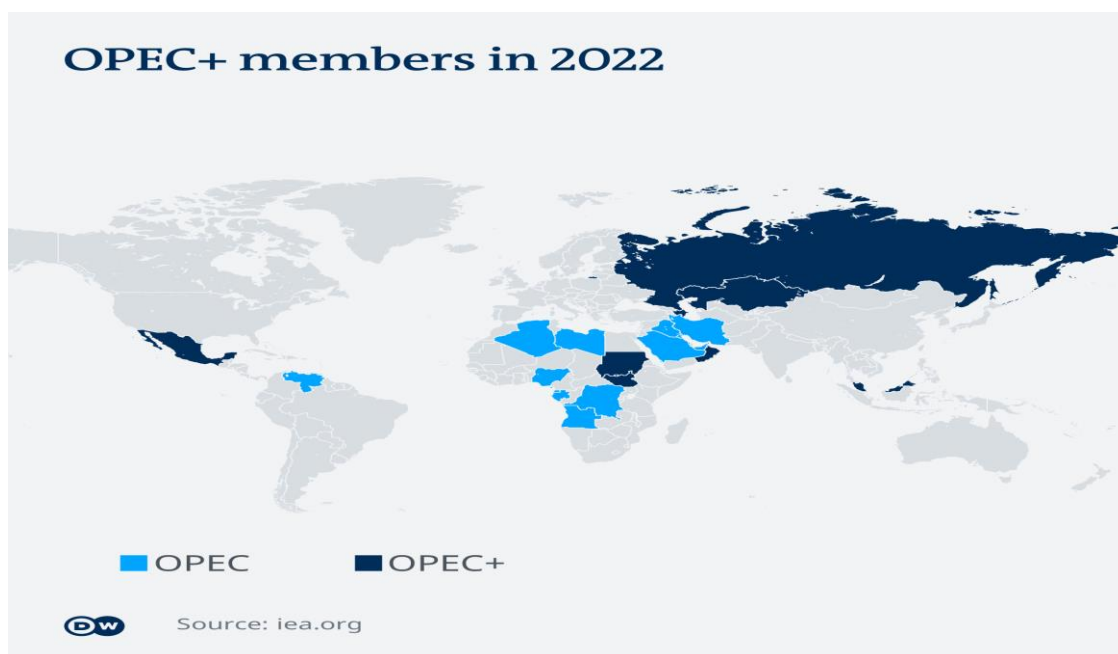
Εικόνα 1: Εφοδιαστική αλυσίδα καυσίμων (EIA, 2013)

1.2. Upstream Εφοδιαστική αλυσίδα

Το αρχικό στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας των καυσίμων είναι αυτό που χαρακτηρίζεται από την εξόρυξη του αργού πετρελαίου και κυριαρχείται από τις πετρελαιοπαραγωγούς χώρες, ιδιαίτερα από αυτές που έχουν μεγάλη εξαγωγική δραστηριότητα, καθότι εξάγουν τη μεγαλύτερη ποσότητα αργού πετρελαίου που παράγουν. Οι σημαντικότερες από αυτές τις χώρες συμμετέχουν στον οργανισμό πετρελαιοπαραγωγών εξαγωγικών κρατών, γνωστότερος με τα αρχικά OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*). Ο OPEC ιδρύθηκε τον Σεπτέμβριο του 1960 στη Βαγδάτη του Ιράκ από πέντε αρχικά μέλη. Σήμερα έχει την έδρα του στην Βιέννη και αριθμεί 13 κράτη μέλη Αγκόλα, Αλγερία, Βενεζουέλα, Γκαμπόν, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Ιράκ, Ιράν, Ισημερινή Γουινέα, Κουβέιτ, Κονγκό, Λιβύη, Νιγηρία και Σαουδική Αραβία.

Αποστολή του OPEC σύμφωνα με την ιδρυτική του διακήρυξη είναι: « Ο συντονισμός και η ενοποίηση των πετρελαϊκών πολιτικών των μελών του και η σταθεροποίηση των αγορών του αργού πετρελαίου, προκειμένου να διασφαλίζεται ένας οικονομικός και τακτικός εφοδιασμός πετρελαίου στους καταναλωτές, σταθερά έσοδα στους παραγωγούς και μια δίκαιη απόδοση κεφαλαίου σε όσους επενδύουν στην πετρελαϊκή βιομηχανία.» (OPEC, 2021).

Από το 2016 έχει δημιουργηθεί μια ευρύτερη συμμαχία μεταξύ των κρατών μελών του OPEC και 10 άλλων πετρελαιοπαραγωγών κρατών μη - μελών του OPEC, σαν αντίδραση στη συνεχή μείωση της τιμής του αργού πετρελαίου (ιδιαίτερα μετά το 2011), η οποία οφείλεται εν μέρει στην ιδιαίτερα μεγάλη αύξηση της παραγωγής αργού πετρελαίου στις ΗΠΑ, οι οποίες έχουν γίνει η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα πετρελαίου στον κόσμο. Τα κράτη αυτά συμμετέχουν σε πρωτοβουλίες του OPEC, όπως για παράδειγμα η εθελοντική μείωση της παραγωγής με στόχο τη διατήρηση των τιμών. Αυτή η δεύτερη διευρυμένη ομάδα των 10 πετρελαιο – εξαγωγικών κρατών γνωστή ως OPEC+ αποτελείται από τα επόμενα κράτη: Αζερμπαϊτζάν, Καζακστάν, Μαλαισία, Μεξικό, Μπαχρέιν, Μπρουνέι, Νότιο Σουδάν, Ομάν, Ρωσία και Σουδάν (WEF, 2022) (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Χώρες OPEC+ και OPEC (Pladson, 2022)

Άλλες χώρες με μεγάλες εξαγωγές αργού πετρελαίου που είτε ήταν παλαιότερα μέλη του OPEC και αποχώρησαν, είτε δεν υπήρξαν ποτέ μέλη του συνδέσμου, είναι ο Καναδάς, η Βραζιλία, η Νορβηγία, το Κατάρ (αποχώρησε το 2019) και η Ινδονησία (αποχώρησε το 2008). Αξίζει να σημειωθεί τέλος πως πολύ σημαντικές χώρες στην παραγωγή πετρελαίου και με ιδιαίτερα μεγάλη κατανάλωση είναι οι ΗΠΑ και η Κίνα. Μια ειδική κατηγορία συντελεστών στο Upstream στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας των καυσίμων (Downey, 2009, σ. 73) είναι οι εταιρείες που υποστηρίζουν την παραγωγική διαδικασία, είτε άμεσα με την παραχώρηση του απαραίτητου εξοπλισμού για την εξόρυξη, είτε έμμεσα όπως οι εταιρείες έρευνας υδρογονανθράκων που κάνουν

τις σεισμικές έρευνες και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Οι έρευνες αυτές, και όλες οι προκαταρκτικές διαδικασίες πριν την εμπορική εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος, είναι ιδιαίτερα δαπανηρές και ενδέχεται να εκτιμήσουν ότι ένα κοιτάσμα δεν είναι εμπορικά εκμεταλλεύσιμο ή ενδέχεται να είναι εκμεταλλεύσιμο μόνο εάν η τιμή πώλησης του βαρελιού είναι πάνω από κάποια καθορισμένη τιμή. Όταν η ζήτηση είναι πολύ μεγαλύτερη από την προσφορά, τότε η τιμή του βαρελιού ανεβαίνει με αποτέλεσμα κάποιο νέο κοιτάσμα να μπορεί να καταστεί βιώσιμο και εμπορικά εκμεταλλεύσιμο, όπως για παράδειγμα ένα υποθαλάσσιο κοιτάσμα σε πολύ μεγάλο βάθος. Θα πρέπει, επίσης, να βρεθεί και η κατάλληλη ισορροπία ανάμεσα στην τιμή και τη ζήτηση, ώστε η ενδεχόμενη αύξηση της τιμής να μην επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τη διαμορφωθείσα ζήτηση. Συμπερασματικά, κατά την πρόβλεψη της ζήτησης του αργού πετρελαίου θα πρέπει οι εταιρείες αυτές να λαμβάνουν κάθε φορά υπόψιν πώς μπορεί να επηρεάσει τη ζήτηση οποιαδήποτε μεταβολή της τιμής.

Οι χώρες μέλη του OPEC προσπαθούν να έχουν παραγωγή ανάλογη της παγκόσμιας ζήτησης, με στόχο την εξασφάλιση της σταθερότητας στις τιμές. Η παραγωγή σε αυτές τις χώρες κυριαρχείται από τις εθνικές εταιρείες πετρελαίου (National Oil Companies – NOC). Στόχος αυτών των εταιρειών είναι, μέσω της διασφάλισης της σταθερότητας των τιμών, να εξασφαλίσουν τόσο την κάλυψη του κόστους παραγωγής και των μελλοντικών επενδύσεων στην παραγωγή, όσο και τα κρατικά έσοδα, καθώς τα έσοδα από την παραγωγή πετρελαίου αυτών των εταιρειών καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του κρατικού προϋπολογισμού. Για τον λόγο αυτό καθορίζουν μια ετήσια τιμή στόχο, η οποία διασφαλίζει αυτά τα έσοδα. Βέβαια, για να επιτύχουν αυτή τη σταθερότητα στις τιμές έχουν δημιουργήσει ένα σύστημα ποσοτώσεων στην παραγωγή (production quotas), οι οποίες είναι ανάλογες με τον πληθυσμό της κάθε χώρας παραγωγής και με τα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου.

Άλλες χώρες, μη-μέλη του OPEC, οι οποίες έχουν μια αρκετά μεγάλη παραγωγή πετρελαίου, η οποία όμως εξαιτίας της μεγάλης κατανάλωσης εντός της ίδιας της χώρας δεν επιτρέπει την εξαγωγή μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου, όπως είναι για παράδειγμα η Κίνα, η Βραζιλία και το Μεξικό, διαθέτουν και αυτές εθνικές εταιρείες πετρελαίου.

Τέλος, υπάρχουν και οι ανεξάρτητες εταιρείες πετρελαίου οι οποίες δραστηριοποιούνται στην παγκόσμια αγορά και δεν επικεντρώνονται σε περιοχές με τοπικά χαρακτηριστικά, με τις μεγαλύτερες να είναι η ExxonMobil, BP, Shell, Chevron, Total και Conoco Phillips. Οι περισσότερες από αυτές τις εταιρείες έχουν παρουσία σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας των καυσίμων, τόσο στην παραγωγή και τη διύλιση όσο και στη λιανική πώληση στον τελικό καταναλωτή μέσω των πρατηρίων λιανικής πώλησης καυσίμων. Διαθέτουν εγκαταστάσεις παραγωγής τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα μέσα από πλατφόρμες άντλησης, παρουσία σε περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά και με κόστος παραγωγής που διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Οι εταιρείες αυτές έχουν τη γνώση της αγοράς (το know-how) και οι αποφάσεις τους επηρεάζουν το σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας των καυσίμων (Downey, 2009, σ. 70). Οι μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής αργού πετρελαίου βάσει της ημερήσιας παραγωγής πετρελαίου είναι οι εξής (Ali, 2019):

- Saudi Aramco
- Rosneft
- Kuwait Petroleum Company (KPC)
- National Iranian Oil Company (NIOC)
- China National Petroleum Company (CNPC)
- ExxonMobil
- Petrobras
- Abu Dhabi National Oil Company
- Chevron
- Pemex

1.3. Midstream εφοδιαστική αλυσίδα

Το ενδιάμεσο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας των καυσίμων περιλαμβάνει τη μεταφορά και την αποθήκευση του αργού πετρελαίου. Η μεταφορά του αργού πετρελαίου γίνεται από τους τερματικούς σταθμούς φόρτωσης, οι οποίοι βρίσκονται κοντά στις περιοχές εξόρυξης, προς τις χώρες και τις περιοχές επεξεργασίας και διύλισης του αργού πετρελαίου. Η αποθήκευση γίνεται τόσο σε εγκαταστάσεις κοντά στις περιοχές εξόρυξης και στους τερματικούς σταθμούς φόρτωσης, όσο και σε εγκαταστάσεις στις αγοράστριες χώρες.

Τα αποθέματα αυτά αφορούν στο αργό πετρέλαιο, το οποίο αποθηκεύεται προσωρινά για λίγες μόνο εβδομάδες, μέχρι τη φόρτωση και τη διύλιση του. Ένα επιπλέον ιδιαίτερα σημαντικό είδος αποθηκευμένου αργού πετρελαίου είναι τα στρατηγικά αποθέματα πετρελαίου, κυρίως των χωρών που δεν έχουν αξιόλογη παραγωγή πετρελαίου και διατηρούνται για λόγους ασφαλείας (Downey, 2009, σ. 74).

1.3.1. Μεταφορά αργού πετρελαίου

Η μεταφορά του αργού πετρελαίου από τις περιοχές εξόρυξης και τους τερματικούς σταθμούς μεταφοράς προς τα διυλιστήρια γίνεται με δυο βασικούς τρόπους: μέσω αγωγών μεταφοράς αργού πετρελαίου και με δεξαμενόπλοια πλοία μεταφοράς τύπου τάνκερ. Επιπρόσθετοι τρόποι μεταφοράς, που σήμερα έχουν όμως ένα πολύ μικρότερο μερίδιο στον συνολικό όγκο μεταφοράς, είναι ο οδικός με φορτηγά βυτία και ο σιδηροδρομικός με τρένα βυτία. Παρατηρούνται κυρίως σε τοπικό επίπεδο όπου δεν υπάρχουν κατάλληλες εγκαταστάσεις μεταφοράς ή/και συμπληρωματικά προς τους άλλους τρόπους, όταν υπάρχουν ενδεχομένως προβλήματα χωρητικότητας.

Η επιλογή του τρόπου μεταφοράς εξαρτάται από την περιοχή εξόρυξης και την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας του αργού πετρελαίου. Για παράδειγμα, εάν η περιοχή εξόρυξης βρίσκεται μακριά από τη θάλασσα, τότε είναι απαραίτητο να γίνει η μεταφορά μέσω αγωγών. Αντίστοιχα, εάν ο αγοραστής του αργού πετρελαίου βρίσκεται πολύ μακριά από την περιοχή εξόρυξης, τότε κρίνεται απαραίτητο η μεταφορά να γίνει με πλοίο τάνκερ, καθώς είναι αδύνατον να γίνει μέσω αγωγών. Τέλος, υπάρχει και η συνδυασμένη μεταφορά μέσω αγωγών και πλοίων τάνκερ, όπως για παράδειγμα στις περιπτώσεις όπου η περιοχή εξόρυξης δεν έχει πρόσβαση σε θάλασσα και ο αγοραστής είναι πολύ μακριά, ενδεχομένως και σε άλλη ήπειρο.

Τα πετρελαιοφόρα (oil tankers) είναι πλοία μεταφοράς αργού πετρελαίου σε ειδικές δεξαμενές. Τα πλοία αυτά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη χωρητικότητα, η οποία έχει μονάδα μέτρησης το Dead Weight Tonnage (DWT), που είναι το συνολικό καθαρό βάρος που μπορεί να μεταφέρει ένα πλοίο εξαιρουμένου του βάρους του. Τα τάνκερ αυτά μπορεί να έχουν μέγεθος μικρότερο των 160.000 τόνων, που τους επιτρέπει για να διέλθουν από την διώρυγα του Σουέζ, ή να είναι πολύ μεγαλύτερα, όπως είναι τα super tankers τα οποία αναγκάζονται να κάνουν τον περίπλου της Αφρικής.

Στην κατηγορία των super tankers ανήκουν τα VLCC (Very Large Crude Carrier) με χωρητικότητα που φτάνει τους 330.000 τόνους, και τα ULCC (Ultra Large Crude Carrier) με χωρητικότητα που φτάνει τους 550.000 τόνους (Rodrigue κα., 2020, σ. 99). Οι δέκα μεγαλύτερες διαχειρίστριες εταιρείες μεταφοράς πετρελαίου είναι οι εξής (Bhattacharjee, 2022):

- Teekay Corp
- Euronav NV
- Scorpio Tankers Inc.
- Frontline Ltd
- DHT Holdings
- Tsakos Energy Navigation
- Navios Maritime Holdings
- SLF Corporation
- International Seaways
- Mitsui OSK Lines

Οι αγωγοί μεταφοράς πετρελαίου είναι ένα σύστημα μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων που αποτελείται από ατσάλινους αγωγούς με σταθμούς άντλησης (Pump Stations) κατά μήκος αυτών. Οι αγωγοί αυτοί μπορεί να βρίσκονται είτε στη θάλασσα είτε στην ξηρά, θαμμένοι λίγο κάτω από την επιφάνεια, και μεταφέρουν αργό πετρέλαιο από τις περιοχές εξόρυξης προς τα διυλιστήρια και τους τερματικούς σταθμούς φόρτωσης. Υπάρχουν, επίσης, αγωγοί στην ξηρά οι οποίοι μεταφέρουν το αργό πετρέλαιο από τους παράκτιους τερματικούς σταθμούς εκφόρτωσης πλοίων τάνκερ προς τα διυλιστήρια. Παραδείγματα τέτοιων αγωγών είναι οι υποθαλάσσιοι αγωγοί μεταφοράς αργού πετρελαίου της Βόρειας Θάλασσας ανάμεσα στις πλατφόρμες άντλησης και τη Σκωτία και τη Νορβηγία (Rodrigue κα., 2020, σ. 95).

Οι μεγαλύτεροι αγωγοί μεταφοράς αργού πετρελαίου στην ξηρά είναι ο αγωγός Φιλία (Druzhba) με μεταφορική ικανότητα 1,2 εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως από την Ρωσία προς την κεντρική Ευρώπη (Hussein, 2021), ο αγωγός Baku – Ceyhan που μεταφέρει αργό πετρέλαιο από την περιοχή της Κασπίας προς τον παράκτιο τερματικό σταθμό φόρτωσης του Ceyhan στην Μεσόγειο, με μεταφορική ικανότητα 1 εκατομμύριο βαρέλια πετρέλαιο ημερησίως (BP, 2023), ο αγωγός Trans – Alaska, με μεταφορική ικανότητα 2 εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως, από τις περιοχές εξόρυξης

στη Βόρεια Αλάσκα προς το λιμάνι Valdez όπου υπάρχει τερματικός σταθμός φόρτωσης σε τάνκερ και τέλος ο αγωγός East – West στη Σαουδική Αραβία, με μεταφορική ικανότητα 4,8 εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως ανάμεσα στην Ερυθρά θάλασσα και τον Περσικό κόλπο (Downey, 2009, σ. 259-263)

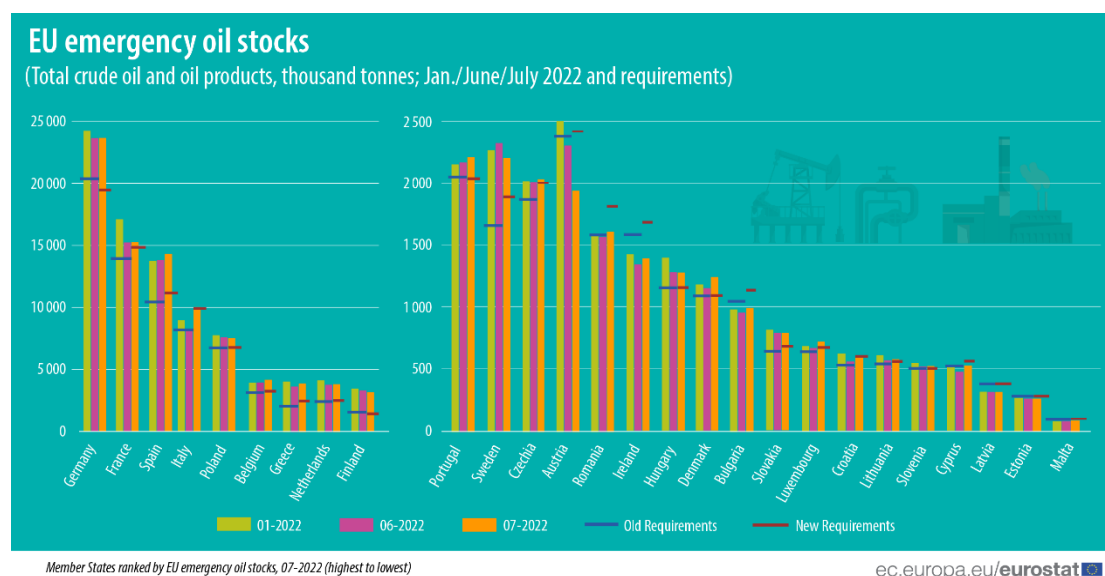
Η αγορά των μέσων μεταφοράς του αργού πετρελαίου έχει πολλές ιδιαιτερότητες, καθώς απαιτείται μακροχρόνιος σχεδιασμός εξαιτίας του πολύ υψηλού κόστους κατασκευής και του μεγάλου χρονικού διαστήματος που απαιτείται για την κατασκευή του. Για παράδειγμα, για ένα πλοίο απαιτείται ένα χρονικό διάστημα δύο ετών για την ναυπήγηση του, ενώ ο σχεδιασμός, οι διαδικασίες αδειοδότησης και η κατασκευή ενός αγωγού μεταφοράς αργού πετρελαίου απαιτεί ένα χρονικό διάστημα άνω των δέκα ετών.

1.3.2. Αποθήκευση αργού πετρελαίου

Μετά την εξόρυξη και μια αρχική επεξεργασία απαιτείται μια αρχική αποθήκευση του πετρελαίου σε εγκαταστάσεις κοντά στην περιοχή εξόρυξης για ένα χρονικό διάστημα που δεν ξεπερνά τις λίγες εβδομάδες. Η μεγαλύτερη ποσότητα αποθηκεύεται είτε πλησίον σε τερματικούς σταθμούς μεταφοράς όπως είναι οι αγωγοί μεταφοράς αργού πετρελαίου και οι λιμενικές εγκαταστάσεις φόρτωσης, είτε μετά την μεταφορά κοντά σε διυλιστήρια. Η αποθήκευση του αργού πετρελαίου βοηθά στην εξομάλυνση πιθανών αποκλίσεων που ενδέχεται να προκύψουν ανάμεσα στην προσφορά και τη ζήτηση. Οι αιτίες μιας τέτοιας απόκλισης μπορεί να είναι προβλέψιμες, όπως είναι μια αύξηση της ζήτησης λόγω εποχικότητας ή να οφείλονται σε προβλήματα προσφοράς λόγω μιας προγραμματισμένης συντήρησης εξοπλισμού. Ενδέχεται, όμως, να οφείλονται και σε απρόβλεπτους παράγοντες εξαιτίας μιας κρίσης εφοδιασμού. Η αποθήκευση γίνεται σε ειδικές δεξαμενές στις οποίες πρέπει να τηρούνται ειδικά πρωτόκολλα ασφαλείας και να εκδοθούν ειδικές άδειες, ενώ η κατασκευή τους είναι μια χρονοβόρα διαδικασία με υψηλό κόστος. Συνεπώς απαιτείται άριστη μελέτη και πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης.

Μια ειδική κατηγορία αποθεμάτων είναι τα στρατηγικά αποθέματα ασφαλείας, τα οποία τηρούνται από τα κράτη για να προστατευθούν από ενεργειακές κρίσεις και προβλήματα που ενδέχεται να προκύψουν στον εφοδιασμό για μικρά χρονικά διαστήματα.

Η Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας (International Energy Agency- IEA), η οποία δημιουργήθηκε το 1974 σαν αποτέλεσμα της πετρελαϊκής κρίσης του 1973, ζητεί από τα κράτη μέλη της να διατηρούν αποθέματα ασφαλείας τουλάχιστον 90 ημερών. Παρόμοια απαίτηση για διατήρηση αποθεμάτων ασφαλείας 90 ημερών υπάρχει και για τα μέλη της Ε.Ε. βάσει σχετικής οδηγίας της Ευρωπαϊκής επιτροπής (EC, 2019) (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Στρατηγικά αποθέματα ασφαλείας στην Ε.Ε (Eurostat, 2022)

Αυτά τα στρατηγικά αποθέματα ασφαλείας σε κάποιες περιπτώσεις τα διαχειρίζονται ειδικές υπηρεσίες, όπως είναι τα αποθέματα που τηρούνται από την Ιαπωνία, την Ινδία και την Κίνα, ενώ σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται να τηρούνται από ιδιωτικές και κρατικές πετρελαϊκές εταιρείες, όπως γίνεται στην Κορέα και τις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες.

Ειδική αναφορά θα πρέπει να γίνει στα στρατηγικά αποθέματα ασφαλείας που τηρούνται από τις ΗΠΑ εξαιτίας του πολύ μεγάλου όγκου τους, καθώς οι ΗΠΑ είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής πετρελαίου στον κόσμο, με αποτέλεσμα να απαιτείται να διατηρούν τεράστια στρατηγικά αποθέματα ασφαλείας για να μπορούν να μειώσουν τους κινδύνους διατάραξης του εφοδιασμού πετρελαίου. Τα αποθέματα αυτά είναι αποθηκευμένα σε ειδικές εγκαταστάσεις στον κόλπο του Μεξικού και το ύψος τους μπορεί να φτάσει τα 727 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου (SPR, 2019). Μέρος αυτών των αποθεμάτων επιτρέπεται να αποδεσμευτεί, μετά από εντολή του προέδρου των

ΗΠΑ, σε περιπτώσεις ενδεχόμενης πετρελαϊκής κρίσης, όπως για παράδειγμα η διατάραξη του εφοδιασμού το 2011 κατά την διάρκεια του πολέμου στη Λιβύη, όταν και αποδεσμεύθηκαν 30 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου σε μια προσπάθεια συγκράτησης των τιμών.

Όταν η τιμή του αργού πετρελαίου είναι χαμηλή γίνεται μια προσπάθεια αύξησης των στρατηγικών αποθεμάτων ασφαλείας, ενώ όταν η τιμή ανεβαίνει εξαιτίας της υψηλής ζήτησης και της μικρής προσφοράς, αποδεσμεύεται μέρος των στρατηγικών αποθεμάτων ασφαλείας σε μια προσπάθεια ελέγχου της αύξησης της τιμής. Η πρόβλεψη της ζήτησης κατά την αποθήκευση του πετρελαίου και κατά την διαχείριση των στρατηγικών αποθεμάτων είναι ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς απαιτεί ειδικές γνώσεις, πρέπει να γίνεται σε μακροπρόθεσμο επίπεδο και απαιτεί άριστη γνώση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

1.4. Downstream εφοδιαστική αλυσίδα

Το τελικό στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας των καυσίμων είναι αυτό της διύλισης του αργού πετρελαίου και της διανομής και πώλησης των τελικών προϊόντων από τα πρατήρια λιανικής πώλησης καυσίμων. Με τη διύλιση λαμβάνει χώρα η παραγωγή των τελικών προϊόντων του πετρελαίου τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση, στις μεταφορές και στην πετροχημική βιομηχανία, όπως για παράδειγμα στην παραγωγή πλαστικών. Με το πέρας της διύλισης και την παραγωγή των τελικών προϊόντων του επεξεργασμένου πετρελαίου γίνεται αποθήκευση στις εγκαταστάσεις του διυλιστηρίου ή μεταφορά και αποθήκευση σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης κοντά σε κέντρα διανομής. Τέλος, γίνεται η διανομή των τελικών προϊόντων (βενζίνη, diesel, κλπ.) στα σημεία λιανικής πώλησης, όπως είναι τα πρατήρια καυσίμων, από όπου θα τα προμηθευτεί ο τελικός καταναλωτής. Το τελικό στάδιο είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για τη σωστή λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς είναι αυτό που θα φέρει το τελικό προϊόν στον καταναλωτή. Η ακριβής πρόβλεψη της ζήτησης θα διατηρήσει τη σωστή λειτουργία σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας και θα προσφέρει το τελικό προϊόν στους καταναλωτές χωρίς προβλήματα στον εφοδιασμό.

1.4.1. Διύλιση αργού πετρελαίου

Τα διυλιστήρια είναι μεγάλες και πολύπλοκες βιομηχανικές εγκαταστάσεις οι οποίες βρίσκονται κοντά σε περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού ή πλησίον της θάλασσας. Το διυλιστήριο πετρελαίου μετατρέπει το αργό πετρέλαιο, ένα προϊόν χωρίς αξία για τον τελικό καταναλωτή, σε προϊόντα όπως το diesel και η βενζίνη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών του. Η διαδικασία της μετατροπής αυτής γίνεται σε τρία βασικά στάδια, τα οποία διακρίνονται σε αυτά της απόσταξης, της μετατροπής και διάσπασης των μορίων σε ελαφρύτερα μόρια και της αλλαγής της χημικής σύστασης του υδρογονάνθρακα, με στόχο την επίτευξη επιθυμητών ιδιοτήτων όπως είναι η αύξηση των οκτανίων στη βενζίνη.

Το αργό πετρέλαιο δεν έχει ομοιόμορφα χαρακτηριστικά, έχει διαφορετική χημική σύνθεση σε διαφορετικές περιοχές και η διύλιση του απαιτεί διαφορετική επεξεργασία και εφαρμογή διαφορετικών τεχνικών ανάλογα με αυτή την χημική σύνθεση. Κάθε διυλιστήριο είναι κατασκευασμένο να επεξεργάζεται ένα συγκεκριμένο «τύπο» αργού πετρελαίου με μια συγκεκριμένη διαδικασία. Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο κάποια πολύπλοκα διυλιστήρια έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν τον «τύπο» του πετρελαίου που επεξεργάζονται και να εφαρμόζουν νέες μεθόδους επεξεργασίας. Αυτά τα διυλιστήρια είναι πολύ λίγα στον κόσμο και η κατασκευή και λειτουργία τους είναι ιδιαίτερα σύνθετη και με πολύ αυξημένο κόστος.

Η κατασκευή ενός διυλιστηρίου είναι μια χρονοβόρα και πολύπλοκη διαδικασία, η οποία απαιτεί δέσμευση τεράστιων κεφαλαίων, και είναι ενδεικτικό ότι η δανειοδότηση και κατασκευή ενός διυλιστηρίου στις ΗΠΑ απαιτεί ένα χρονικό διάστημα άνω των πέντε ετών (Gary κα., 2007, σ.16-17). Τα περισσότερα διυλιστήρια παράγουν τελικά προϊόντα κατάλληλα για την εξυπηρέτηση των μεταφορικών αναγκών όπως είναι το diesel και η βενζίνη, καθώς για αυτά τα προϊόντα υπάρχει η μεγαλύτερη ζήτηση. Για παράδειγμα, ένα αμερικανικό διυλιστήριο από ένα βαρέλι πετρελαίου 42 γαλονιών (159 λίτρα) κατά μέσο όρο παράγει 20 γαλόνια βενζίνη, 13 γαλόνια diesel και 3 γαλόνια αεροπορικό καύσιμο (EIA, 2023a).

Τα έξι μεγαλύτερα διυλιστήρια στον κόσμο είναι τα εξής (McGuire, 2023):

- Jamnagar Refinery - ΙΝΔΙΑ
- SK Energy Ulsan Refinery Complex - ΚΟΡΕΑ
- Paraguaná Refinery Complex – ΒΕΝΕΖΟΥΕΛΑ
- GS-Caltex Yeosu Refinery – ΚΟΡΕΑ
- S Oil Ulsan Refinery – ΚΟΡΕΑ
- ExxonMobil Singapore Refinery – ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗ

Υπολογίζεται ότι σήμερα υπάρχουν 662 διυλιστήρια σε όλο τον κόσμο με συνολική δυναμικότητα διύλισης που φτάνει τα 85,1 εκατομμύρια βαρέλια πετρέλαιο ημερησίως. Οι σημαντικότερες γεωγραφικές περιοχές διύλισης είναι η Ασία με 22,2 εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως και η Βόρεια Αμερική με 20,6 εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως. Οι μεγαλύτερες χώρες διύλισης είναι οι ΗΠΑ, η Κίνα, η Ρωσία και η Ιαπωνία (Gary κα., 2007, σ. 19).

Τα τελικά προϊόντα της διύλισης (βενζίνη, diesel κ.α.), αν και γενικά ακολουθούν την ίδια πορεία και τις εναλλαγές της τιμής του αργού πετρελαίου, έχουν και ορισμένες σημαντικές διαφορές, με βασικότερη ότι η αγορά των προϊόντων διύλισης είναι περιφερική, σε αντίθεση με την αγορά του αργού πετρελαίου που είναι παγκόσμια. Για παράδειγμα, η τιμή του diesel σε ένα διυλιστήριο της Μεσογείου είναι ανάλογη και καθορίζεται από τη μέση τιμή όλων των διυλιστηρίων της Μεσογείου. Η ζήτηση εξαρτάται από την εποχή και το ύψος και τη διαθεσιμότητα των αποθεμάτων, σε αντίθεση με το αργό πετρέλαιο όπου ο καθορισμός της τιμής είναι παγκόσμιος και η ζήτηση μπορεί να επηρεαστεί από εξωτερικούς παράγοντες, όπως πολιτικούς και οικονομικούς, ενώ μπορεί να παρουσιάσει ξαφνικές και απότομες μεταβολές.

1.4.2. Διανομή και πώληση

Αφορά στη διανομή των τελικών προϊόντων από εγκαταστάσεις αποθήκευσης προς τα σημεία λιανικής πώλησης, καθώς οι μεγαλύτεροι πελάτες μπορούν να προμηθευτούν απευθείας από το διυλιστήριο. Τα πρατήρια καυσίμων κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο πωλήσεων των τελικών προϊόντων, όπως η βενζίνη και το diesel, και διαθέτουν

χώρους αποθήκευσης των τελικών προϊόντων. Η ζήτηση είναι ανάλογη της ζήτησης των προηγούμενων περιόδων, εκτός φυσικά από περιόδους κρίσεων, και δεν διαφέρει από πρατήριο σε πρατήριο, καθώς το προϊόν είναι ομοιογενές. Ενδέχεται να υπάρχει μεταβολή της με εφαρμογή μεθόδων marketing όπως εκπτώσεις μέσα από κάρτες πιστότητας πελατών (loyalty customer programs).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΖΗΤΗΣΗΣ

2.1. Ο ρόλος των προβλέψεων στην εφοδιαστική αλυσίδα

Στην εφοδιαστική αλυσίδα υπάρχει πάντα μια σχέση αλληλεξάρτησης ανάμεσα στην παραγωγή, η οποία βρίσκεται στην αρχή της αλυσίδας εφοδιασμού, και στην αγορά των τελικών προϊόντων από τους καταναλωτές, που βρίσκεται στο τέλος της αλυσίδας. Όλες οι παραγωγικές διαδικασίες τελούνται με στόχο την ανταπόκριση σε μια παραγγελία ενός πελάτη και απώτερος σκοπός τους είναι η επιτυχής ανταπόκριση, τόσο με χρονικά όσο και με ποιοτικά κριτήρια στην κάλυψη της ζήτησης του προϊόντος.

Γενικός κανόνας είναι ότι υπάρχει παραγωγή επειδή υπάρχει ζήτηση από τους καταναλωτές σε ποιότητα που αυτοί ορίζουν αλλά και σε χρόνο που αυτοί επιθυμούν. Δηλαδή, στην εφοδιαστική αλυσίδα θα πρέπει να διατηρείται πάντα μια ισορροπία αναμεσα στην προσφορά των προϊόντων εκ μέρους της παραγωγής και στη ζήτηση των προϊόντων εκ μέρους των καταναλωτών. Αυτή η συνεχής αλληλεπίδραση ανάμεσα στην προσφορά και τη ζήτηση παρατηρείται σε όλο το μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας, ακόμα και στα ενδιάμεσα στάδια αυτής (Moon, 2013, σ. 25).

Σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν να γίνουν ξεχωριστές προβλέψεις της ζήτησης, με στόχο την επίτευξη της επιθυμητής ισορροπίας ανάμεσα στην προσφορά και τη ζήτηση. Αυτές οι προβλέψεις ενδέχεται να συμπίπτουν μεταξύ τους, όμως τις περισσότερες φορές διαπιστώνεται πως υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται σκόπιμη η ύπαρξη ουσιαστικής συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας για ανταλλαγή πολύτιμων πληροφοριών, μέσω των οποίων θα υπάρχει μια καλύτερη και σε μεγαλύτερο βάθος κατανόηση των δεδομένων της αγοράς.

Όταν υπάρχει αυτή η ουσιαστική αλληλεπίδραση η πρόβλεψη είναι αρκετά ακριβής, με άμεσο επακόλουθο την σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία με τη σειρά της θα δώσει τη δυνατότητα σε κάθε στάδιο να περιορίσει τα λειτουργικά κόστη, να μεγιστοποιήσει την ικανοποίηση των πελατών και να ελαχιστοποιήσει τα αποθέματα τα οποία θα πρέπει να τηρούνται, επιτυγχάνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την πολυπόθητη ισορροπία ανάμεσα στην προσφορά και τη ζήτηση.

2.2. Προβλέψεις ζήτησης

Σύμφωνα με τους Chopra και Meindl (2013, σ. 180) είναι δυνατόν να γίνουν προβλέψεις ανάλογα με τα δεδομένα και τα στοιχεία που μπορούν να συγκεντρωθούν για διαφορετικές παραμέτρους που αφορούν την εύρυθμη λειτουργία και τη σωστή διοίκηση (management) μιας επιχείρησης ή μιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Η βασικότερη παράμετρος στην οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί πρόβλεψη είναι η ζήτηση.

Όλες οι αποφάσεις που σχετίζονται με τη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας, αρχής γενομένης από την παραγωγή των πρώτων υλών, την επεξεργασία τους και τη δημιουργία των τελικών προϊόντων, τη μεταφορά και διανομή τους στον τελικό καταναλωτή, αλλά και το σύνολο των αποφάσεων που σχετίζονται με τον έλεγχο των αποθεμάτων που κρίνεται πως είναι απαραίτητο να διατηρούνται, σχετίζονται με τον προγραμματισμό της ζήτησης (Μοσχούρης, 2021).

Σύμφωνα με τους Heizer κα. (2016, σ. 109-110) αναμφίβολα μπορούν να προκύψουν προβλήματα και αστοχίες στη λειτουργία μιας εφοδιαστικής αλυσίδας από λανθασμένες εκτιμήσεις της ζήτησης των προϊόντων, είτε αυτές χαρακτηρίζονται ως υποεκτιμήσεις, είτε ως υπερεκτιμήσεις. Για παράδειγμα, παρατηρούνται χαμένες πωλήσεις και κακή εξυπηρέτηση των πελατών (χαμηλό service level) εξαιτίας ελλείψεων που μπορεί να παρατηρηθούν λόγω της υποεκτίμησης της πρόβλεψης της ζήτησης. Ενώ αντίθετα, ενδέχεται να παρατηρηθεί διατήρηση πολύ υψηλών αποθεμάτων με αποτέλεσμα τη δέσμευση υψηλών κεφαλαίων, τα οποία είναι απαραίτητα για την σωστή και εύρωστη λειτουργία μιας επιχείρησης, λόγω της λανθασμένης υπερεκτίμησης της πρόβλεψης της ζήτησης. Και στις δύο περιπτώσεις οι συνέπειες είναι ζημιογόνες για την επιχείρηση.

Η ζήτηση ενός αγαθού εξαρτάται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες, οι οποίοι επιδρούν ποικιλοτρόπως στον καθορισμό αυτής, με αποτέλεσμα να προκύπτουν ξαφνικές μεταβολές της, καθιστώντας οποιαδήποτε προσπάθεια πρόβλεψης δύσκολη. Μια ασφαλής και ακριβής πρόβλεψη της ζήτησης ενός αγαθού είναι ιδιαίτερα απαιτητική στατιστική διαδικασία, καθώς η ζήτηση μπορεί να επηρεάζεται από ποικίλους ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες, όπως για παράδειγμα, μεταξύ άλλων, η τιμή πώλησης ενός αγαθού, οι καιρικές συνθήκες, η διαθεσιμότητα των πόρων, η εποχικότητα, κ.α.

2.3. Χαρακτηριστικά της ζήτησης

Για να είναι επαρκής μία μελέτη της ζήτησης, με κύριο ζητούμενο μια ασφαλή πρόβλεψη, θα πρέπει πρωτίστως να ερευνηθεί εάν στα δεδομένα που υπάρχουν δύναται να παρατηρηθεί εάν ακολουθείται ή όχι κάποιο ορισμένο μοτίβο που επαναλαμβάνεται, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της (Krajewski κα. 2015, σ. 297-298). Τα βασικότερα χαρακτηριστικά της ζήτησης είναι τα εξής:

- **Τάση (Trend):** όταν οι τιμές από τα δεδομένα της ζήτησης βρίσκονται πολύ κοντά και γύρω από κάποια μέση τιμή. Διαχρονικά, αυτός ο μέσος μπορεί να είναι σταθερός οπότε υπάρχει μια σταθερή τάση, είτε να έχει μια σταθερή αύξηση, οπότε υπάρχει αυξητική τάση ή υπάρχει μια σταθερή μείωση, οπότε διακρίνεται φθίνουσα τάση.
- **Κυκλικότητα (Cyclicality):** όταν οι τιμές από τα δεδομένα της ζήτησης παρατηρείται ότι τείνουν να αυξάνονται ή να μειώνονται σε εκτεταμένες χρονικές περιόδους ετών ή δεκαετιών, όπως είναι ο κύκλος μιας επιχείρησης ή ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος. Είναι ιδιαίτερα δύσκολο να γίνει ασφαλής πρόβλεψη.
- **Εποχικότητα (Seasonality):** όταν οι τιμές από τα δεδομένα της ζήτησης αυξομειώνονται λόγω αλλαγής των αγοραστικών προτιμήσεων, των καιρικών συνθηκών και των δεδομένων ανάλογα με την ώρα, την ημέρα, τον μήνα ή την εποχή.
- **Τυχασιότητα (Randomness):** όταν οι τιμές από τα δεδομένα της ζήτησης είναι τυχαίες, απρόβλεπτες και μη επαναλαμβανόμενες. Είναι αδύνατον να γίνει πρόβλεψη της ζήτησης.

Εκτός των παραπάνω, άλλο χαρακτηριστικό το οποίο ενδέχεται να επηρεάσει την πρόβλεψη της ζήτησης είναι η «χωρική ζήτηση» που επιτρέπει τη γεωγραφική κατάτμηση της αγοράς. Η σωστή εκτίμηση αυτής της ζήτησης βοηθά στη βέλτιστη επιλογή των αποθηκευτικών χώρων που απαιτούνται. Άλλο χαρακτηριστικό είναι η «ζήτηση σε κάποια διάσταση προϊόντος», δηλαδή η ζήτηση σε κάποια υποκατηγορία του αρχικού προϊόντος.

Για παράδειγμα, υπάρχει η γενική ζήτηση για βενζίνη, αλλά ταυτόχρονα ενδέχεται να υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα ζήτησης για βενζίνη 95 οκτανίων και για βενζίνη 98 οκτανίων. Υπάρχει η ανεξάρτητη ζήτηση σε σχέση με την εξαρτημένη, όπου στην πρώτη μπορεί να γίνει πρόβλεψη με εφαρμογή στατιστικών μεθόδων, σε σχέση με τη δεύτερη όπου θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μεταβολή της ζήτησης. Τέλος, υπάρχει η χρονική ζήτηση όπου η διακύμανση της οφείλεται σε εποχικούς επαναλαμβανόμενους παράγοντες (Λάιος, 2010, σ. 490-492)

Μια πρόβλεψη θα έχει πάντοτε ένα περιθώριο απόκλισης από τα πραγματικά δεδομένα, τα οποία τελικά θα παρατηρηθούν και θα καταγραφούν. Στόχος μιας πρόβλεψης ζήτησης δεν είναι και δεν πρέπει να είναι η μη ύπαρξη λάθους, καθώς είναι βέβαιο ότι θα υπάρξει, σε ένα περιβάλλον αβεβαιότητας, απόκλιση ανάμεσα στα εκτιμώμενα δεδομένα και τα πραγματικά. Στόχος θα πρέπει να είναι η χρησιμοποίηση κατάλληλων τεχνικών και η εξερεύνηση και ανάλυση κατάλληλων παραμέτρων, ώστε να περιοριστεί αυτή η απόκλιση. Με απλά λόγια να περιοριστεί το εύρος του σφάλματος, δηλαδή να περιοριστεί το διάστημα εμπιστοσύνης της εκτίμησης. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες οι οποίοι ενδέχεται να επηρεάσουν τη ζήτηση ενός αγαθού και για αυτό τον λόγο θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά την μελέτη της πρόβλεψης της ζήτησης (Chopra και Meindl, 2013, σ. 181-183). Παράδειγμα είναι η τιμή πώλησης του προϊόντος, ο ανταγωνισμός που αντιμετωπίζει ένα προϊόν (υποκατάστατα προϊόντα στην αγορά), αλλά και γενικοί οικονομικοί δείκτες από το μακρο-οικονομικό περιβάλλον, όπως είναι η οικονομική ανάπτυξη, η ανεργία και ο πληθωρισμός.

Τα βήματα που θα πρέπει να ακολουθηθούν για μια πρόβλεψη ζήτησης με σκοπό τον περιορισμό του σφάλματος πρόβλεψης είναι τα εξής :

- Εξεύρεση και καταγραφή παραγόντων που επηρεάζουν την ζήτηση.
- Συλλογή πληροφοριών από το σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας (data mining).
- Ανάλυση δεδομένων και επιλογή καταλλήλου μοντέλου πρόβλεψης.
- Εύρεση σφάλματος πρόβλεψης.

2.4. Σφάλματα πρόβλεψης

Σε οποιοδήποτε μοντέλο πρόβλεψης θα υπάρχει κάποια απόκλιση ανάμεσα στην τιμή της πρόβλεψης (εκτιμώμενη τιμή) και την πραγματική τιμή που θα παρατηρηθεί, και αυτή η διαφορά ονομάζεται σφάλμα πρόβλεψης (Forecast Error). Για την επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου πρόβλεψης και για την ελαχιστοποίηση αυτής της απόκλισης είναι ιδιαίτερα σημαντικό να μπορεί να μετρηθεί το εύρος και η επίδραση που έχει αυτό το σφάλμα στην πρόβλεψη, με τελικό στόχο τη βελτίωση της ακρίβειας. Τα σφάλματα των προβλέψεων διακρίνονται σε στατιστικά και τυχαία.

Τα τυχαία σφάλματα δεν είναι δυνατόν να τα προσδιορισθούν εκ των προτέρων, καθώς οφείλονται σε τυχαίους, μη προβλέψιμους παράγοντες όπως, για παράδειγμα, μπορεί να χαρακτηριστεί το σφάλμα πρόβλεψης της ζήτησης που οφείλεται στην οικονομική συρρίκνωση που προκλήθηκε από την πανδημία COVID 19. Αντίθετα, τα στατιστικά σφάλματα προκύπτουν από την κακή εκτίμηση των ιστορικών δεδομένων που είναι δυνατόν να αναλυθούν, καθώς και από κάποιες ακατάλληλες ενδεχομένως τεχνικές πρόβλεψης που χρησιμοποιούνται για ορισμένα χαρακτηριστικά της ζήτησης, όπως η εποχικότητα. Η κακή εκτίμηση των ιστορικών δεδομένων ενδέχεται να δημιουργήσει μεγάλα σφάλματα στην πρόβλεψη της ζήτησης, τα οποία μπορούν να περιοριστούν με την επιλογή ενός καταλληλότερου μοντέλου πρόβλεψης.

Το σφάλμα της πρόβλεψης μιας περιόδου t είναι η διαφορά αναμεσα στην πραγματική τιμή της ζήτησης που θα παρατηρηθεί στην περίοδο t και τη τιμή της πρόβλεψης.

$$R_t = D_t - F_t$$

Όπου R_t σφάλμα πρόβλεψης περιόδου t

D_t πραγματική ζήτηση περιόδου t

F_t πρόβλεψη ζήτησης περιόδου t

Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα σφάλματα πρόβλεψης είναι τα εξής:

Το **Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Squared Error-MSE)**, που μετρά την διασπορά των σφαλμάτων πρόβλεψης και «τιμωρεί» λόγω του τετραγώνου τα μεγάλα σφάλματα περισσότερο από τα μικρότερα, και η **Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Root Mean Squared Error-RMSE)**. Όσο μικρότερες τιμές έχουν τόσο ακριβέστερη η πρόβλεψη. Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται η RMSE καθώς έχει

την ίδια μονάδα μέτρησης με τη ζήτηση και είναι μικρότερος αριθμός σε σχέση με την MSE, ιδιαίτερα όταν τα δεδομένα της ζήτησης είναι μεγάλοι αριθμοί.

$$\boxed{\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (D_t - F_t)^2} \quad \text{και} \quad \boxed{\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (D_t - F_t)^2}}$$

Η **Μέση Απόλυτη Απόκλιση (Mean Absolute Deviation-MAD)**, που μετρά το μέσο καθαρό προβλεπόμενο σφάλμα: όσο μικρότερες τιμές παίρνει τόσο ακριβέστερη η μέθοδος πρόβλεψης.

$$\boxed{\text{MAD} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |D_t - F_t|}$$

Η **Μέση Εκατοστιαία Απόλυτη Απόκλιση (Mean Absolute Percent Error-MAPE)** είναι ένα ποσοστιαίο μέτρο απόκλισης του σφάλματος πρόβλεψης: όσο μικρότερες τιμές έχει τόσο ακριβέστερη η πρόβλεψη.

$$\boxed{\text{MAPE} = 100 * \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|D_t - F_t|}{D_t} \right]}$$

2.5. Ανάλυση χρονολογικών σειρών

Όταν υπάρχουν ιστορικά δεδομένα της ζήτησης και αναμένεται ότι η μελλοντική ζήτηση θα ακολουθήσει περίπου μια ανάλογη πορεία με το παρελθόν, ιδιαίτερα για κάποια βραχυπρόθεσμη περίοδο, τότε η κατάλληλη μέθοδος πρόβλεψης είναι αυτή της ανάλυσης χρονολογικών σειρών.

Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να παρατηρηθούν και να καταγραφούν τα δεδομένα της ζήτησης και τα χαρακτηριστικά τους και να γίνει προσπάθεια να αναγνωριστεί εάν ακολουθείται κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο, ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη τεχνική στατιστικής ανάλυσης χρονολογικών σειρών. Οι βασικές μέθοδοι ανάλυσης είναι οι εξής:

- Απλός μέσος όρος
- Κινούμενος μέσος όρος
- Σταθμισμένος μέσος όρος
- Απλή Εκθετική εξομάλυνση
- Προσαρμοσμένη Εκθετική εξομάλυνση

2.5.1. Απλός μέσος όρος

Ο απλός μέσος όρος είναι η απλούστερη μέθοδος πρόβλεψης, όπου θεωρείται ότι η μελλοντική ζήτηση θα είναι ίση με την μέση τιμή της ζήτησης που παρατηρήθηκε στο παρελθόν. Χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν τυχαία δεδομένα στα οποία δεν μπορούν να παρατηρηθούν χαρακτηριστικά αυξητικής ή φθίνουσας τάσης και εποχικότητας αλλά χαρακτηρίζονται από σταθερότητα γύρω από μια μέση τιμή.

2.5.2. Κινούμενος μέσος όρος

Ο κινούμενος μέσος όρος είναι μια βασική μέθοδος πρόβλεψης όταν επιδιώκεται να δοθεί προσοχή σε περιόδους οι οποίες βρίσκονται πιο κοντά στην περίοδο της πρόβλεψης, δεν υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις και δεν υπάρχουν χαρακτηριστικά αυξητικής ή φθίνουσας τάσης και εποχικότητας. Υπολογίζεται ο μέσος όρος αυτών των n περιόδων για την πρόβλεψη της επομένης.

$$F_{t+1} = \frac{D_t + D_{t-1} + \dots + D_{t-n+1}}{n}$$

Για την πρόβλεψη της επομένης περιόδου F_{t+2} αφαιρείται η παλαιότερη ζήτηση D_{t-n+1} και προστίθεται η νέα ζήτηση D_{t+1} , κ.ο.κ.

2.5.3. Σταθμισμένος μέσος όρος

Ο σταθμισμένος μέσος όρος είναι μια μέθοδος ανάλογη του κινουμένου μέσου όρου όπου όμως μπορούν να δοθούν συντελεστές βαρύτητας στις τιμές της ζήτησης των προηγούμενων περιόδων. Στον κινούμενο μέσο όρο κάθε τιμή ζήτησης παλαιότερης περιόδου έχει τον ίδιο συντελεστή βαρύτητας $1/n$. Αντίθετα, στον σταθμισμένο μέσο όρο μπορεί να δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα στις χρονικές περιόδους που είναι εγγύτερα στην περίοδο πρόβλεψης και μικρότερη στις απώτερες περιόδους. Το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας w_i ισούται με την μονάδα.

$$F_t = w_n D_{t-n} + \dots + w_2 D_{t-2} + w_1 D_{t-1} \quad \text{με} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Το πλεονέκτημα της μεθόδου του σταθμισμένου μέσου όρου είναι ότι μπορεί να δοθεί έμφαση στις τιμές της ζήτησης των πρόσφατων περιόδων σε σχέση με την παλαιότερη

ζήτηση. Δεν υπάρχουν περιορισμοί για τον προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας και θα πρέπει να επιλεγούν αυτοί που ελαχιστοποιούν το σφάλμα πρόβλεψης.

2.5.4. Απλή Εκθετική εξομάλυνση

Η απλή εκθετική εξομάλυνση είναι μια εξέλιξη της μεθόδου του σταθμισμένου μέσου όρου, όπου παρόμοια με αυτή δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στα στοιχεία της ζήτησης των πρόσφατων περιόδων. Η μέθοδος της απλής εκθετικής εξομάλυνσης αποτελεί την συνηθέστερη μέθοδο πρόβλεψης της ζήτησης, ιδιαίτερα για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις, καθώς χρειάζεται μικρό αριθμό ιστορικών δεδομένων και είναι ιδιαίτερα απλή στον υπολογισμό της. Η πρόβλεψη της ζήτησης της επόμενης περιόδου γίνεται ως εξής:

$$\boxed{F_{t+1} = F_t + a(D_t - F_t)} \quad \text{ή} \quad \boxed{F_{t+1} = aD_t + (1 - a)F_t}$$

Όπου F_{t+1} : πρόβλεψη ζήτησης επόμενης περιόδου

F_t : πρόβλεψη ζήτησης τελευταίας περιόδου

D_t : πραγματική ζήτηση τελευταίας περιόδου

a : συντελεστής εξομάλυνσης

Η μέθοδος της απλής εκθετικής εξομάλυνσης είναι πολύ απλή γιατί απαιτεί μόνο αυτά τα τρία στοιχεία, την πρόβλεψη της τελευταίας περιόδου, την πραγματική ζήτηση της τελευταίας περιόδου και τον συντελεστή εξομάλυνσης a ($0 \leq a \leq 1$). Για μικρές τιμές του a δίνεται μικρή βαρύτητα στα πρόσφατα δεδομένα. Για μεγάλες τιμές του a δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στα πιο πρόσφατα δεδομένα, με αποτέλεσμα η πρόβλεψη να είναι πιο ευάλωτη σε τυχαία γεγονότα. Αν υπάρχουν καταγεγραμμένα παλαιότερα δεδομένα, τότε ο μέσος όρος τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόβλεψη της ζήτησης της τελευταίας περιόδου. Αν δεν υπάρχουν δεδομένα τότε σαν πρόβλεψη της τελευταίας περιόδου ορίζεται η πραγματική ζήτηση της περιόδου και υπολογίζεται η ζήτηση της μεθεπόμενης περιόδου.

$$\boxed{F_{t+1} = D_t} \quad \text{και} \quad \boxed{F_{t+2} = F_{t+1} + a(D_{t+1} - F_{t+1})}$$

2.5.5. Εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση

Οι μέθοδοι πρόβλεψης μέσω της ανάλυσης χρονολογικών σειρών όπως είναι ο απλός και σταθμισμένος μέσος όρος και η απλή εκθετική εξομάλυνση μπορούν να κάνουν μια σχετικά αξιόπιστη πρόβλεψη της ζήτησης όταν δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή των ιστορικών δεδομένων. Όταν όμως στα ιστορικά δεδομένα των προηγούμενων περιόδων παρατηρείται μια συστηματική αυξητική ή φθίνουσα τάση, τότε στην πρόβλεψη της ζήτησης θα υπάρχει μια συστηματική απόκλιση, δηλαδή τα δεδομένα της πρόβλεψης θα υστερούν ή θα υπερτερούν συστηματικά της πραγματικής τιμής της ζήτησης. Επειδή η μέθοδος της απλής εκθετικής εξομάλυνσης είναι μια ιδιαίτερα δημοφιλής μέθοδος πρόβλεψης εξαιτίας της απλότητας της, έχει δημιουργηθεί μια πιο πολύπλοκη μέθοδος, η οποία όμως ενσωματώνει και την εκτίμηση των μεταβολών της ζήτησης που παρατηρούνται. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση γνωστή στην βιβλιογραφία ως διπλή εκθετική εξομάλυνση ή μοντέλο Holt.

Η εκθετικά εξομαλυνθείσα πρόβλεψη της ζήτησης είναι :

$$A_t = aD_t + (1 - a)(A_{t-1} + T_{t-1})$$

Και η εκθετικά εξομαλυνθείσα τάση είναι:

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

Η πρόβλεψη της ζήτησης με την τάση είναι η αρχική εκθετικά εξομαλυνθείσα πρόβλεψη της ζήτησης διορθωμένη με την τάση.

$$F_{t+1} = A_t + T_t$$

Όπου A_t : εκθετικά εξομαλυνθείσα πρόβλεψη για τη χρονική περίοδο t

D_t : πραγματική ζήτηση για την χρονική περίοδο t

T_t : εκθετικά εξομαλυνθείσα τάση για την χρονική περίοδο t

F_{t+1} : πρόβλεψη της ζήτησης με την τάση την χρονική περίοδο $t+1$

a : συντελεστής εξομάλυνσης για τον μέσο όρο ($0 \leq a \leq 1$)

β : συντελεστής εξομάλυνσης για την τάση ($0 \leq \beta \leq 1$)

Για συντελεστές εξομάλυνσης α και β πρέπει να επιλέγουν αυτοί που ελαχιστοποιούν το σφάλμα πρόβλεψης. Υψηλές τιμές που τείνουν στο 1 δίνουν μεγαλύτερη ευελιξία παρακολούθησης των μεταβολών της ζήτησης.

2.5.6. Εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα

Πολλές φορές παρατηρούνται μεταβολές στα ιστορικά δεδομένα που οφείλονται στην εποχή, δηλαδή υπάρχει μια αύξηση ή μείωση της ζήτησης η οποία ενδέχεται να οφείλεται στον καιρό ή στο εάν είναι περίοδος διακοπών. Για παράδειγμα, σε περιόδους διακοπών παρατηρείται μια αύξηση στη ζήτηση για βενζίνη ή diesel εξαιτίας της αύξησης των μετακινήσεων. Ανάλογη αύξηση παρατηρείται το καλοκαίρι, εξαιτίας της αύξησης του τουρισμού και των μετακινήσεων σε σχέση με τον χειμώνα. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να αναγνωριστεί αυτή η εποχικότητα της ζήτησης που έχει μια περιοδικότητα ανά κάποια περίοδο ρ . Η σωστή πρόβλεψη αυτής της αύξησης θα δώσει τη δυνατότητα της προστασίας από ξαφνικές μεταβολές της ζήτησης. Ένα μοντέλο πρόβλεψης της ζήτησης που λαμβάνει υπόψιν μεταβολές λόγω τάσης και εποχικότητας είναι η εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα, γνωστή στην βιβλιογραφία ως τριπλή εκθετική εξομάλυνση ή μοντέλο Holt - Winter.

Η πρόβλεψη της ζήτησης στην εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα είναι ουσιαστικά η αρχικά εξομαλυνθείσα πρόβλεψη διορθωμένη από την τάση επί τον παράγοντα της εποχικότητας. Η περιοδικότητα της εποχικότητας ρ είναι μετρήσιμο μέγεθος και για παράδειγμα εάν η περιοδικότητα είναι ετήσια τότε $\rho=12$, εάν είναι εβδομαδιαία τότε $\rho=7$, και εάν είναι τριμηνιαία τότε $\rho=4$.

Η Εκθετικά εξομαλυνθείσα πρόβλεψη της ζήτησης είναι :

$$A_t = a \left(\frac{D_t}{S_{t-\rho}} \right) + (1 - a)(A_{t-1} + T_{t-1})$$

Η εξομαλυνθείσα τάση είναι:

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

Η εποχικότητα με μια περιοδικότητα ρ είναι:

$$S_t = \gamma \left(\frac{D_t}{A_t} \right) + (1 - \gamma)S_{t-\rho}$$

Η πρόβλεψη της ζήτησης την χρονική περίοδο t με προσαρμοσμένη την τάση και την εποχικότητα περιοδικότητας ρ είναι :

$$F_{t+1} = (A_t + T_t)S_{t-\rho+1}$$

Όπου A_t : Η εκθετικά εξομαλυνθείσα πρόβλεψη την περίοδο t

T_t : Η τάση την περίοδο t

S_t : Η εποχικότητά με περιοδικότητα ρ την περίοδο t

F_{t+1} : Η πρόβλεψη της ζήτησης με προσαρμοσμένη την τάση και την εποχικότητα

α : συντελεστής εξομάλυνσης ($0 \leq \alpha \leq 1$)

β : συντελεστής εξομάλυνσης τάσης ($0 \leq \beta \leq 1$)

γ : συντελεστής εξομάλυνσης εποχικότητας ($0 \leq \gamma \leq 1$)

Η πρόβλεψη με τη χρήση χρονολογικών σειρών είναι ιδανική όταν υπάρχει ένα αρκετά μεγάλο πλήθος από ιστορικά δεδομένα και η πρόβλεψη θα γίνει για κάποια βραχυπρόθεσμη περίοδο. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ζήτησης επιλέγεται η καταλληλότερη μέθοδος πρόβλεψης η οποία θα ελαχιστοποιήσει το σφάλμα πρόβλεψης. Η χρήση χρονολογικών σειρών είναι ιδανική για προβλέψεις στο τελευταίο στάδιο (Downstream) της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στο ενδιάμεσο στάδιο (Midstream) της εφοδιαστικής αλυσίδας όπου τα ιστορικά δεδομένα δεν βοηθούν στην πραγματοποίηση μιας ασφαλούς μακροχρόνιας πρόβλεψης, καθώς το χρονικό διάστημα για την δημιουργία νέων υποδομών είναι αρκετά μεγάλο, είναι προτιμότερο η πρόβλεψη να γίνεται με τη χρήση ποιοτικών μεθόδων πρόβλεψης. Η ποιοτική μέθοδος πρόβλεψης στηρίζεται κυρίως στην εκτίμηση των στελεχών μιας εταιρείας οι οποίοι βασίζονται στην εμπειρία τους και στην άριστη γνώση της αγοράς. Μπορεί επίσης να υπάρχει και ανταλλαγή πληροφοριών για τη μελλοντική ζήτηση ανάμεσα στους παρόχους και τους χρήστες. Στο αρχικό στάδιο (Upstream) της εφοδιαστικής αλυσίδας, η μελλοντική ζήτηση ενδέχεται να επηρεαστεί από πολλούς εξωτερικούς παράγοντες. Για τον λόγο αυτό είναι προτιμότερο η πρόβλεψη να γίνεται με αιτιακές μεθόδους όπως η γραμμική παλινδρόμηση με χρήση πολλαπλών μεταβλητών, όπως είναι οι τιμές και η μεταβολή του ΑΕΠ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ

3.1. Χαρακτηριστικά της ζήτησης των καυσίμων

Το αργό πετρέλαιο και τα τελικά προϊόντα του - όπως η βενζίνη και το diesel - διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά ως προς τη ζήτησή τους, τα οποία κρίνεται απαραίτητο και σκόπιμο να εξεταστούν στην συνέχεια. Η μεταβολή αυτών των χαρακτηριστικών, αλλάζει τα επίπεδα της συνολικής ζήτησης. Τα βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία χρήζουν περεταίρω αναφοράς, είναι η ελαστικότητα ως προς την τιμή και το εισόδημα.

Κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα έχουν υπάρξει διάφορες περίοδοι στις οποίες έχει παρατηρηθεί μια αλματώδη αύξηση της τιμής του αργού πετρελαίου σε σύντομο χρονικό διάστημα, γνωστές ως πετρελαϊκές κρίσεις. Κάνοντας μια περιεκτική ιστορική αναδρομή, η πρώτη μεγάλη πετρελαϊκή κρίση έλαβε χώρα το 1973 ύστερα από τον πόλεμο του Yom-Kippur και το εμπάργκο που ακολούθησε από ορισμένες Αραβικές χώρες - μέλη του OPEC προς τις ΗΠΑ. Ακολούθησε η δεκαετία του 1980, με τον πόλεμο Ιράν – Ιράκ, και η διατάραξη στον εφοδιασμό που ακολούθησε, κυρίως από τις χώρες του Περσικού κόλπου. Πετρελαϊκή κρίση σημάδεψε και το έτος 2008, ιδιαίτερα λόγω της αλματώδους αύξησης της ζήτησης από την Κίνα, εξαιτίας της αύξησης της κατανάλωσης. Τέλος, δεν μπορεί να μην αναφερθεί η περίοδος ύστερα από το ξέσπασμα της πανδημίας COVID-19.

Όπως εξετάζει ο Tsirimokos (2011, σ. 66), η ζήτηση του αργού πετρελαίου είναι εξαιρετικά ανελαστική ως προς την αύξηση της τιμής του, καθώς οι καταναλωτές δυσκολεύονται να εξεύρουν εναλλακτικές πηγές ενέργειας που θα τους οδηγήσει σε κάποιο υποκατάστατο. Ιδιαίτερα σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα οι καταναλωτές θα είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στην αύξηση της τιμής. Μακροπρόθεσμα, αυτό θα οδηγήσει σε οικονομική κρίση και οι χώρες που τη βιώνουν θα υποστούν μείωση και ενδεχόμενα συρρίκνωση της οικονομικής τους μεγέθυνσης. Στις μη ανεπτυγμένες οικονομίες, όπου το πετρέλαιο έχει μικρότερο ποσοστό χρήσης στις μεταφορές απ' ότι συμβαίνει στις ανεπτυγμένες, η ανελαστικότητα αυτή ως προς την τιμή θα είναι πολύ μικρότερη, καθώς λόγω του μεγάλου κόστους οι καταναλωτές θα προσπαθήσουν άμεσα να καταφύγουν σε κάποιο υποκατάστατο.

Η ελαστικότητα της ζήτησης ως προς το εισόδημα είναι αντίστοιχη με οποιοδήποτε άλλο αγαθό, καθώς όσο αυξάνεται το εισόδημα υπάρχει μια ανάλογη αύξηση στην κατανάλωση, και κατά συνέπεια ανάλογη αύξηση της ζήτησης για πετρέλαιο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Κίνα, όπου η αύξηση των εισοδημάτων οδήγησε σε αύξηση της κατανάλωσης και ταυτόχρονα σε αύξηση της ζήτησης για πετρέλαιο.

Ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, όπως αναφέρει ο Morris (2014), η βενζίνη είναι ένα τελειώς ανελαστικό προϊόν, καθώς η μεταβολή της τιμής έχει πολύ μικρή επίδραση στη ζήτηση για βενζίνη. Υπάρχει μεγάλη ζήτηση για καύσιμα στον τομέα των οδικών μεταφορών και παράλληλα η διείσδυση των μέσων μαζικής μεταφοράς στις καθημερινές μετακινήσεις των πολιτών είναι ιδιαίτερα μικρή. Συνάμα, η δομή των αμερικανικών πόλεων είναι τέτοια όπου οι κάτοικοι αναγκάζονται να καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις καθημερινά για να μεταβούν στις εργασίες τους. Η ελαστικότητα ως προς την τιμή ενδέχεται να επηρεαστεί σε χώρες όπου η φορολογία στα καύσιμα είναι αρκετά μεγάλη, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στην Ελλάδα, αφού οποιαδήποτε αύξηση στην τιμή του αργού πετρελαίου φτάνει στον καταναλωτή αρκετά μεγαλύτερη εάν προστεθεί σε αυτή και η φορολογία.

Η ζήτηση για βενζίνη αυξάνει τους καλοκαιρινούς μήνες και αρχίζει να μειώνεται με την έλευση του φθινοπώρου καθώς αυξάνονται οι μετακινήσεις. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της βενζίνης τους καλοκαιρινούς μήνες είναι η ύπαρξη συστατικών τα οποία μπορούν να εξατμιστούν με σχετική ευκολία εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών. Βάσει νομοθεσίας θα πρέπει αυτά τα συστατικά να αντικατασταθούν με άλλα, τα οποία δεν εξατμίζονται, με συνέπεια η μέση τιμή πώλησης της βενζίνης τον Αύγουστο να είναι υψηλότερη από την μέση τιμή του Ιανουαρίου (EIA, 2023b).

3.2. Προβλήματα από σφάλματα πρόβλεψης στην εφοδιαστική αλυσίδα

Σε αρκετές περιπτώσεις ενδέχεται να προκύψουν αρκετά μεγάλα σφάλματα πρόβλεψης, ανεξάρτητα από το μοντέλο πρόβλεψης που θα χρησιμοποιηθεί. Αρκετά συχνά, η ανάλυση ιστορικών δεδομένων με την χρήση μοντέλων ανάλυσης χρονολογικών σειρών δεν δύναται να προβλέψει μεγάλες και απότομες μεταβολές της ζήτησης, με αποτέλεσμα να οδηγείται σε μεγάλα σφάλματα πρόβλεψης. Αυτό παρατηρείται ιδιαίτερα σε περιόδους κρίσης κατά τις οποίες η ζήτηση δεν ακολουθεί τα ιστορικά δεδομένα των προηγούμενων περιόδων.

Για την αποφυγή τέτοιων σφαλμάτων κρίνεται απαραίτητο να χρησιμοποιούνται συνδυαστικά και ποιοτικές μέθοδοι πρόβλεψης, και παράλληλα η στατιστική ανάλυση να λαμβάνει υπόψιν και άλλους παράγοντες οι οποίοι ενδέχεται να επηρεάζουν τη ζήτηση. Σε περιόδους κρίσης, η πραγματική ζήτηση είναι αρκετά μικρότερη από την πρόβλεψη της ζήτησης, όπως για παράδειγμα συνέβη κατά την πανδημία της COVID-19, αλλά και κατά την χρηματοοικονομική κρίση του 2008, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σοβαρών προβλημάτων κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας καυσίμων.

Στο αρχικό στάδιο (Upstream) της παραγωγής, τέτοια σφάλματα θα οδηγήσουν σε αλματώδη μείωση της παραγωγής και στην μη αξιοποίηση νέων κοιτασμάτων τα οποία θα κριθούν πως δεν είναι οικονομικά βιώσιμα. Μεγαλύτερα, όμως, προβλήματα θα δημιουργηθούν στο ενδιάμεσο στάδιο (Midstream), καθώς τα συμβόλαια για νέες παραγγελίες είναι άνω των τριών μηνών, με συνέπεια οι παλαιότερες παραγγελίες να μην είναι εφικτό να απορροφηθούν από την υπάρχουσα ζήτηση και να δημιουργείται η ανάγκη για αποθήκευση μεγαλύτερων ποσοτήτων. Η ανάγκη για αποθήκευση μεγαλύτερων ποσοτήτων σε συνδυασμό με την υπάρχουσα χωρητικότητα των αποθηκευτικών χώρων, η οποία δεν είναι εφικτό να επεκταθεί άμεσα, οδηγεί στην ανάγκη ναύλωσης πλοίων τύπου τάνκερ τα οποία θα χρησιμοποιηθούν σαν πλωτές δεξαμενές αποθήκευσης μέσα στην θάλασσα.

Το κόστος της ναύλωσης αυτών των πλοίων είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις αρχές της πανδημίας COVID-19 τον Απρίλιο του 2020 (Saul, 2020), υπολογίζεται ότι περίπου 160 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου ήταν αποθηκευμένα σε τάνκερ στην θάλασσα, ποσότητα αρκετά μεγαλύτερη συγκρινόμενη με τα 100 εκατομμύρια βαρέλια που ήταν αποθηκευμένα κατά την κορύφωση της χρηματοοικονομικής κρίσης το 2009. Αυτή η τεράστια διαφορά ανάμεσα στη ζήτηση και την ποσότητα πετρελαίου που ήταν αποθηκευμένη, οδήγησε τον Απρίλιο του 2020 σε στιγμιαία αρνητική τιμή πώλησης του αργού πετρελαίου που έφτασε τα -37,63\$, τα οποία θα έπρεπε να καταβάλει ο πωλητής στον αγοραστή.

Στο τελικό στάδιο (Downstream) της εφοδιαστικής αλυσίδας, σε περιόδους κρίσης όπως είναι μια απεργιακή κινητοποίηση ή μια πολεμική σύρραξη σε μια περιοχή παραγωγής, ενδέχεται να παρουσιαστεί στην λιανική πώληση μια αλματώδης αύξηση της ζήτησης. Για παράδειγμα, οι καταναλωτές εμφανίζονται να διπλασιάζουν την ποσότητα καυσίμων που ζητούν. Η ξαφνική αυτή αύξηση θα δημιουργήσει ελλείψεις

στην αγορά, οι οποίες με την σειρά τους θα μεταφερθούν στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό στη βιβλιογραφία με τον όρο «Φαινόμενο του μαστιγίου». Ανεξάρτητα από την αιτία της αρχικής αύξησης στη ζήτηση, η μεταβολή αυτή θα περάσει στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας και θα δημιουργήσει προβλήματα στην παραγωγή, τα αποθέματα και σε όλα τα ενδιάμεσα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού. Μικρές διακυμάνσεις στο τέλος της αλυσίδας τείνουν να μεγεθύνονται, καθώς κινούνται προς τα αρχικά στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού. Εκτιμάται ότι φαινόμενα όπως αυτό μπορεί να κοστίσουν μέχρι 2,8 δισεκατομμύρια δολάρια στην πετρελαϊκή βιομηχανία, μέγεθος το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο 9% του κόστους παραγωγής (Raghothamarao, 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΙΣ ΗΠΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

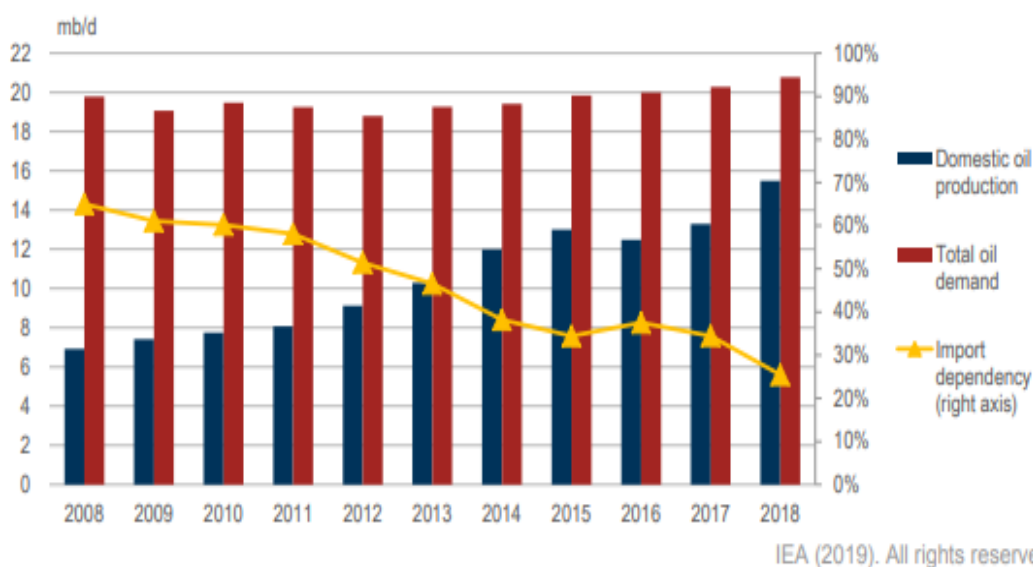
4.1. Εφοδιαστική αλυσίδα των καυσίμων στις ΗΠΑ

Οι ΗΠΑ είναι η μεγαλύτερη οικονομία του πλανήτη και η τρίτη μεγαλύτερη σε πληθυσμό χώρα στον κόσμο. Αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας παγκοσμίως και έναν από τους μεγαλύτερους παραγωγούς ενέργειας στον κόσμο, με σημαντική αύξηση της παραγωγής αργού πετρελαίου τα τελευταία χρόνια, και φτάνοντας το 2017 να αποτελούν την μεγαλύτερη παραγωγό χώρα του κόσμου σε αργό πετρέλαιο σε απόλυτους αριθμούς. Μάλιστα προβλέπεται ότι στο άμεσο μέλλον οι ΗΠΑ θα καταστούν καθαρός εξαγωγέας αργού πετρελαίου.

Το πετρέλαιο θεωρείται το βασικότερο καύσιμο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, αφού καλύπτει περίπου το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Ο τομέας με την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας είναι ο τομέας των μεταφορών, ο οποίος απορροφά περίπου το 70% της συνολικής ζήτησης πετρελαίου. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να εξεταστεί το σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας του πετρελαίου στις ΗΠΑ και να διερευνηθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ζήτησης σε κάθε ενδιάμεσο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στο αρχικό στάδιο (Upstream) της εφοδιαστικής αλυσίδας, αυτό της παραγωγής του αργού πετρελαίου, οι ΗΠΑ είχαν εγχώρια παραγωγή περίπου 12,4 εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως τον Μάιο του 2023 (API, 2023). Η παραγωγή αργού πετρελαίου στις ΗΠΑ μεταξύ των ετών 2007 και 2014 αυξήθηκε σε απόλυτα μεγέθη και σε συνδυασμό με την μείωση στο μερίδιο που κατέχει στο συνολικό ενεργειακό μείγμα, οδήγησε στη μείωση των αναγκών για εισαγωγές στο 25% των συνολικών. Από το 2014 υπάρχει μια σημαντική αύξηση στην παραγωγή σχιστολιθικού ελαφρού πετρελαίου με την εφαρμογή νέων πρωτοποριακών τεχνικών παραγωγής, η οποία οδήγησε σε μια περαιτέρω αύξηση της συνολικής εγχώριας παραγωγής αργού πετρελαίου. Το σχιστολιθικό ελαφρύ πετρέλαιο έφτασε σχεδόν από μηδενική παραγωγή το 2008 σε μια παραγωγή της τάξης των 6,5 εκατομμυρίων βαρελιών ημερησίως και το 2018 άγγιξε περίπου το 24% των συνολικών αναγκών των ΗΠΑ σε πετρέλαιο.

Η παραγωγή αργού πετρελαίου γίνεται σε συνολικά 32 πολιτείες, με την παραγωγή αυτή να εντοπίζεται τόσο στην ξηρά όσο και στην θάλασσα, κυρίως στην περιοχή του κόλπου του Μεξικού. Οι πολιτείες με καταγεγραμμένη παραγωγή αργού πετρελαίου, οι οποίες κατέχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά στην συνολική εγχώρια παραγωγή, είναι το Τέξας που κατέχει ένα ποσοστό της τάξης του 38% της συνολικής παραγωγής, η Βόρεια Ντακότα με 11%, η Αλάσκα με ποσοστό περίπου 5% και η Καλιφόρνια με 5% επίσης. Αν και η συνολική παραγωγή είναι ακόμα μικρότερη από τη συνολική ζήτηση για αργό πετρέλαιο, αυτή η διαφορά είναι συνεχώς μειούμενη, με αποτέλεσμα πολύ σύντομα οι ΗΠΑ να καταστούν καθαρός εξαγωγέας αργού πετρελαίου (IEA, 2019) (Εικόνα 4).

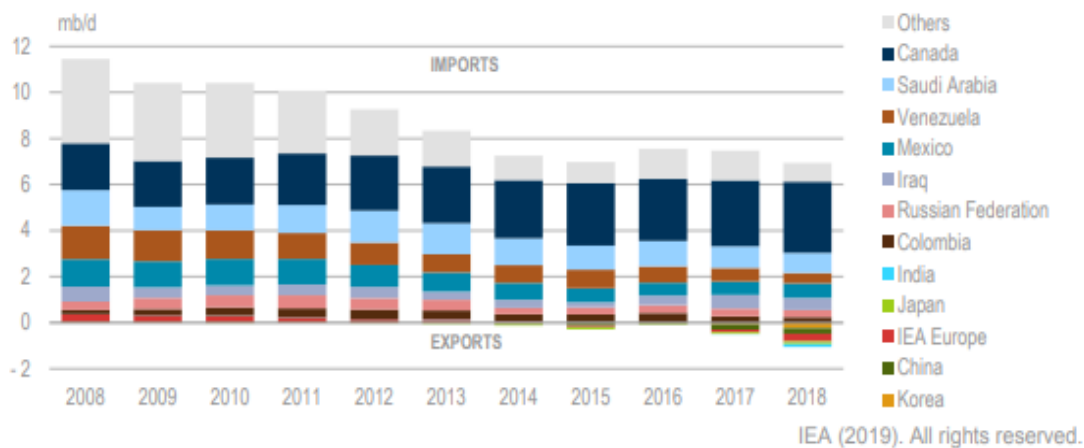


Since 2008, oil import dependency has more than halved to 25%.

Source: IEA (2019b), *Oil Information 2019*, www.iea.org/statistics/.

Εικόνα 4 : Συνολικές ανάγκες εισαγωγών πετρελαίου στις ΗΠΑ (IEA, 2019)

Οι συνολικές ανάγκες για εισαγωγές αργού πετρελαίου το 2018 ήταν περίπου 8,4 εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως. Οι σημαντικότερες χώρες από τις οποίες καλύπτουν οι ΗΠΑ τις ανάγκες τους για εισαγόμενο αργό πετρέλαιο είναι ο Καναδάς, ο οποίος καλύπτει περίπου το 44% των αναγκών, η Σαουδική Αραβία με ένα μερίδιο της τάξης του 10% των αναγκών, το Μεξικό με 8% και ακολουθούν με μικρότερα ποσοστά η Βενεζουέλα και το Ιράκ (Εικόνα 5).



US crude oil trade has become dynamic in terms of volume and trading partners.

Note: Crude oil includes conventional oil, LTO, condensates, NGLs and non-conventional oil.

Source: IEA (2019b), *Oil Information 2019*, www.iea.org/statistics/.

Εικόνα 5: Καθαρές εισαγωγές πετρελαίου ανά χώρα προέλευσης (IEA, 2019)

Η αυξανόμενη εγχώρια παραγωγή αργού πετρελαίου οδήγησε σε μια συστηματική μείωση της εξάρτησης των ΗΠΑ από τις εισαγωγές αργού πετρελαίου. Μάλιστα είναι χαρακτηριστικό ότι η ανάγκη για εισαγωγές μειώθηκε από το 65% σε περίπου 25% στο διάστημα της δεκαετίας μεταξύ 2008 και 2018.

Στο ενδιάμεσο στάδιο (Midstream) της εφοδιαστικής αλυσίδας - αυτό της μεταφοράς του αργού πετρελαίου και της αποθήκευσης - η μεταφορά του πετρελαίου από χώρες όπως είναι η Σαουδική Αραβία και η Βενεζουέλα γίνεται με δεξαμενόπλοια πλοία τύπου τάνκερ, κυρίως προς τερματικούς σταθμούς εκφόρτωσης σε λιμάνια της Ανατολικής ακτής των ΗΠΑ και σε λιμάνια στον κόλπο του Μεξικού. Για την μεταφορά του αργού πετρελαίου από τις περιοχές εξόρυξης προς τα διυλιστήρια και για τις εισαγωγές αργού πετρελαίου από τον Καναδά, ο πλέον συνήθης τρόπος μεταφοράς είναι μέσω αγωγών μεταφοράς αργού πετρελαίου. Μεταφορά μέσω αγωγών γίνεται και από λιμάνια με τερματικούς σταθμούς εκφόρτωσης προς διυλιστήρια, τα οποία βρίσκονται στην ενδοχώρα των ΗΠΑ. Το 2018 υπήρχαν στις ΗΠΑ αγωγοί μεταφοράς πετρελαίου μήκους 346.940 χιλιομέτρων τους οποίους διαχειρίζονταν περίπου 2.300 εταιρείες, με τις δέκα μεγαλύτερες από αυτές να κατέχουν το 30% του δικτύου (IEA, 2019). Ο σημαντικότερος κόμβος αγωγών μεταφοράς αργού πετρελαίου είναι ο Cushing Hub στην Οκλαχόμα. Οι σημαντικότεροι παράκτιοι τερματικοί σταθμοί και κόμβοι (Hubs) μεταφοράς στις ΗΠΑ είναι στην Νέα Υόρκη, τα λιμάνια της Λουϊζιάνα και του Τέξας, στο Σικάγο και στο Λος Άντζελες.

Αρκετοί από τους αγωγούς λειτουργούν ανεξάρτητα και δεν ανήκουν στον χρήστη τους. Ένα χαρακτηριστικό της αγοράς των ΗΠΑ είναι ότι δεν υπάρχουν αγωγοί επαρκούς χωρητικότητας που να διασχίζουν τα Βραχώδη όρη, με αποτέλεσμα πολλές φορές να υπάρχουν προβλήματα στον εφοδιασμό στις πολιτείες δυτικά από τα Βραχώδη όρη (Downey, 2009, σ. 257-261).

Η αποθήκευση του πετρελαίου και η διαχείριση των στρατηγικών αποθεμάτων στις ΗΠΑ βασίζεται στη σχετική νομοθεσία του 1975 (Energy Policy and Conservation Act) περί της διατήρησης στρατηγικών πετρελαϊκών αποθεμάτων (Strategic Petroleum Reserves-SPR). Τα στρατηγικά αποθέματα φυλάσσονται σε τέσσερις μεγάλες φυσικές υπόγειες δεξαμενές κατά μήκος των ακτών του κόλπου του Μεξικού και ανήκουν και διαχειρίζονται από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση. Η μέγιστη δυνατότητα αποθήκευσης είναι 714 εκατομμύρια βαρέλια, ενώ συνδέονται με συστήματα αγωγών με 15 διυλιστήρια στις μέσο-δυτικές πολιτείες των ΗΠΑ και με παράκτιους τερματικούς εκφόρτωσης κατά μήκος των νότιων ακτών (SPR, 2019). Εκτός από τα στρατηγικά αποθέματα ασφαλείας υπάρχουν και τα αποθέματα ασφαλείας τα οποία διατηρούνται από τα διυλιστήρια και άλλους ιδιώτες για τη διασφάλιση του ομαλού εφοδιασμού. Συνολικά τα αποθέματα ασφαλείας που διατηρούνται στις ΗΠΑ επαρκούν για 382 ημέρες, πολύ πάνω από τον στόχο των 90 ημερών που έχει τεθεί από τη Διεθνή Υπηρεσία Ενέργειας προς τα κράτη μέλη της (IEA, 2019). Μέρος των στρατηγικών αποθεμάτων επιτρέπεται να αποδεσμευτεί μόνο ύστερα από εντολή του προέδρου των ΗΠΑ.

Στο τελικό στάδιο (Downstream) της εφοδιαστικής αλυσίδας - αυτό της διύλισης του αργού πετρελαίου και της παραγωγής των τελικών προϊόντων και εν συνεχεία της διανομής και της λιανικής πώλησης μέσω των πρατηρίων καυσίμων στους τελικούς καταναλωτές - στις ΗΠΑ υπάρχουν 132 διυλιστήρια. Αρκετά από τα διυλιστήρια στις ΗΠΑ ανήκουν σε ξένες εταιρείες όπως η BP, Total, Saudi Aramco και η PDVSA, οι οποίες κατείχαν το 2005 περίπου το 25% της συνολικής δυνατότητας διύλισης των ΗΠΑ. Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση διυλιστηρίων είναι κατά μήκος των ακτών του κόλπου του Μεξικού, στις Δυτικές ακτές και στην περιοχή ανάμεσα στο Σικάγο και τη Νέα Υόρκη (Gary κα., 2007, σ.7-9), (Εικόνα 6).

Top 10 U.S. refineries operable capacity*

As of January 1, 2022

Rank	Corporation	Company	State	Site	Barrels per calendar day
1	Saudi Aramco	Motiva Enterprises LLC	Texas	Port Arthur	626,000
2	Marathon Petroleum Corp	Marathon Petroleum Co LP	Texas	Galveston Bay	593,000
3	Marathon Petroleum Corp	Marathon Petroleum Co LP	Louisiana	Garyville	585,000
4	ExxonMobil Corp	ExxonMobil Refining and Supply Co	Texas	Baytown	560,500
5	ExxonMobil Corp	ExxonMobil Refining and Supply Co	Louisiana	Baton Rouge	520,000
6	BP PLC	BP Products North America Inc	Indiana	Whiting	435,000
7	PDV America Inc	Citgo Petroleum Corp	Louisiana	Lake Charles	418,000
8	ExxonMobil Corp	ExxonMobil Refining and Supply Co	Texas	Beaumont	369,024
9	Marathon Petroleum Corp	Tesoro Refining and Marketing Co	California	Carson	363,000
10	Chevron Corp	Chevron USA Inc	Mississippi	Pascagoula	356,440

*Includes only refineries with atmospheric crude oil distillation capacity.

Source: [Refinery Capacity Report](#)

Εικόνα 6: Τα μεγαλύτερα διυλιστήρια στις ΗΠΑ (EIA, 2022a)

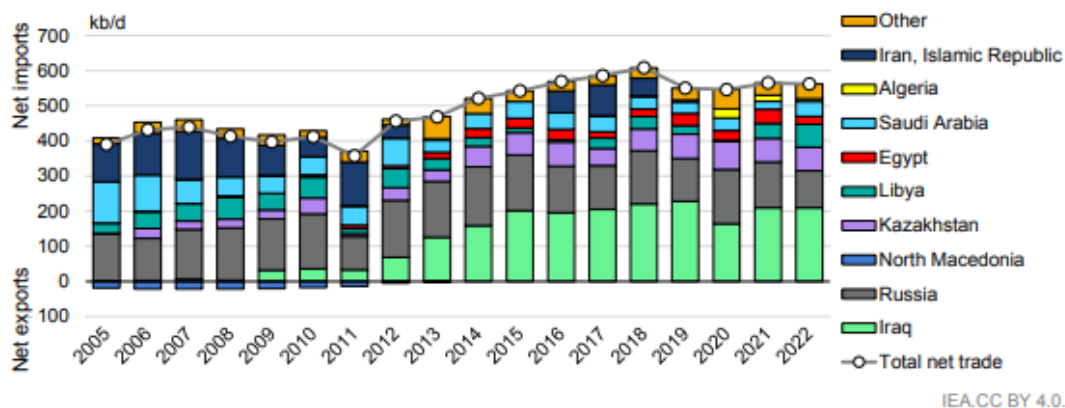
Τη μεγαλύτερη χωρητικότητα διύλισης έχουν προφανώς οι Αμερικάνικες εταιρείες, με παρουσία στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως η ExxonMobil και η Chevron. Στη λιανική πώληση μέσω των πρατηρίων δραστηριοποιούνται τόσο παγκόσμιοι κολοσσοί με παρουσία στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας, όσο και μεμονωμένα πρατήρια. Υπάρχουν 118.678 πρατήρια λιανικής πώλησης καυσίμων στις ΗΠΑ και αντιπροσωπεύουν περίπου το 80% των συνολικών πωλήσεων καυσίμων στη χώρα (NACS, 2023).

Η ζήτηση στη λιανική πώληση καυσίμων στις ΗΠΑ παρουσιάζει έντονη εποχικότητα, με μεγάλη αύξηση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού εξαιτίας της αύξησης των μετακινήσεων, και μείωση τον χειμώνα. Η παραγωγή από τα διυλιστήρια, ιδιαίτερα σε αυτά που βρίσκονται στον κόλπο του Μεξικού, επηρεάζεται την περίοδο των τυφώνων (από τον Ιούνιο έως το τέλος του Νοέμβριου), και για τον λόγο αυτό θα πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν ακριβέστερη πρόβλεψη της ζήτησης και προγραμματισμός της παραγωγής για δημιουργία επαρκών αποθεμάτων ασφαλείας, ώστε να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν τόσο σε προβλήματα παραγωγής όσο και σε προβλήματα προμηθειών.

4.2. Η εφοδιαστική αλυσίδα των καυσίμων στην Ελλάδα

Το πετρέλαιο θεωρείται ένα πολύ βασικό καύσιμο για την κάλυψη των συνολικών ενεργειακών αναγκών της Ελλάδας, αφού καλύπτει περίπου το 47% αυτών σε σχέση με το 21% που καλύπτεται από τον άνθρακα (κυρίως λιγνίτη) και το 19% που καλύπτεται από το φυσικό αέριο. Ο τομέας των μεταφορών κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο στη συνολική ζήτηση του πετρελαίου, καθώς το 2021 αντιστοιχούσε περίπου στο 45% της συνολικής ζήτησης για τα τελικά προϊόντα του πετρελαίου (IEA, 2023). Κρίνεται απαραίτητο και σκόπιμο να εξεταστεί το σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας καυσίμων στην Ελλάδα, και να παρατηρηθούν τα χαρακτηριστικά της ζήτησης σε κάθε στάδιο.

Στο αρχικό στάδιο (Upstream) της αλυσίδας, αυτό της παραγωγής του αργού πετρελαίου, η Ελλάδα καλύπτει ένα πάρα πολύ μικρό ποσοστό των αναγκών της, περίπου το 1%. Εξόρυξη αργού γίνεται στην περιοχή του Πρίνου της Θάσου, σε κοιτάσμα το οποίο ανακαλύφθηκε το 1974, ενώ η εμπορική του εκμετάλλευση άρχισε το 1981. Σήμερα η εξόρυξη αργού πετρελαίου από τον Πρίνο πραγματοποιείται από την εταιρεία Energean και είναι της τάξης των 5.000 βαρελιών ημερησίως, αν και είχε φτάσει κατά την κορύφωση της το 1985 στα 25.000 βαρέλια. Η συνολική παραγωγή από τα κοιτάσματα στην περιοχή του Πρίνου από το 1981 έως σήμερα ανέρχονται στα 130 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου (Energean, 2023). Η Ελλάδα εισάγει ημερησίως περίπου 550.000 βαρέλια και οι εισαγωγές καλύπτουν το 99% των αναγκών της, με ένα μεγάλο μέρος από αυτές τις εισαγωγές, περίπου 300.000 βαρέλια, μετά τη διύλιση του να επανεξάγεται ως προϊόντα πετρελαίου. Οι καθαρές εγχώριες ανάγκες ξεπερνούν τα 250.000 βαρέλια ημερησίως, και μάλιστα το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών των αναγκών το κατέχει ο κλάδος των μεταφορών, με ποσοστό που αγγίζει περίπου το 45%. Η Ελλάδα κάλυπτε το 2022 το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών της σε αργό πετρέλαιο με εισαγωγές από το Ιράκ, την Ρωσία, το Καζακστάν και τη Λιβύη (IEA, 2023), (Εικόνα 7).



Source: IEA (2022a).

IEA.CC BY 4.0.

Εικόνα 7: Εισαγωγές πετρελαίου στην Ελλάδα ανά χώρα προέλευσης (IEA, 2023)

Να επισημανθεί σε αυτό το σημείο πως μετά το εμπάργκο που επιβλήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στις εισαγωγές αργού πετρελαίου δια θαλάσσης από τη Ρωσία λόγω της εισβολής στην Ουκρανία, αναμένεται να υπάρξουν σημαντικές αλλαγές, με τις άλλες χώρες να μοιράζονται το μερίδιο του ρωσικού αργού.

Στο ενδιάμεσο στάδιο (Midstream) της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν υπάρχουν αγωγοί μεταφοράς αργού πετρελαίου στην Ελλάδα και το σύνολο της μεταφοράς γίνεται με πλοία τάνκερ, είτε απευθείας από τις χώρες εισαγωγής είτε από παράκτιους τερματικούς σταθμούς φόρτωσης σε κάποια άλλη χώρα. Η αποθήκευση και η διαχείριση των αποθεμάτων του αργού πετρελαίου γίνεται από τα διυλιστήρια σε ειδικές εγκαταστάσεις, με τις μεγαλύτερες από αυτές να είναι στην Ελευσίνα, στους Αγίους Θεοδώρους, τα Μέγαρα και τη Θεσσαλονίκη. Η Ελλάδα διαθέτει αποθέματα ασφαλείας, τα οποία σύμφωνα με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο επιβάλλεται να τηρούνται από τα διυλιστήρια και τους μεγάλους καταναλωτές, σε εγκαταστάσεις των υπόχρεων (ΡΑΕ, 2023). Τα αποθέματα ασφαλείας του αργού πετρελαίου και προϊόντων τον Ιούλιο του 2022 επαρκούσαν για 114 ημέρες, διάστημα αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που απαιτεί η Ευρωπαϊκή Ένωση (Eurostat, 2022).

Στο τελικό στάδιο (Downstream) της αλυσίδας, στον τομέα της διύλισης υπάρχουν τέσσερα διυλιστήρια πετρελαίου, τα οποία διαχειρίζονται οι δυο μεγάλοι ενεργειακοί όμιλοι της Ελλάδας, τα «Ελληνικά Πετρέλαια» και η «Motor Oil Hellas». Τα «Ελληνικά Πετρέλαια» διαχειρίζονται το διυλιστήριο Ασπροπύργου, το οποίο έχει ημερήσια δυνατότητα διύλισης 148.000 βαρέλια, το διυλιστήριο της Ελευσίνας, με ημερήσια δυνατότητα 106.000 βαρέλια και τέλος το διυλιστήριο της Θεσσαλονίκης με

ημερήσια δυνατότητα διύλισης 90.000 βαρέλια (ΕΛΠΕ, 2020). Η συνολική ετησία δυνατότητα διύλισης του Ομίλου «Ελληνικά Πετρέλαια» είναι 17,3 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι. Από την άλλη, η «Motor Oil Hellas» (ΜΟΗ) με το διυλιστήριο στους Αγίους Θεοδώρους Κορινθίας που διαχειρίζεται, και το οποίο έχει δυνατότητα κατεργασίας 178.000 βαρελιών ημερησίως, καλύπτει περίπου το 40% της εγχώριας αγοράς (ΜΟΗ, 2023).

Στον τομέα της λιανικής πώλησης προϊόντων διύλισης υπάρχουν περίπου 50 εταιρείες, με τις μεγαλύτερες να ελέγχονται από τους δύο μεγάλους ομίλους. Συγκεκριμένα η ΕΚΟ και η ΒΡ ανήκουν στον όμιλο των Ελληνικών Πετρελαίων και η ΑVIN και η SHELL στον όμιλο της ΜΟΗ. Υπάρχουν περίπου 6.000 πρατήρια λιανικής πώλησης καυσίμων, ένας αριθμός από τους μεγαλύτερους, κατ' αναλογία πληθυσμού, στην Ευρώπη, εξαιτίας των γεωγραφικού αναγλύφου της χώρας με την ύπαρξη πολλών κατοικημένων νησιών.

Η τιμή πώλησης των καυσίμων στην Ελλάδα επιβαρύνεται με πολλούς φόρους όπως είναι ο Ειδικός Φόρος Κατανάλωσης (ΕΦΚ), ενώ επιβάλλεται επιπλέον ΦΠΑ 24%. Η αύξηση αυτών των φόρων επηρεάζει την τελική τιμή πώλησης και κατά συνέπεια ενδέχεται να μεταβάλλεται η ζήτηση. Η ζήτηση των καυσίμων στην Ελλάδα παρουσιάζει μια σταθερή μείωση από το 2007 εξαιτίας της οικονομικής κρίσης και αναμένεται να συνεχιστεί στο μέλλον εξαιτίας της διείσδυσης του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη βιομηχανία. Η ζήτηση του Diesel και της βενζίνης παρουσιάζει μια ιδιαίτερα μεγάλη εποχικότητα το καλοκαίρι, με μεγάλη αύξηση εξαιτίας των μετακινήσεων και του τουρισμού. Η ζήτηση έχει και ιδιαίτερα γεωγραφικά χαρακτηριστικά, με μικρή ζήτηση στα νησιά τον χειμώνα και αλματώδη αύξηση της το καλοκαίρι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

5.1. Εισαγωγή

Για την επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου πρόβλεψης θα χρησιμοποιηθούν ιστορικά δεδομένα ζήτησης καυσίμων από τις ΗΠΑ και την Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, από τις ΗΠΑ θα χρησιμοποιηθούν ιστορικά δεδομένα κατανάλωσης βενζίνης (gasoline) ανάμεσα στα έτη 2015 και 2020. Τα δεδομένα αυτά είναι οι μηνιαίες λιανικές πωλήσεις από μία περίοδο 60 μηνών. Στην Ελλάδα θα χρησιμοποιηθούν ιστορικά δεδομένα κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης και diesel ανάμεσα στα έτη 2000 και 2021 σε ετήσια βάση. Θα εξεταστούν διαφορετικά μοντέλα πρόβλεψης, ανάλογα με το είδος και τα χαρακτηριστικά των ιστορικών δεδομένων, και στόχος είναι να εξευρεθεί το καταλληλότερο το οποίο θα έχει το μικρότερο σφάλμα πρόβλεψης.

Για τη μέτρηση του σφάλματος πρόβλεψης χρησιμοποιούνται η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος RSME, η μέση απόλυτη απόκλιση MAD και η μέση εκατοστιαία απόλυτη απόκλιση MAPE. Οι μέθοδοι που εξετάζονται είναι ο κινούμενος μέσος όρος, ο σταθμισμένος μέσος όρος, η απλή εκθετική εξομάλυνση και η εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα, ανάλογα με τα δεδομένα και τα χαρακτηριστικά τους. Χρησιμοποιείται το MS EXCEL για να επιλεγούν οι κατάλληλοι συντελεστές εξομάλυνσης οι οποίοι ελαχιστοποιούν το σφάλμα πρόβλεψης.

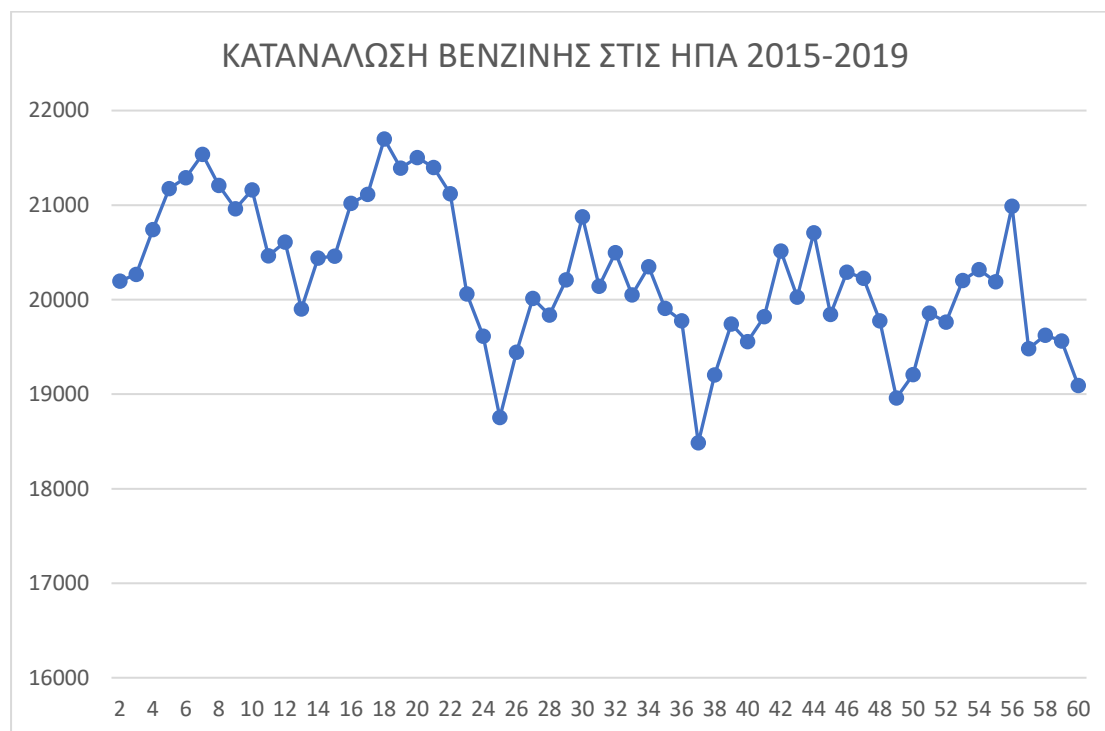
5.2. Ζήτηση της βενζίνης στις ΗΠΑ

Στον Πίνακα 1 αποτυπώνεται η μηνιαία κατανάλωση βενζίνης στις ΗΠΑ μεταξύ των ετών 2015 και 2019, μέσω πρατηρίων λιανικής πώλησης (σε χιλιάδες γαλόνια ημερησίως, τα δεδομένα έχουν στρογγυλοποιηθεί στον πλησιέστερο ακέραιο).

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
2015	19.839	20.195	20.266	20.740	21.176	21.291	21.538	21.210	20.962	21.163	20.463	20.608
2016	19.900	20.440	20.461	21.020	21.113	21.699	21.391	21.502	21.400	21.122	20.061	19.613
2017	18.752	19.444	20.015	19.836	20.209	20.876	20.143	20.499	20.049	20.348	19.909	19.778
2018	18.485	19.203	19.742	19.557	19.822	20.516	20.027	20.708	19.845	20.292	20.227	19.775
2019	18.960	19.209	19.856	19.762	20.202	20.319	20.188	20.987	19.481	19.624	19.563	19.092

Πίνακας 1: Μηνιαία κατανάλωση βενζίνης στις ΗΠΑ (ΕΙΑ, 2022b)

Στο Διάγραμμα 1 απεικονίζεται η μηνιαία κατανάλωση για το σύνολο των 60 περιόδων, στο οποίο μπορεί να παρατηρηθεί η ύπαρξη εποχικότητας, καθώς υπάρχει αύξηση της κατανάλωσης τους καλοκαιρινούς μήνες και μείωση τους χειμερινούς.



Διάγραμμα 1: Μηνιαία κατανάλωση βενζίνης στις ΗΠΑ κατά την περίοδο 2015-2019

Για την πρόβλεψη της ζήτησης της κατανάλωσης της βενζίνης στις ΗΠΑ θα χρησιμοποιηθούν η μέθοδος του κινούμενου μέσου όρου, της απλής εκθετικής εξομάλυνσης και της εκθετικής εξομάλυνσης προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα.

5.2.1. Κινούμενος μέσος όρος

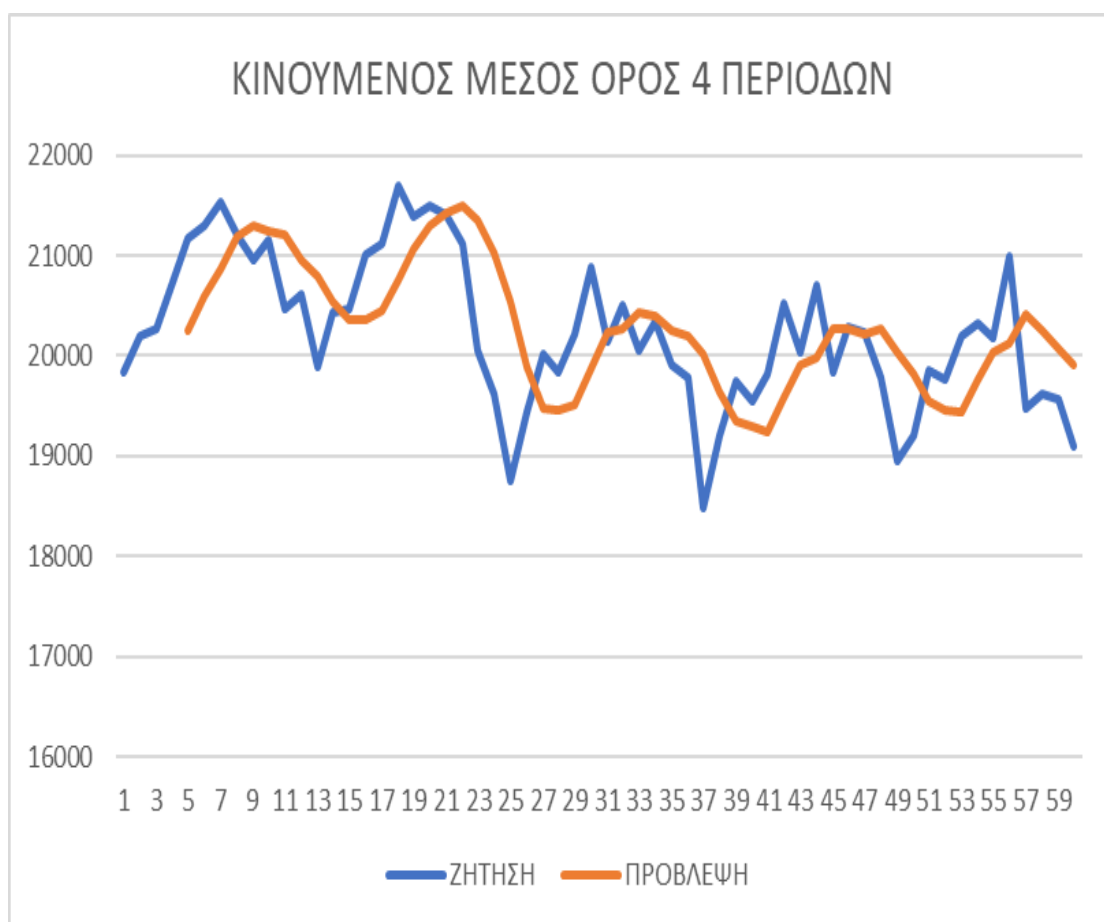
ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ	ΑΠΟΛΥΤΟ/ D_t			
2015	Ιαν-2015	1	19839							
2015	Φεβ-2015	2	20195							
2015	Μαρ-2015	3	20266							
2015	Απρ-2015	4	20740							
2015	Μαϊ-2015	5	21176	20260	916	916	0,043256517	RMSE	674,86016	
2015	Ιουν-2015	6	21291	20594,25	696,75	696,75	0,032725095	MAD	547,42411	
2015	Ιουλ-2015	7	21538	20868,25	669,75	669,75	0,031096202	MAPE	2,733526	
2015	Αυγ-2015	8	21210	21186,25	23,75	23,75	0,001119755			
2015	Σεπ-2015	9	20962	21303,75	-341,75	341,75	0,016303311			
2015	Οκτ-2015	10	21163	21250,25	-87,25	87,25	0,004122761			
2015	Νοε-2015	11	20463	21218,25	-755,25	755,25	0,036908078			
2015	Δεκ-2015	12	20608	20949,5	-341,5	341,5	0,016571234			
2016	Ιαν-2016	13	19900	20799	-899	899	0,045175879			
2016	Φεβ-2016	14	20440	20533,5	-93,5	93,5	0,004574364			
2016	Μαρ-2016	15	20461	20352,75	108,25	108,25	0,005290553			
2016	Απρ-2016	16	21020	20352,25	667,75	667,75	0,031767364			
2016	Μαϊ-2016	17	21113	20455,25	657,75	657,75	0,031153792			
2016	Ιουν-2016	18	21699	20758,5	940,5	940,5	0,043343011			
2016	Ιουλ-2016	19	21391	21073,25	317,75	317,75	0,014854378			
2016	Αυγ-2016	20	21502	21305,75	196,25	196,25	0,009127058			
2016	Σεπ-2016	21	21400	21426,25	-26,25	26,25	0,001226636			
2016	Οκτ-2016	22	21122	21498	-376	376	0,017801345			
2016	Νοε-2016	23	20061	21353,75	-1292,75	1292,75	0,064440955			
2016	Δεκ-2016	24	19613	21021,25	-1408,25	1408,25	0,071801866			
2017	Ιαν-2017	25	18752	20549	-1797	1797	0,095829778			
2017	Φεβ-2017	26	19444	19887	-443	443	0,022783378			
2017	Μαρ-2017	27	20015	19467,5	547,5	547,5	0,027354484			
2017	Απρ-2017	28	19836	19456	380	380	0,019157088			
2017	Μαϊ-2017	29	20209	19511,75	697,25	697,25	0,034501955			
2017	Ιουν-2017	30	20876	19876	1000	1000	0,047901897			
2017	Ιουλ-2017	31	20143	20234	-91	91	0,004517698			
2017	Αυγ-2017	32	20499	20266	233	233	0,011366408			
2017	Σεπ-2017	33	20049	20431,75	-382,75	382,75	0,019090728			
2017	Οκτ-2017	34	20348	20391,75	-43,75	43,75	0,002150088			
2017	Νοε-2017	35	19909	20259,75	-350,75	350,75	0,01761766			
2017	Δεκ-2017	36	19778	20201,25	-423,25	423,25	0,02140004			
2018	Ιαν-2018	37	18485	20021	-1536	1536	0,083094401			
2018	Φεβ-2018	38	19203	19630	-427	427	0,022236109			
2018	Μαρ-2018	39	19742	19343,75	398,25	398,25	0,020172728			
2018	Απρ-2018	40	19557	19302	255	255	0,01303881			
2018	Μαϊ-2018	41	19822	19246,75	575,25	575,25	0,029020785			
2018	Ιουν-2018	42	20516	19581	935	935	0,045574186			
2018	Ιουλ-2018	43	20027	19909,25	117,75	117,75	0,005879563			
2018	Αυγ-2018	44	20708	19980,5	727,5	727,5	0,03513135			
2018	Σεπ-2018	45	19845	20268,25	-423,25	423,25	0,02132779			
2018	Οκτ-2018	46	20292	20274	18	18	0,000887049			
2018	Νοε-2018	47	20227	20218	9	9	0,00044495			
2018	Δεκ-2018	48	19775	20268	-493	493	0,024930468			
2019	Ιαν-2019	49	18960	20034,75	-1074,75	1074,75	0,056685127			
2019	Φεβ-2019	50	19209	19813,5	-604,5	604,5	0,031469624			
2019	Μαρ-2019	51	19856	19542,75	313,25	313,25	0,015776088			
2019	Απρ-2019	52	19762	19450	312	312	0,015787876			
2019	Μαϊ-2019	53	20202	19446,75	755,25	755,25	0,037384912			
2019	Ιουν-2019	54	20319	19757,25	561,75	561,75	0,027646538			
2019	Ιουλ-2019	55	20188	20034,75	153,25	153,25	0,007591143			
2019	Αυγ-2019	56	20987	20117,75	869,25	869,25	0,041418497			
2019	Σεπ-2019	57	19481	20424	-943	943	0,048406139			
2019	Οκτ-2019	58	19624	20243,75	-619,75	619,75	0,031581227			
2019	Νοε-2019	59	19563	20070	-507	507	0,025916271			
2019	Δεκ-2019	60	19092	19913,75	-821,75	821,75	0,043041588			

$$F_t = \frac{D_{t-1} + D_{t-2} + D_{t-3} + D_{t-4}}{4}$$

Πίνακας 2: Κινούμενος μέσος όρος 4 περιόδων της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η πρόβλεψη με τη μέθοδο του κινούμενου μέσου όρου των τεσσάρων (4) τελευταίων περιόδων από όπου προέκυψε η Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος **RMSE = 674,86** χιλιάδες γαλόνια, η Μέση Απόλυτη Απόκλιση **MAD = 547,42** χιλιάδες γαλόνια και η Μέση Εκατοστιαία Απόκλιση **MAPE = 2,73 %**.

Το Διάγραμμα 2 απεικονίζει τις τιμές των προβλέψεων με τη μέθοδο του κινούμενου μέσου όρου, συγκρινόμενες με τις πραγματικές τιμές της ζήτησης.



Διάγραμμα 2: Κινούμενος μέσος όρος 4 περιόδων της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ

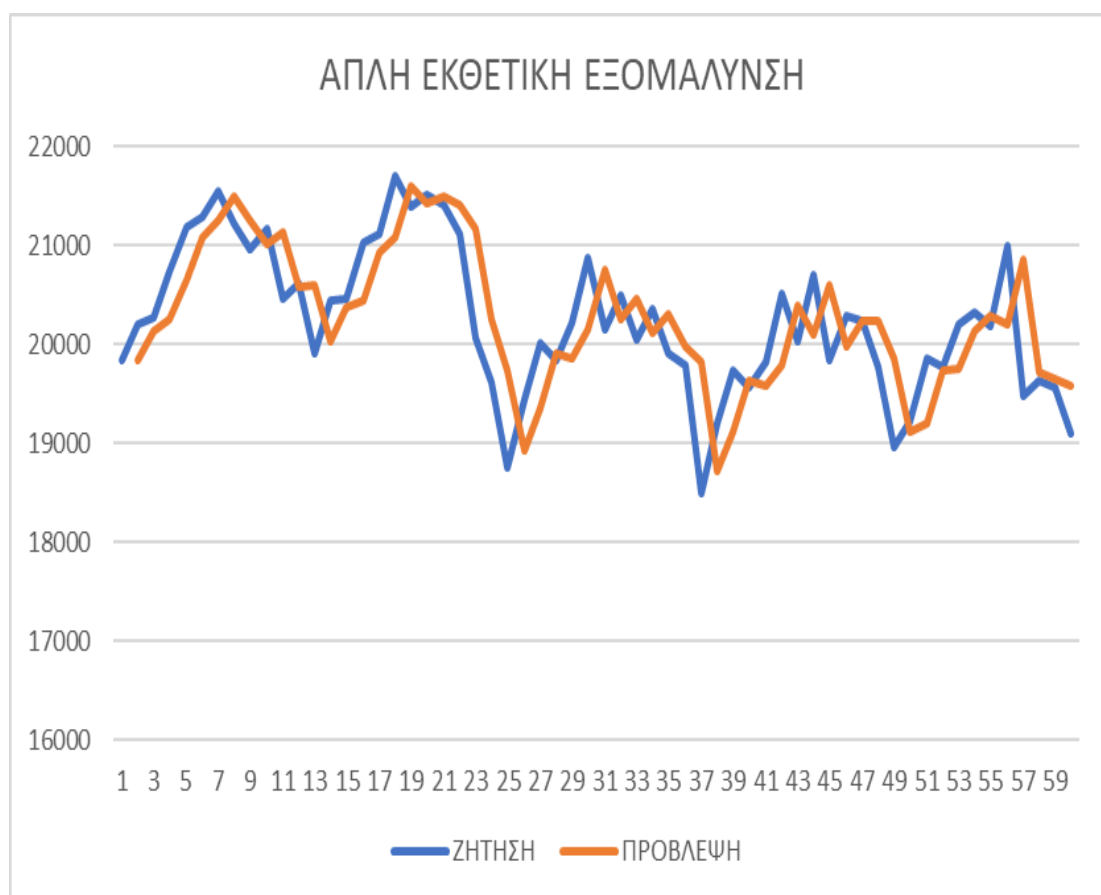
5.2.2. Απλή εκθετική εξομάλυνση

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ	ΑΠΟΛΥΤΟ/ D_t		
2015	Ιαν-2015	1	19839						
2015	Φεβ-2015	2	20195	19839	356	356	0,017628126	$\alpha =$	0,825416
2015	Μαρ-2015	3	20266	20132,84821	133,1517938	133,1517938	0,006570206		
2015	Απρ-2015	4	20740	20242,75387	497,2461316	497,2461316	0,023975223		
2015	Μαϊ-2015	5	21176	20653,18894	522,8110648	522,8110648	0,024688849	RMSE	527,9009
2015	Ιουν-2015	6	21291	21084,72571	206,2742852	206,2742852	0,009688332	MAD	425,0182
2015	Ιουλ-2015	7	21538	21254,98787	283,012126	283,012126	0,01314013	MAPE	2,121221
2015	Αυγ-2015	8	21210	21488,5907	-278,590699	278,5906986	0,013134875		
2015	Σεπ-2015	9	20962	21258,63739	-296,637392	296,6373923	0,014151197	$F_{t+1} = aD_t + (1 - a)F_t$	
2015	Οκτ-2015	10	21163	21013,78805	149,2119493	149,2119493	0,007050605		
2015	Νοε-2015	11	20463	21136,95003	-673,950027	673,9500272	0,032935055	$0 \leq a \leq 1$	
2015	Δεκ-2015	12	20608	20580,66068	27,33931698	27,33931698	0,001326636		
2016	Ιαν-2016	13	19900	20603,227	-703,227001	703,2270011	0,03533804		
2016	Φεβ-2016	14	20440	20022,77197	417,2280348	417,2280348	0,02041233		
2016	Μαρ-2016	15	20461	20367,15879	93,84121013	93,84121013	0,004586345		
2016	Απρ-2016	16	21020	20444,61686	575,3831448	575,3831448	0,027373128		
2016	Μαϊ-2016	17	21113	20919,54749	193,4525129	193,4525129	0,00916272		
2016	Ιουν-2016	18	21699	21079,22635	619,7736537	619,7736537	0,028562314		
2016	Ιουλ-2016	19	21391	21590,79763	-199,797628	199,7976282	0,009340266		
2016	Αυγ-2016	20	21502	21425,88141	76,1185927	76,1185927	0,00354007		
2016	Σεπ-2016	21	21400	21488,71094	-88,7109352	88,71093517	0,004145371		
2016	Οκτ-2016	22	21122	21415,48748	-293,487482	293,4874825	0,013894872		
2016	Νοε-2016	23	20061	21173,23813	-1112,23813	1112,238128	0,055442806		
2016	Δεκ-2016	24	19613	20255,17864	-642,178637	642,1786372	0,032742499		
2017	Ιαν-2017	25	18752	19725,11392	-973,113916	973,1139165	0,051893874		
2017	Φεβ-2017	26	19444	18921,88982	522,1101811	522,1101811	0,026851995		
2017	Μαρ-2017	27	20015	19352,84808	662,1519223	662,1519223	0,033082784		
2017	Απρ-2017	28	19836	19899,39907	-63,3990737	63,39907368	0,003196162		
2017	Μαϊ-2017	29	20209	19847,06844	361,9315557	361,9315557	0,017909424		
2017	Ιουν-2017	30	20876	20145,81265	730,1873467	730,1873467	0,034977359		
2017	Ιουλ-2017	31	20143	20748,5212	-605,521198	605,5211982	0,030061123		
2017	Αυγ-2017	32	20499	20248,71413	250,2858745	250,2858745	0,012209663		
2017	Σεπ-2017	33	20049	20455,30417	-406,304168	406,3041683	0,020265558		
2017	Οκτ-2017	34	20348	20119,93408	228,0659188	228,0659188	0,011208272		
2017	Νοε-2017	35	19909	20308,18341	-399,18341	399,1834102	0,0200504		
2017	Δεκ-2017	36	19778	19978,69091	-200,690913	200,690913	0,010147179		
2018	Ιαν-2018	37	18485	19813,03736	-1328,03736	1328,03736	0,071844055		
2018	Φεβ-2018	38	19203	18716,85366	486,1463364	486,1463364	0,025316166		
2018	Μαρ-2018	39	19742	19118,12678	623,8732216	623,8732216	0,031601318		
2018	Απρ-2018	40	19557	19633,08191	-76,0819105	76,08191053	0,003890265		
2018	Μαϊ-2018	41	19822	19570,28266	251,7173393	251,7173393	0,012698887		
2018	Ιουν-2018	42	20516	19778,05426	737,9457421	737,9457421	0,03596928		
2018	Ιουλ-2018	43	20027	20387,16671	-360,166709	360,1667089	0,017984057		
2018	Αυγ-2018	44	20708	20089,87923	618,1207667	618,1207667	0,029849371		
2018	Σεπ-2018	45	19845	20600,0862	-755,086195	755,0861953	0,038049191		
2018	Οκτ-2018	46	20292	19976,82573	315,1742653	315,1742653	0,015531947		
2018	Νοε-2018	47	20227	20236,97571	-9,97571359	9,975713586	0,000493188		
2018	Δεκ-2018	48	19775	20228,7416	-453,741597	453,7415969	0,022945213		
2019	Ιαν-2019	49	18960	19854,21588	-894,215883	894,2158826	0,047163285		
2019	Φεβ-2019	50	19209	19116,11551	92,88449105	92,88449105	0,004835467		
2019	Μαρ-2019	51	19856	19192,78388	663,2161172	663,2161172	0,033401295		
2019	Απρ-2019	52	19762	19740,21328	21,7867174	21,7867174	0,001102455		
2019	Μαϊ-2019	53	20202	19758,19639	443,8036055	443,8036055	0,0219683		
2019	Ιουν-2019	54	20319	20124,51913	194,4808713	194,4808713	0,00957138		
2019	Ιουλ-2019	55	20188	20285,04681	-97,0468117	97,04681173	0,004807153		
2019	Αυγ-2019	56	20987	20204,94279	782,0572094	782,0572094	0,037263888		
2019	Σεπ-2019	57	19481	20850,46557	-1369,46557	1369,465566	0,070297498		
2019	Οκτ-2019	58	19624	19720,08635	-96,0863527	96,08635265	0,004896369		
2019	Νοε-2019	59	19563	19640,77511	-77,7751101	77,77511006	0,003975623		
2019	Δεκ-2019	60	19092	19576,57827	-484,578266	484,5782657	0,025381221		

Πίνακας 3: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η πρόβλεψη με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης, με αρχική τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης $\alpha = 0,1$ και εν συνεχεία, με την χρήση του MS Excel προέκυψε τιμή για τον συντελεστή εξομάλυνσης $\alpha = 0,825416$ η οποία ελαχιστοποιεί τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος RMSE. Η Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος είναι **RMSE = 527,90** χιλιάδες γαλόνια, η Μέση Απόλυτη Απόκλιση είναι **MAD = 425,02** χιλιάδες γαλόνια και η Μέση Εκατοστιαία Απόκλιση είναι **MAPE = 2,12%**.

Το Διάγραμμα 3 παρουσιάζει τις τιμές των προβλέψεων με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης με συντελεστή εξομάλυνσης $\alpha = 0,825416$, σε σύγκριση με τις τιμές της πραγματικής ζήτησης.



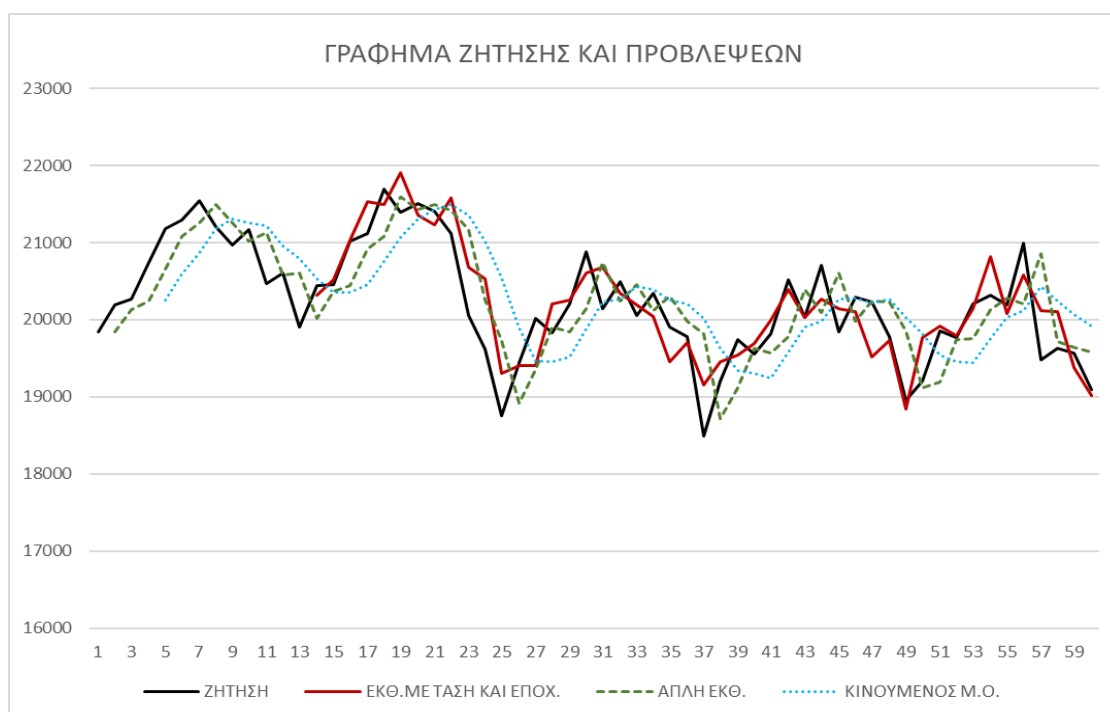
Διάγραμμα 3: Απλή εκθετική εξομάλυνση για την κατανάλωση βενζίνης στις ΗΠΑ

5.2.3. Εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	D_t	A_t	T_t	S_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ	ΣΦΑΛΜΑ				
2015	Ιαν-2015	1	19839			0,95436779						
2015	Φεβ-2015	2	20195			0,9714934						
2015	Μαρ-2015	3	20266			0,9749089				$\alpha =$	0,516635	
2015	Απρ-2015	4	20740			0,99771097				$\beta =$	0,050391	
2015	Μαϊ-2015	5	21176			1,01868503				$\gamma =$	0,899883	
2015	Ιουν-2015	6	21291			1,02421718						
2015	Ιουλ-2015	7	21538			1,03609927				RMSE	368,9383	
2015	Αυγ-2015	8	21210			1,02032062				MAD	290,3991	
2015	Σεπ-2015	9	20962			1,00839043				MAPE	1,451364	
2015	Οκτ-2015	10	21163			1,01805966						
2015	Νοε-2015	11	20463			0,98438571						
2015	Δεκ-2015	12	20608			0,99136103						
2016	Ιαν-2016	13	19900	20851,5	63,916658	0,95436779				$A_t = a \left(\frac{D_t}{S_{t-\rho}} \right) + (1-a)(A_{t-1} + T_{t-1})$		
2016	Φεβ-2016	14	20440	20979,663	67,154107	0,97399817	20319,18922	120,810777				
2016	Μαρ-2016	15	20461	21016,225	65,612512	0,97371408	20518,72944	-57,7294386		$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$		
2016	Απρ-2016	16	21020	21074,805	65,258156	0,99743068	21033,58023	-13,5802301				
2016	Μαϊ-2016	17	21113	20926,009	54,471732	1,00991189	21535,06592	-422,065924				
2016	Ιουν-2016	18	21699	21086,626	59,82052	1,02855793	21488,56873	210,43127		$S_t = \gamma \left(\frac{D_t}{A_t} \right) + (1-\gamma)S_{t-\rho}$		
2016	Ιουλ-2016	19	21391	20887,746	46,784325	1,02529527	21909,81806	-518,818061				
2016	Αυγ-2016	20	21502	21006,465	50,409198	1,02326234	21359,93327	142,066735		$F_{t+1} = (A_t + T_t)S_{t-\rho+1}$		
2016	Σεπ-2016	21	21400	21142,153	54,706446	1,0118149	21233,55071	166,449294				
2016	Οκτ-2016	22	21122	20964,607	43,003007	1,00856402	21579,66701	-457,667012				
2016	Νοε-2016	23	20061	20682,955	26,643307	0,97137646	20679,59086	-618,590857		$\rho=12$		
2016	Δεκ-2016	24	19613	20231,357	2,5442157	0,97163081	20530,68873	-917,688725				
2017	Ιαν-2017	25	18752	19931,519	-12,69314	0,94217764	19310,58369	-558,583686				
2017	Φεβ-2017	26	19444	19941,687	-11,541136	0,97493827	19400,90026	43,0997418				
2017	Μαρ-2017	27	20015	20253,13	4,7343778	0,98678777	19406,26391	608,736085				
2017	Απρ-2017	28	19836	20066,313	-4,9181245	0,98941429	20205,81584	-369,815845				
2017	Μαϊ-2017	29	20209	20035,182	-6,2390288	1,00879942	20260,24102	-51,2410171				
2017	Ιουν-2017	30	20876	20167,109	0,7233095	1,0344908	20600,92776	275,072237				
2017	Ιουλ-2017	31	20143	19898,26	-12,860698	1,01360065	20677,98272	-534,982716				
2017	Αυγ-2017	32	20499	19961,648	-9,0184723	1,02655311	20347,98059	151,01941				
2017	Σεπ-2017	33	20049	19881,468	-12,604372	1,00876578	20188,36768	-139,367676				
2017	Οκτ-2017	34	20348	20027,137	-4,6287815	1,01527478	20039,02084	308,979155				
2017	Νοε-2017	35	19909	20266,954	7,68909	0,9812406	19449,39354	459,606461				
2017	Δεκ-2017	36	19778	20316,4	9,7932649	0,97331217	19699,46812	78,5318792				
2018	Ιαν-2018	37	18485	19961,061	-8,6061263	0,92766732	19150,88483	-665,884834				
2018	Φεβ-2018	38	19203	19820,288	-15,266183	0,96946472	19452,41235	-249,412346				
2018	Μαρ-2018	39	19742	19909,024	-10,025416	0,9911278	19543,35322	198,64678				
2018	Απρ-2018	40	19557	19830,411	-13,481619	0,98653311	19688,35311	-131,353106				
2018	Μαϊ-2018	41	19822	19730,222	-17,850861	1,00506689	19991,30654	-169,306544				
2018	Ιουν-2018	42	20516	19774,165	-14,737018	1,03721255	20392,26684	123,73316				
2018	Ιουλ-2018	43	20027	19758,832	-14,767043	1,01357491	20028,16899	-1,16898652				
2018	Αυγ-2018	44	20708	19965,338	-3,6168843	1,03613189	20268,33149	439,668509				
2018	Σεπ-2018	45	19845	19812,328	-11,144966	1,0023616	20136,70074	-291,700735				
2018	Οκτ-2018	46	20292	19897,031	-6,315053	1,01939252	20103,64127	188,358733				
2018	Νοε-2018	47	20227	20264,235	12,506965	0,99646835	19517,57813	709,421869				
2018	Δεκ-2018	48	19775	20297,656	13,560825	0,97415651	19735,59983	39,4001692				
2019	Ιαν-2019	49	18960	20376,904	16,870891	0,93018508	18842,05169	117,948312				
2019	Φεβ-2019	50	19209	20094,257	1,7778626	0,95729836	19771,04524	-562,045241				
2019	Μαρ-2019	51	19856	20063,853	0,1561799	0,98978934	19917,73883	-61,7388339				
2019	Απρ-2019	52	19762	20047,351	-0,6832385	0,98584294	19793,80922	-31,8092238				
2019	Μαϊ-2019	53	20202	20074,301	0,7092267	1,00623173	20148,24211	53,7578888				
2019	Ιουν-2019	54	20319	19824,44	-11,917265	1,02617497	20822,05252	-503,052517				
2019	Ιουλ-2019	55	20188	19866,82	-9,1811891	1,01590719	20081,47616	106,523837				
2019	Αυγ-2019	56	20987	20063,003	1,1673617	1,0450613	20575,13256	411,867439				
2019	Σεπ-2019	57	19481	19739,172	-15,209667	0,98846672	20111,55419	-630,554188				
2019	Οκτ-2019	58	19624	19479,449	-27,530972	1,00861929	20106,45967	-482,459666				
2019	Νοε-2019	59	19563	19545,127	-22,834041	1,0004693	19383,22034	179,779658				
2019	Δεκ-2019	60	19092	19561,661	-20,850262	0,9758071	19017,76907	74,2309315				

Πίνακας 4: Εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται η πρόβλεψη με τη μέθοδο της εκθετικής εξομάλυνσης προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα με αρχικές τιμές για τους συντελεστές εξομάλυνσης $\alpha = 0,1$, $\beta = 0,1$ και $\gamma = 0,1$ και στη συνέχεια με την χρήση του MS Excel, προέκυψαν τιμές για τους συντελεστές εξομάλυνσης $\alpha = 0,516635$, $\beta = 0,050391$ και $\gamma = 0,899883$, (υπό την προϋπόθεση ότι είναι $0 \leq \alpha \leq 1$, ο συντελεστής εξομάλυνσης της τάσης είναι $0 \leq \beta \leq 1$ και ο συντελεστής εξομάλυνσης της εποχικότητας είναι $0 \leq \gamma \leq 1$) οι οποίες ελαχιστοποιούν την ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος RMSE. Η Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος είναι **RMSE = 368,94** χιλιάδες γαλόνια, η Μέση Απόλυτη Απόκλιση είναι **MAD = 290,40** χιλιάδες γαλόνια και η Μέση Εκατοστιαία Απόλυτη Απόκλιση είναι **MAPE = 1,45%**.



Διάγραμμα 4: Γράφημα ζήτησης και προβλέψεων της κατανάλωσης βενζίνης στις ΗΠΑ

Το Διάγραμμα 4 παρουσιάζει τις τιμές των προβλέψεων με α) τη μέθοδο της εκθετικής εξομάλυνσης προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα, β) με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης και γ) με τη μέθοδο του κινούμενου μέσου όρου, συγκρινόμενες με τις πραγματικές τιμές της ζήτησης. Όπως ήταν αναμενόμενο, καθώς τα δεδομένα της ζήτησης παρουσίαζαν στοιχεία τάσης και εποχικότητας, η μέθοδος της εκθετικής εξομάλυνσης προσαρμοσμένη στην τάση και την εποχικότητα, γνωστή και ως μοντέλο Holt - Winter, είναι ακριβέστερη για την πρόβλεψη της ζήτησης της βενζίνης στις ΗΠΑ, αφού παρουσιάζει τα μικρότερα σφάλματα πρόβλεψης.

5.3. Ζήτηση της αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται η ετήσια κατανάλωση αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα μεταξύ των ετών 2000 και 2021 (σε μετρικούς τόνους) όπως προκύπτει από το δελτίο της κατανάλωσης πετρελαιοειδών της ΕΛΣΤΑΤ.

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2.047.177	2.331.403	2.612.010	2.871.325	3.137.684	3.415.208	3.597.084	3.496.340	3.512.936	3.604.538	3.422.408
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
3.119.072	2.829.437	2.580.832	2.495.741	2.349.848	2.299.277	2.219.765	2.157.699	2.032.796	1.568.116	1.648.805

Πίνακας 5: Κατανάλωση αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα (ΕΛΣΤΑΤ, 2023)

Το γράφημα της ετήσιας κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα για το σύνολο των 22 περιόδων είναι το εξής (Διάγραμμα 5):



Διάγραμμα 5: Κατανάλωση αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα κατά την περίοδο 2000-2021

Παρατηρείται ότι εξαιτίας των χαρακτηριστικών των δεδομένων (ετήσια στοιχεία) δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθούν στοιχεία εποχικότητας. Για την πρόβλεψη της ζήτησης της αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα θα χρησιμοποιηθούν η μέθοδος του κινούμενου μέσου όρου, η μέθοδος του σταθμισμένου μέσου όρου και της απλής εκθετικής εξομάλυνσης.

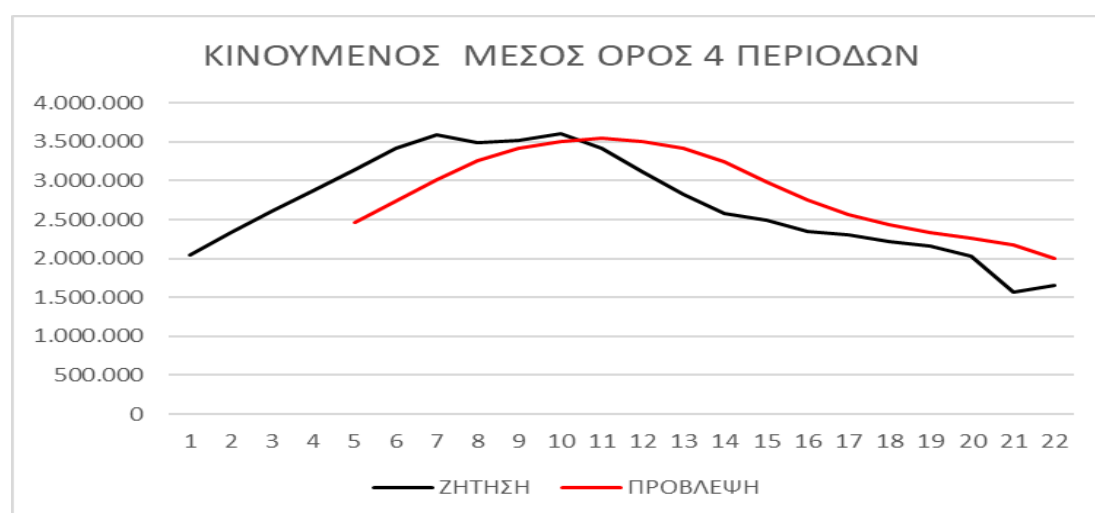
5.3.1. Κινούμενος μέσος όρος

ΕΤΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ			
2000	1	2.047.177						
2001	2	2.331.403					RMSE	433486,7
2002	3	2.612.010					MAD	382489,9
2003	4	2.871.325					MAPE	15,01212
2004	5	3.137.684	2465478,75	672.205	672205,25			
2005	6	3.415.208	2738105,5	677.103	677102,5			
2006	7	3.597.084	3009056,75	588.027	588027,25			
2007	8	3.496.340	3255325,25	241.015	241014,75			
2008	9	3.512.936	3411579	101.357	101357			
2009	10	3.604.538	3505392	99.146	99146			
2010	11	3.422.408	3552724,5	-130.317	130316,5			
2011	12	3.119.072	3509055,5	-389.984	389983,5			
2012	13	2.829.437	3414738,5	-585.302	585301,5			
2013	14	2.580.832	3243863,75	-663.032	663031,75			
2014	15	2.495.741	2987937,25	-492.196	492196,25			
2015	16	2.349.848	2756270,5	-406.423	406422,5			
2016	17	2.299.277	2563964,5	-264.688	264687,5			
2017	18	2.219.765	2431424,5	-211.660	211659,5			
2018	19	2.157.699	2341157,75	-183.459	183458,75			
2019	20	2.032.796	2256647,25	-223.851	223851,25			
2020	21	1.568.116	2177384,25	-609.268	609268,25			
2021	22	1.648.805	1994594	-345.789	345789			

$$F_t = \frac{D_{t-1} + D_{t-2} + D_{t-3} + D_{t-4}}{4}$$

Πίνακας 6: Κινούμενος μέσος όρος 4 περιόδων της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται η πρόβλεψη με τη μέθοδο του κινούμενου μέσου όρου των τεσσάρων (4) τελευταίων περιόδων από όπου προκύπτει Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος **RMSE = 433.486,7** μετρικούς τόνους, Μέση Απόλυτη Απόκλιση **MAD = 382.489,9** μετρικούς τόνους και Μέση Εκατοστιαία Απόκλιση **MAPE = 15,01%**. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και στο Διάγραμμα 6.



Διάγραμμα 6: Κινούμενος μέσος όρος 4 περιόδων της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα

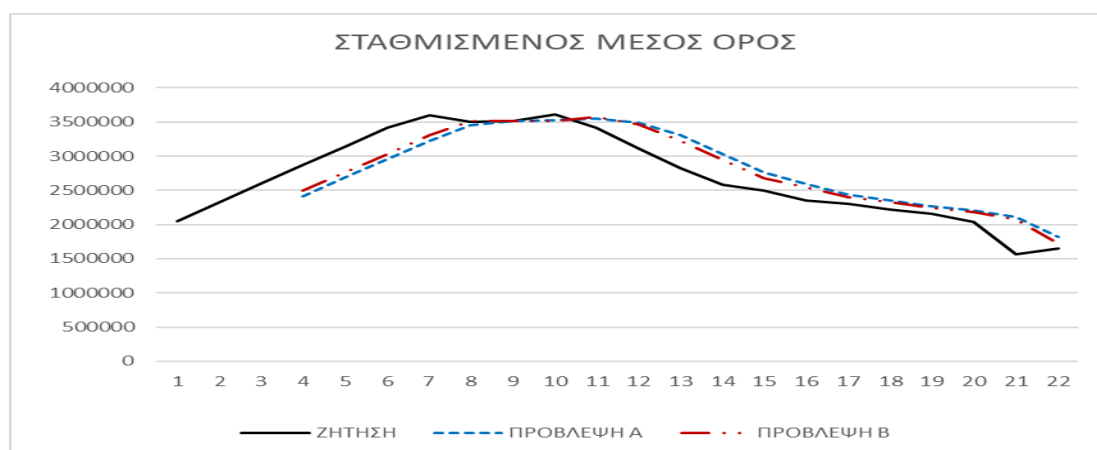
5.3.2. Σταθμισμένος μέσος όρος

		$w_3 = 0,2$	$F_t = w_1 D_{t-1} + w_2 D_{t-2} + w_3 D_{t-3}$			$\sum_{i=1}^3 w_i = 1$	$w_3 = 0,1$			
		$w_2 = 0,3$					$w_2 = 0,2$			
		$w_1 = 0,5$					$w_1 = 0,7$			
Ετος	περίοδος	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ Α	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ Β	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ	
2000	1	2.047.177				2.047.177				
2001	2	2.331.403				2.331.403				
2002	3	2.612.010				2.612.010				
2003	4	2.871.325	2414861,3	456.464	456463,7	2.871.325	2499405,3	371.920	371919,7	
2004	5	3.137.684	2685546,1	452.138	452137,9	3.137.684	2765469,8	372.214	372214,2	
2005	6	3.415.208	2952641,5	462.567	462566,5	3.415.208	3031844,8	383.363	383363,2	
2006	7	3.597.084	3223174,2	373.910	373909,8	3.597.084	3305314,9	291.769	291769,1	
2007	8	3.496.340	3450641,2	45.699	45698,8	3.496.340	3514768,8	-18.429	18428,8	
2008	9	3.512.936	3510336,8	2.599	2599,2	3.512.936	3508375,6	4.560	4560,4	
2009	10	3.604.538	3524786,8	79.751	79751,2	3.604.538	3518031,6	86.506	86506,4	
2010	11	3.422.408	3555417,8	-133.010	133009,8	3.422.408	3575397,8	-152.990	152989,8	
2011	12	3.119.072	3495152,6	-376.081	376080,6	3.119.072	3467886,8	-348.815	348814,8	
2012	13	2.829.437	3307166	-477.729	477729	2.829.437	3228285,8	-398.849	398848,8	
2013	14	2.580.832	3034921,7	-454.090	454089,7	2.580.832	2946661,1	-365.829	365829,1	
2014	15	2.495.741	2763061,5	-267.321	267320,5	2.495.741	2684377	-188.636	188636	
2015	16	2349848	2588007,5	-238.160	238159,5	2.349.848	2546128,8	-196.281	196280,8	
2016	17	2.299.277	2439812,7	-140.536	140535,7	2.299.277	2402125	-102.848	102848	
2017	18	2.219.765	2353741,1	-133.976	133976,1	2.219.765	2329037,6	-109.273	109272,6	
2018	19	2.157.699	2269635,2	-111.936	111936,2	2.157.699	2248675,7	-90.977	90976,7	
2019	20	2.032.796	2204634,4	-171.838	171838,4	2.032.796	2184270	-151.474	151474	
2020	21	1.568.116	2107660,7	-539.545	539544,7	1.568.116	2076473,5	-508.358	508357,5	
2021	22	1.648.805	1825436,6	-176.632	176631,6	1.648.805	1720010,3	-71.205	71205,3	
			RMSE	316.129,19			RMSE	266.175,99		
			MAD	268.104,15			MAD	221.805,01		
			MAPE	10,52724471			MAPE	8,67607935		

Πίνακας 7: Σταθμισμένος μέσος όρος της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται η πρόβλεψη της ζήτησης της αμόλυβδης βενζίνης με τη μέθοδο του σταθμισμένου μέσου όρου τριών (3) περιόδων. Στην πρόβλεψη Α χρησιμοποιούνται οι συντελεστές βαρύτητας $w_1=0,5$ (ένα έτος πίσω), $w_2=0,3$ (δύο έτη πίσω) και $w_3=0,2$ (τρία έτη πίσω). Αναλόγως στην πρόβλεψη Β χρησιμοποιούνται οι συντελεστές βαρύτητας με τιμές $w_1=0,7$ (ένα έτος πίσω), $w_2=0,2$ (δύο έτη πίσω) και $w_3=0,1$ (τρία έτη πίσω) αντίστοιχα. Από τη πρόβλεψη Α προέκυψε Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος **RMSE = 316.129,19** μετρικούς τόνους, Μέση Απόλυτη Απόκλιση **MAD = 268.104,15** μετρικούς τόνους και Μέση Εκατοστιαία Απόλυτη Απόκλιση **MAPE = 10,53%**. Από την πρόβλεψη Β προέκυψε Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος **RMSE = 266.175,99** μετρικούς τόνους, Μέση Απόλυτη Απόκλιση **MAD = 221.805,01** μετρικούς τόνους και Μέση Εκατοστιαία Απόλυτη Απόκλιση **MAPE = 8,68%**. Προκύπτει, λοιπόν, ότι η πρόβλεψη Β είναι καλύτερη, καθώς παράγει μικρότερο σφάλμα.

Το Διάγραμμα 7 παρουσιάζει τις τιμές των προβλέψεων με την μέθοδο του σταθμισμένου μέσου όρου τόσο από την πρόβλεψη Α όσο και από την πρόβλεψη Β, σε σύγκριση με τις τιμές της πραγματικής ζήτησης.



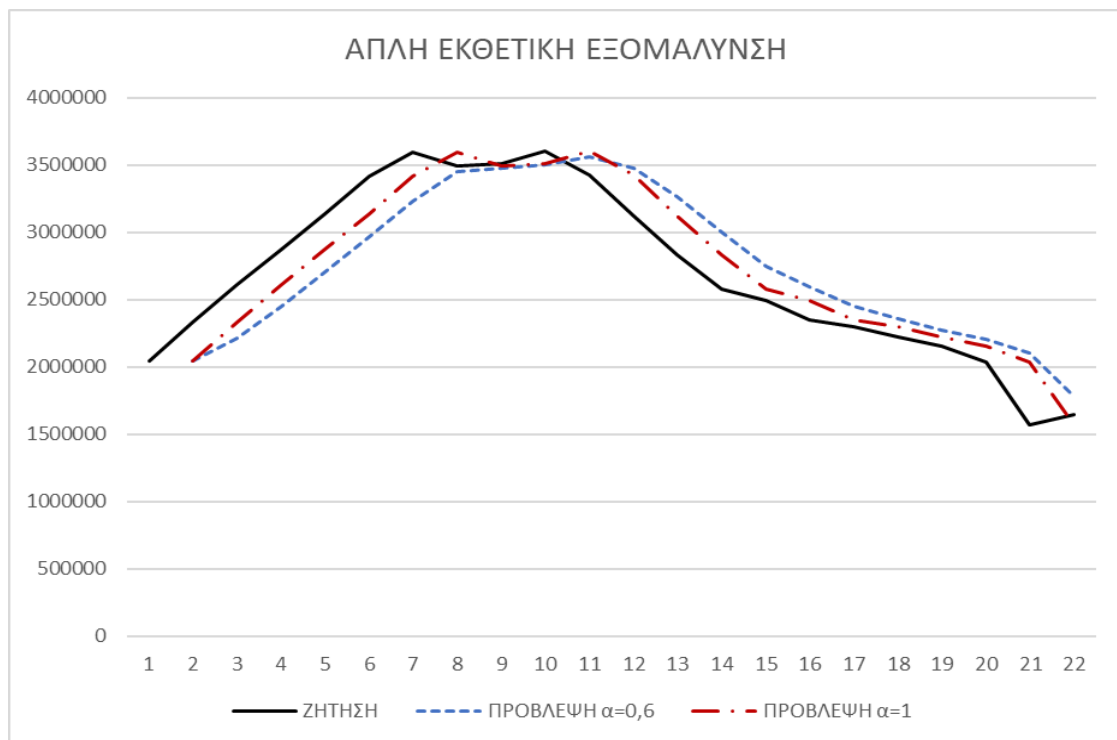
Διάγραμμα 7: Σταθμισμένος μέσος όρος της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα

5.3.3. Απλή Εκθετική εξομάλυνση

$\alpha = 0,6$						$\alpha = 1$					
ΕΤΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ	ΕΤΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ
2000	1	2.047.177				2000	1	2.047.177			
2001	2	2.331.403	2.047.177	284.226	284226	2001	2	2.331.403	2.047.177	284.226	284226
2002	3	2.612.010	2217712,6	394.297	394297,4	2002	3	2.612.010	2331403	280.607	280607
2003	4	2.871.325	2454291,04	417.034	417033,96	2003	4	2.871.325	2612010	259.315	259315
2004	5	3.137.684	2704511,416	433.173	433172,584	2004	5	3.137.684	2871325	266.359	266359
2005	6	3.415.208	2964414,966	450.793	450793,034	2005	6	3.415.208	3137684	277.524	277524
2006	7	3.597.084	3234890,787	362.193	362193,213	2006	7	3.597.084	3415208	181.876	181876
2007	8	3.496.340	3452206,715	44.133	44133,2854	2007	8	3.496.340	3597084	-100.744	100744
2008	9	3.512.936	3478686,686	34.249	34249,3142	2008	9	3.512.936	3496340	16.596	16596
2009	10	3.604.538	3499236,274	105.302	105301,726	2009	10	3.604.538	3512936	91.602	91602
2010	11	3.422.408	3562417,31	-140.009	140009,31	2010	11	3.422.408	3604538	-182.130	182130
2011	12	3.119.072	3478411,724	-359.340	359339,724	2011	12	3.119.072	3422408	-303.336	303336
2012	13	2.829.437	3262807,89	-433.371	433370,89	2012	13	2.829.437	3119072	-289.635	289635
2013	14	2.580.832	3002785,356	-421.953	421953,356	2013	14	2.580.832	2829437	-248.605	248605
2014	15	2.495.741	2749613,342	-253.872	253872,342	2014	15	2.495.741	2580832	-85.091	85091
2015	16	2349848	2597289,937	-247.442	247441,937	2015	16	2349848	2495741	-145.893	145893
2016	17	2.299.277	2448824,775	-149.548	149547,775	2016	17	2.299.277	2349848	-50.571	50571
2017	18	2.219.765	2359096,11	-139.331	139331,11	2017	18	2.219.765	2299277	-79.512	79512
2018	19	2.157.699	2275497,444	-117.798	117798,444	2018	19	2.157.699	2219765	-62.066	62066
2019	20	2.032.796	2204818,378	-172.022	172022,378	2019	20	2.032.796	2157699	-124.903	124903
2020	21	1.568.116	2101604,951	-533.489	533488,951	2020	21	1.568.116	2032796	-464.680	464680
2021	22	1.648.805	1781511,58	-132.707	132706,58	2021	22	1.648.805	1568116	80.689	80689
		RMSE	306605,5957					RMSE	215672,06		
		MAD	267918,253					MAD	184569,524		
		MAPE	10,51409783					MAPE	7,30453094		

Πίνακας 8: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζεται η πρόβλεψη με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης, αρχικά με συντελεστή εξομάλυνσης $\alpha = 0,6$ από όπου προέκυψε Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος **RMSE = 306.605,59** μετρικούς τόνους, Μέση Απόλυτη Απόκλιση **MAD = 267.918,25** μετρικούς τόνους και Μέση Εκατοστιαία Απόλυτη Απόκλιση **MAPE = 10,51%**. Στη συνέχεια με τη χρήση του MS Excel προέκυψε τιμή για τον συντελεστή εξομάλυνσης $\alpha=1$ η οποία ελαχιστοποιεί τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος RMSE. Η Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού σφάλματος είναι **RMSE = 215.672,06** μετρικούς τόνους, η Μέση Απόλυτη Απόκλιση **MAD = 184.569,52** μετρικούς τόνους και η Μέση Εκατοστιαία Απόλυτη Απόκλιση **MAPE = 7,30%**. Το Διάγραμμα 8 παρουσιάζει τις τιμές των προβλέψεων συγκριτικά με τις πραγματικές τιμές της ζήτησης.



Διάγραμμα 8: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα

Συγκεντρωτικά προκύπτει ότι για την πρόβλεψη της ετήσιας ζήτησης της αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα, η εφαρμογή της απλής εκθετικής εξομάλυνσης με συντελεστή εξομάλυνσης $\alpha=1$ είναι η ακριβέστερη καθώς παράγει το μικρότερο σφάλμα πρόβλεψη, δηλαδή η πρόβλεψη της επόμενης περιόδου είναι η πραγματική ζήτηση της τελευταίας περιόδου.

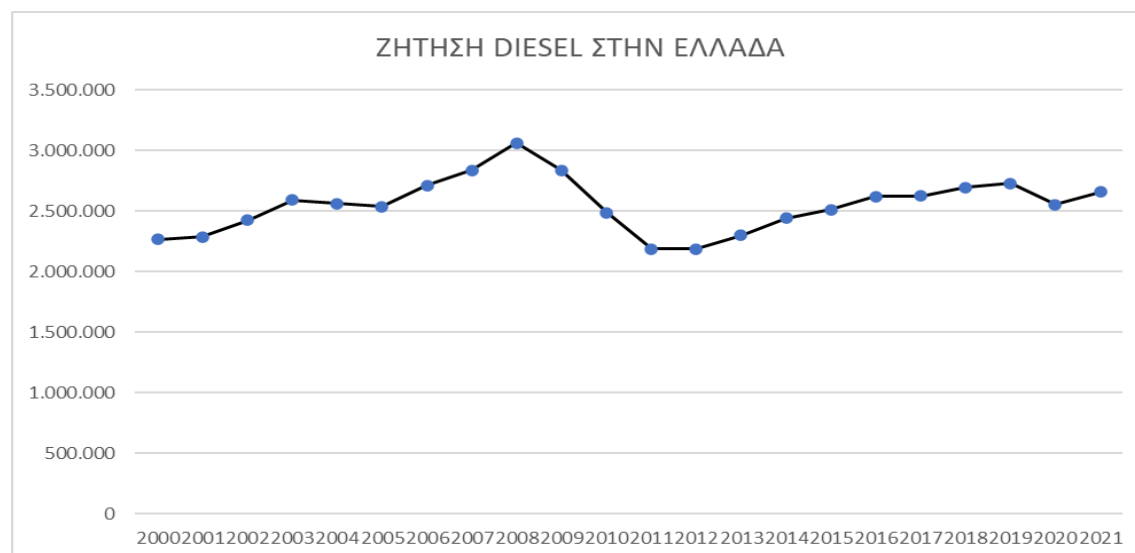
5.4. Ζήτηση του diesel στην Ελλάδα

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζεται η ετήσια κατανάλωση diesel στη Ελλάδα μεταξύ των ετών 2000 και 2021 (σε μετρικούς τόνους), όπως προκύπτει από το δελτίο της κατανάλωσης πετρελαιοειδών της ΕΛΣΤΑΤ.

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2.266.920	2.287.483	2.425.330	2.593.668	2.561.190	2.537.546	2.714.656	2.838.156	3.065.418	2.838.406	2.488.048
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
2.188.854	2.185.909	2.298.541	2.441.950	2.513.318	2.622.431	2.626.117	2.694.420	2.730.084	2.553.574	2.657.533

Πίνακας 9: Κατανάλωση diesel στην Ελλάδα (πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2023)

Το γράφημα της ετήσιας κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα μεταξύ 2000 και 2021 είναι το εξής (Διάγραμμα 9):



Διάγραμμα 9: Κατανάλωση diesel στην Ελλάδα κατά την περίοδο 2000-2021

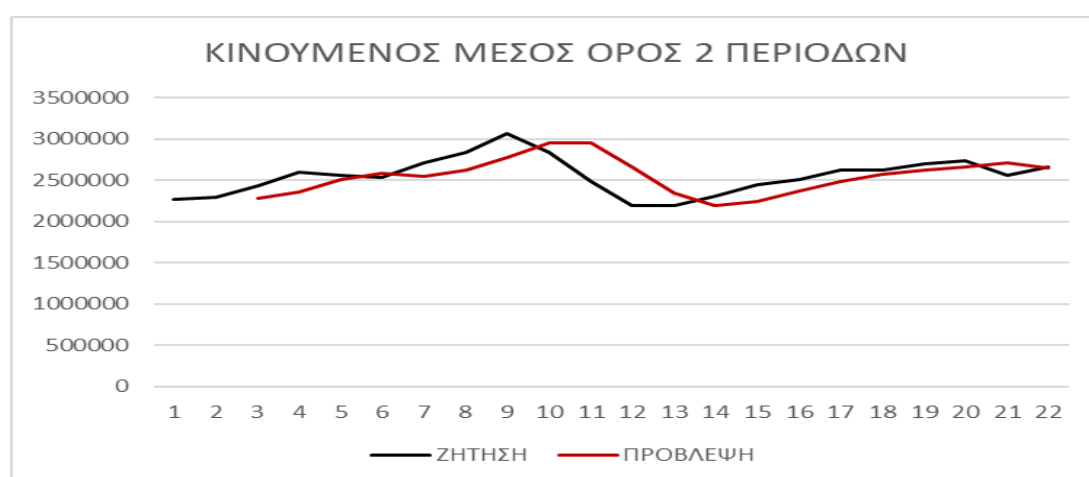
Εξαιτίας του είδους των ιστορικών δεδομένων δεν μπορούν να παρατηρηθούν στοιχεία εποχικότητας. Η πρόβλεψη της ζήτησης diesel στην Ελλάδα θα γίνει με τη μέθοδο του κινούμενου μέσου όρου, του σταθμισμένου μέσου όρου και με την απλή εκθετική εξομάλυνση.

5.4.1. Κινούμενος μέσος όρος

ΕΤΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ		
2000	1	2.266.920					
2001	2	2.287.483					
2002	3	2.425.330	2277201,5	148.129	148128,5	$F_t = \frac{D_{t-1} + D_{t-2}}{2}$	
2003	4	2.593.668	2356406,5	237.262	237261,5		
2004	5	2.561.190	2509499	51.691	51691		
2005	6	2.537.546	2577429	-39.883	39883	RMSE	205782,8385
2006	7	2.714.656	2549368	165.288	165288	MAD	165940,95
2007	8	2.838.156	2626101	212.055	212055	MAPE	6,576747194
2008	9	3.065.418	2776406	289.012	289012		
2009	10	2.838.406	2951787	-113.381	113381		
2010	11	2.488.048	2951912	-463.864	463864		
2011	12	2.188.854	2663227	-474.373	474373		
2012	13	2.185.909	2338451	-152.542	152542		
2013	14	2.298.541	2187381,5	111.160	111159,5		
2014	15	2.441.950	2242225	199.725	199725		
2015	16	2.513.318	2370245,5	143.073	143072,5		
2016	17	2.622.431	2477634	144.797	144797		
2017	18	2.626.117	2567874,5	58.243	58242,5		
2018	9	2.694.420	2624274	70.146	70146		
2019	20	2.730.084	2660268,5	69.816	69815,5		
2020	21	2.553.574	2712252	-158.678	158678		
2021	22	2.657.533	2641829	15.704	15704		

Πίνακας 10: Κινούμενος μέσος όρος 2 περιόδων της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζεται η πρόβλεψη της ζήτησης του diesel στην Ελλάδα με την μέθοδο του κινούμενου μέσου όρου των δυο (2) προηγούμενων περιόδων που δίνει την βέλτιστη λύση καθώς παράγει Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος **RMSE = 205.782,83** μετρικούς τόνους, Μέση απόλυτη Απόκλιση **MAD = 165.940,95** μετρικούς τόνους και Μέση Εκατοστιαία Απόλυτη Απόκλιση **MAPE = 6.57%**. Το Διάγραμμα 10 παρουσιάζει τις τιμές της πρόβλεψης και της σύγκρισης με τις πραγματικές τιμές της ζήτησης.



Διάγραμμα 10: Κινούμενος μέσος όρος 2 περιόδων της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα

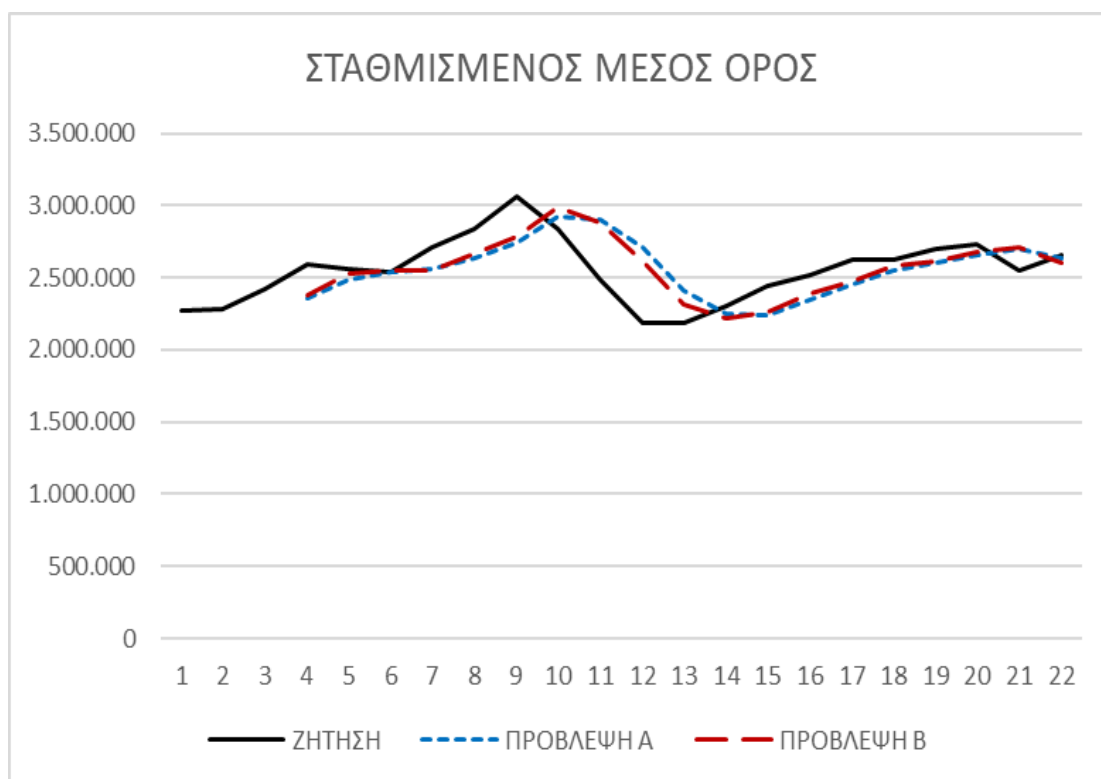
5.4.2. Σταθμισμένος μέσος όρος

Στον Πίνακα 11 παρουσιάζεται η πρόβλεψη της ζήτησης του diesel με τη μέθοδο του σταθμισμένου μέσου όρου τριών (3) περιόδων. Στην πρόβλεψη Α χρησιμοποιούνται οι συντελεστές βαρύτητας $w_1=0,5$ (ένα έτος πίσω), $w_2=0,3$ (δύο έτη πίσω) και $w_3=0,2$ (τρία έτη πίσω). Αναλόγως στην πρόβλεψη Β χρησιμοποιούνται οι συντελεστές βαρύτητας με τιμές $w_1=0,7$ (ένα έτος πίσω), $w_2=0,2$ (δύο έτη πίσω) και $w_3=0,1$ (τρία έτη πίσω) αντίστοιχα. Από τη πρόβλεψη Α προέκυψε Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος **RMSE = 215.302** μετρικούς τόνους, η Μέση Απόλυτη Απόκλιση **MAD = 171.542,64** μετρικούς τόνους και Μέση Εκατοστιαία Απόλυτη Απόκλιση **MAPE = 6,79%**. Από την πρόβλεψη Β προέκυψε Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος **RMSE = 188.500** μετρικούς τόνους, Μέση Απόλυτη Απόκλιση **MAD = 152.807,1** μετρικοί τόνοι και Μέση Εκατοστιαία Απόλυτη Απόκλιση **MAPE = 6,01%**. Προκύπτει λοιπόν ότι η πρόβλεψη Β είναι καλύτερη, καθώς παράγει μικρότερο σφάλμα.

		$w_3 = 0,2$	$F_t = w_1 D_{t-1} + w_2 D_{t-2} + w_3 D_{t-3}$			$\sum_{i=1}^3 w_i = 1$	$w_3 = 0,1$			
		$w_2 = 0,3$					$w_2 = 0,2$			
		$w_1 = 0,5$					$w_1 = 0,7$			
ΕΤΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ Α	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ		D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ Β	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ
2000	1	2.266.920					2.266.920			
2001	2	2.287.483					2.287.483			
2002	3	2.425.330					2.425.330			
2003	4	2.593.668	2352293,9	241.374	241374,1		2.593.668	2381919,6	211.748	211748,4
2004	5	2.561.190	2481929,6	79.260	79260,4		2.561.190	2529381,9	31.808	31808,1
2005	6	2.537.546	2543761,4	-6.215	6215,4		2.537.546	2554099,6	-16.554	16553,6
2006	7	2.714.656	2555863,6	158.792	158792,4		2.714.656	2547887	166.769	166769
2007	8	2.838.156	2630829,8	207.326	207326,2		2.838.156	2663887,4	174.269	174268,6
2008	9	3.065.418	2740984	324.434	324434		3.065.418	2783395	282.023	282023
2009	10	2.838.406	2927087	-88.681	88681		2.838.406	2984889,4	-146.483	146483,4
2010	11	2.488.048	2906459,6	-418.412	418411,6		2.488.048	2883783,4	-395.735	395735,4
2011	12	2.188.854	2708629,4	-519.775	519775,4		2.188.854	2615856,6	-427.003	427002,6
2012	13	2.185.909	2408522,6	-222.614	222613,6		2.185.909	2313648	-127.739	127739
2013	14	2.298.541	2247220,3	51.321	51320,7		2.298.541	2216711,9	81.829	81829,1
2014	15	2.441.950	2242814	199.136	199136		2.441.950	2265045,9	176.904	176904,1
2015	16	2.513.318	2347719,1	165.599	165598,9		2.513.318	2387664,1	125.654	125653,9
2016	17	2.622.431	2448952,2	173.479	173478,8		2.622.431	2477566,7	144.864	144864,3
2017	18	2.626.117	2553600,9	72.516	72516,1		2.626.117	2582560,3	43.557	43556,7
2018	9	2.694.420	2602451,4	91.969	91968,6		2.694.420	2614099,9	80.320	80320,1
2019	20	2.730.084	2659531,3	70.553	70552,7		2.730.084	2673560,5	56.524	56523,5
2020	21	2.553.574	2698591,4	-145.017	145017,4		2.553.574	2712554,5	-158.981	158980,5
2021	22	2.657.533	2634696,2	22.837	22836,8		2.657.533	2602960,6	54.572	54572,4
			RMSE	215.302				RMSE	188.500	
			MAD	171542,637				MAD	152807,1	
			MAPE	6,79707792				MAPE	6,014591	

Πίνακας 11: Σταθμισμένος μέσος όρος της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα

Στο Διάγραμμα 11 παρουσιάζονται οι τιμές των προβλέψεων με τη μέθοδο του σταθμισμένου μέσου όρου, τόσο από την πρόβλεψη Α όσο και από την πρόβλεψη Β, σε σύγκριση με τις τιμές της πραγματικής ζήτησης.



Διάγραμμα 11: Σταθμισμένος μέσος όρος της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα

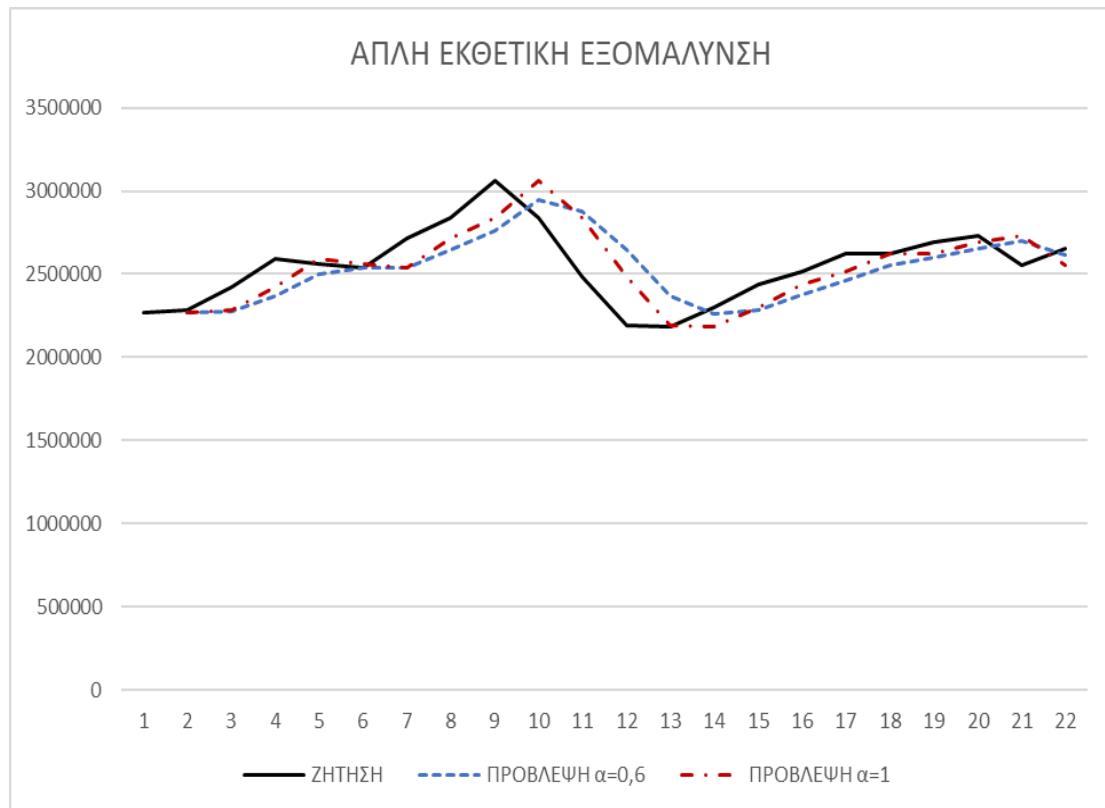
5.4.3. Απλή Εκθετική εξομάλυνση

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζεται η πρόβλεψη της ζήτησης με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης. Αρχικά με συντελεστή εξομάλυνσης $\alpha = 0,6$ παρατηρούνται Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος **RMSE = 190.312,15** μετρικούς τόνους, Μέση Απόλυτη Απόκλιση **MAD = 152.060,25** μετρικούς τόνους και Μέση Εκατοστιαία Απόλυτη Απόκλιση **MAPE = 6%**. Εν συνεχεία, με τη χρήση του MS Excel προέκυψε τιμή για τον συντελεστή εξομάλυνσης $\alpha = 1$ η οποία δίνει Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος **RMSE = 155.780,72** μετρικούς τόνους, Μέση Απόλυτη Απόκλιση **MAD = 124.518,80** μετρικούς τόνους και Μέση Εκατοστιαία Απόκλιση **MAPE = 4,86%**.

		α= 0,6		$F_{t+1} = aD_t + (1-a)F_t$			α= 1				
ΕΤΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ	ΕΤΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	D_t	ΠΡΟΒΛΕΨΗ	ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΟ
2000	1	2.266.920				2000	1	2.266.920			
2001	2	2.287.483	2.266.920	20.563	20563	2001	2	2.287.483	2.266.920	20.563	20563
2002	3	2.425.330	2279257,8	146.072	146072,2	2002	3	2.425.330	2287483	137.847	137847
2003	4	2.593.668	2366901,12	226.767	226766,88	2003	4	2.593.668	2425330	168.338	168338
2004	5	2.561.190	2502961,248	58.229	58228,752	2004	5	2.561.190	2593668	-32.478	32478
2005	6	2.537.546	2537898,499	-352	352,4992	2005	6	2.537.546	2561190	-23.644	23644
2006	7	2.714.656	2537687	176.969	176969	2006	7	2.714.656	2537546	177.110	177110
2007	8	2.838.156	2643868,4	194.288	194287,6	2007	8	2.838.156	2714656	123.500	123500
2008	9	3.065.418	2760440,96	304.977	304977,04	2008	9	3.065.418	2838156	227.262	227262
2009	10	2.838.406	2943427,184	-105.021	105021,184	2009	10	2.838.406	3065418	-227.012	227012
2010	11	2.488.048	2880414,474	-392.366	392366,474	2010	11	2.488.048	2838406	-350.358	350358
2011	12	2.188.854	2644994,589	-456.141	456140,589	2011	12	2.188.854	2488048	-299.194	299194
2012	13	2.185.909	2371310,236	-185.401	185401,236	2012	13	2.185.909	2188854	-2.945	2945
2013	14	2.298.541	2260069,494	38.472	38471,5057	2013	14	2.298.541	2185909	112.632	112632
2014	15	2.441.950	2283152,398	158.798	158797,602	2014	15	2.441.950	2298541	143.409	143409
2015	16	2.513.318	2378430,959	134.887	134887,041	2015	16	2.513.318	2441950	71.368	71368
2016	17	2.622.431	2459363,184	163.068	163067,816	2016	17	2.622.431	2513318	109.113	109113
2017	18	2.626.117	2557203,873	68.913	68913,1265	2017	18	2.626.117	2622431	3.686	3686
2018	9	2.694.420	2598551,749	95.868	95868,2506	2018	9	2.694.420	2626117	68.303	68303
2019	20	2.730.084	2656072,7	74.011	74011,3002	2019	20	2.730.084	2694420	35.664	35664
2020	21	2.553.574	2700479,48	-146.905	146905,48	2020	21	2.553.574	2730084	-176.510	176510
2021	22	2.657.533	2612336,192	45.197	45196,808	2021	22	2.657.533	2553574	103.959	103959
		RMSE	190312,1557					RMSE	155780,7525		
		MAD	152060,2564					MAD	124518,8095		
		MAPE	6,007865761					MAPE	4,858304123		

Πίνακας 12: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα

Στο Διάγραμμα 12 παρουσιάζονται οι τιμές πρόβλεψης με την απλή εκθετική εξομάλυνση και η σύγκριση τους με τις πραγματικές τιμές της ζήτησης.



Διάγραμμα 12: Απλή εκθετική εξομάλυνση της κατανάλωσης diesel στην Ελλάδα

Συγκεντρωτικά προκύπτει ότι η μέθοδος πρόβλεψης της απλής εκθετικής εξομάλυνσης με συντελεστή εξομάλυνσης $\alpha=1$ είναι η μέθοδος που παράγει το μικρότερο σφάλμα πρόβλεψης της ετήσιας ζήτησης diesel στην Ελλάδα, δηλαδή η πρόβλεψη της επόμενης περιόδου είναι η πραγματική ζήτηση της τελευταίας περιόδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατά το δυνατόν ακριβέστερη πρόβλεψη της ζήτησης των καυσίμων θα βοηθήσει τις εταιρείες που εμπλέκονται στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας να βελτιώσουν τη λειτουργία τους, με στόχο την καλύτερη εξυπηρέτηση των τελικών καταναλωτών. Η εύρεση των ειδικών χαρακτηριστικών της ζήτησης των καυσίμων θα βοηθήσει στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης, η οποία με τη σειρά της θα επιτρέψει την ελαχιστοποίηση του σφάλματος πρόβλεψης. Η ελαχιστοποίηση του σφάλματος θα βελτιώσει την εν γένει λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας και θα αυξήσει την αποδοτικότητα όλων των εμπλεκόμενων. Η μείωση των σφαλμάτων πρόβλεψης θα βελτιώσει το επίπεδο της εφοδιαστικής ασφάλειας, και κατά συνέπεια, το επίπεδο ικανοποίησης των τελικών καταναλωτών.

Επίσης θα οργανωθεί καλύτερα η παραγωγική διαδικασία, η οποία θα οδηγήσει στη μείωση των αποθεμάτων ασφαλείας, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους. Το κόστος αυτό ενσωματώνεται στην τιμή του προϊόντος, με αποτέλεσμα οποιαδήποτε μείωση αυτού να βελτιώσει την κερδοφορία των εμπλεκόμενων στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, θα βελτιώσει την ικανοποίηση των τελικών καταναλωτών, καθώς θα αποκτούν το τελικό προϊόν σε μικρότερη τιμή. Επειδή η πρόβλεψη της ζήτησης στηρίζεται κυρίως στη στατιστική ανάλυση ιστορικών δεδομένων, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να υπάρχει μια συνεχής ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκόμενων. Αυτό θα οδηγήσει στην καλύτερη γνώση της αγοράς και εν συνεχεία στην ανεύρεση των ειδικών χαρακτηριστικών της ζήτησης και στην επιλογή του κατάλληλου μοντέλου πρόβλεψης, το οποίο θα ελαχιστοποιήσει το σφάλμα πρόβλεψης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Λάιος, Λ. (2010) *Διοίκηση εφοδιασμού*. Αθήνα: Εκδόσεις HUMANTEC
- Μοσχούρης, Σ. (2021) Διδακτικό Υλικό στα πλαίσια του μαθήματος “ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ” στην ενότητα “Πρόβλεψη των απαιτήσεων κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας” του ΠΜΣ ΒΔΤ – Διοίκηση Logistics του Πανεπιστημίου Πειραιώς διαθέσιμο στο e-class [Accessed 10 November 2021]

Διαδικτυακές Ιστοσελίδες

- ΕΛΠΕ (2020) *Διύλιση, Εφοδιασμός και εμπορία πετρελαιοειδών*. Available at: <https://www.helpe.gr/the-group/what-we-do/refining-supply-trading-chemicals/refin> [Accessed: 22 April 2023]
- ΕΛΣΤΑΤ (2023) *Πετρελαιοειδή (κατανάλωση)*. Available at: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SDE15/> [Accessed: 5 April 2023]
- Energean (2023) *Energean Ποιοι Είμαστε*. Available at: <https://www.energean.com/el/home/%CF%80%CE%BF%CE%B9%CE%BF%CE%B9-%CE%B5%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B5/> [Accessed: 5 June 2023]
- ΜΟΗ (2023) *Διυλιστήριο Motor Oil Hellas*. Available at: <https://www.moh.gr/eteria/diylistiria/> [Accessed: 22 April 2023]
- ΡΑΕ (2023) *Ασφάλεια Εφοδιασμού Πετρελαιοειδών*. Available at: <https://www.rae.gr/asfaleia-efodiasmou-petr/> [Accessed: 25 May 2023]

Αγγλική Βιβλιογραφία

- Chopra, S., Meindl, P., (2013) *Supply chain management: strategy, planning, and operation*. United States: Pearson
- Downey, M. (2009) *Oil 101*. United States: Wooden Table Press

- Gary, J. H., Handwerk, G. G. και Kaiser, M. J. (2007) *Petroleum refining: technology and economics*. United States: CRC Press
- Heizer, J., Render, B. και Munson, C., (2016) *Operations management: sustainability and supply chain management*. United States: Pearson
- Krajewski, L., Malhotra, M. και Ritzman, L., (2015) *Operations management: processes and supply chains*. United States: Pearson
- Moon, M., (2013) *Demand and supply integration: the key to world-class demand forecasting*. New Jersey: FT Press
- Rodrigue, J. P., Comtois, C. και Slack, B. (2020) *The Geography of transport systems*. New York: Routledge
- Tsirimokos, C. (2011) ‘Price and Income elasticities of crude oil demand: the case of ten IEA countries’. (Master’s thesis). Swedish University of Agricultural Sciences. Available at: <https://stud.epsilon.slu.se/3594/1/Master%20Thesis.pdf> [Accessed: 11 June 2023]

Διαδικτυακές ιστοσελίδες

- Ali, U. (2019) ‘Top ten companies by oil production’, *Offshore Technology*, 14 May. Available at: <https://www.offshore-technology.com/features/companies-by-oil-production/> [Accessed: 20 May 2013]
- API (2023) *API’s Monthly Statistical Report*. Available at: <https://www.api.org/products-and-services/statistics/api-monthly-statistical-report> [Accessed: 16 June 2023]
- Bhattacharjee, S. (2022) ‘Top 12 Tanker Shipping Companies in the World’, *Marine Insight*, 18 April. Available at: <https://www.marineinsight.com/types-of-ships/top-12-tanker-shipping-companies-in-the-world/> [Accessed: 27 April 2023]
- BP (2023) *Baku-Tbilisi- Ceyhan pipeline*. Available at: https://www.bp.com/en_az/azerbaijan/home/who-we-are/operationsprojects/pipelines/btc.html [Accessed: 10 May 2023]
- EC (2019) *EU oil stocks*. Available at: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-security/eu-oil-stocks_en [Accessed: 5 May 2023]

- EIA (2023a) *Oil and petroleum products explained*. Available at: <https://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/> [Accessed: 19 April 2023]
- EIA (2023b) *Gasoline explained*. Available at: <https://www.eia.gov/energyexplained/gasoline/price-fluctuations.php> [Accessed: 10 June 2023]
- EIA (2022a) *Refining crude oil*. Available at: <https://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/refining-crude-oil-refinery-rankings.php> [Accessed: 2 June 2023]
- EIA (2022b) *U.S. Regular Gasoline Through Company Outlets Volume by Refiners*. Available at: <https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=A123400001&f=M> [Accessed: 2 June 2023]
- EIA (2013) *Gasoline supply chain overview*. Available at: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=9811> [Accessed: 20 March 2023]
- Eurostat (2022) *Emergency oil stock statistics*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Emergency_oil_stocks_statistics#Emergency_oil_stocks_statistics [Accessed: 5 May 2023]
- Hussein, M. (2021) ‘Mapping the world’s oil and gas pipelines’, *Al Jazeera*, 16 December. Available at: <https://www.aljazeera.com/news/2021/12/16/mapping-world-oil-gas-pipelines-interactive> [Accessed: 10 May 2023]
- IEA (2023) *Greece 2023 Energy policy review*. Available at: <https://www.iea.org/reports/greece-2023> [Accessed: 2 May 2023]
- IEA (2019) *Energy Policies of IEA countries: United States 2019 review*. Available at: <https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-united-states-2019-review> [Accessed: 2 May 2023]
- McGuire, L. (2023) ‘Exploring the 6 Largest Refineries in the World’, *Nesfircroft*, 19 April. Available at: <https://www.nesfircroft.com/resources/blog/exploring-the-6-largest-refineries-in-the-world/> [Accessed: 10 May 2023]

- Morris, M. (2014) ‘Gasoline prices tend to have little effect on demand for car travel’, *EIA*, 15 December. Available at: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=19191#> Accessed: 9 June 2023
- NACS (2023) *U.S. Convenience Store Count*. Available at: <https://www.convenience.org/Research/Convenience-Store-Fast-Facts-and-Stats/FactSheets/IndustryStoreCount> [Accessed: 10 June 2023]
- OPEC (2021) *OPEC statute*. Available at: https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/OPEC_Statute.pdf [Accessed: 20 March 2023]
- Pladson, K. (2022) ‘Cutting OPEC+ oil production favors Russia’, *DW*, 10 June. Available at: <https://www.dw.com/en/cutting-opec-oil-production-favors-russia/a-63358454> [Accessed: 10 May 2023]
- Raghothamarao, V. (2019) ‘Counteracting the Supply Chain Bullwhip Effect’, *Journal of Petroleum Technology*, 15 March. Available at: <https://jpt.spe.org/counteracting-supply-chain-bullwhip-effect> [Accessed: 12 June 2023]
- Saul, J. (2020) ‘Crude oil held in sea storage hits new record at 160 million bbls: sources’, *Reuters*, 17 April. Available at: <https://www.reuters.com/article/us-global-oil-tankers-storage-idUSKBN21Z2A2> [Accessed: 11 June 2023]
- SPR (2019) *Strategic Petroleum Reserve*. Available at: <https://www.energy.gov/ceser/strategic-petroleum-reserve> [Accessed: 5 May 2023]
- WEF (2022) *Explainer: what is OPEC*. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2022/11/oil-opec-energy-price/> [Accessed: 15 March 2023]