



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας

**Ανάπτυξη Μοντέλου Πρόγνωσης για την Υποστήριξη της Διαδικασίας
Προμήθειας Ανταλλακτικών Σύγχρονων Ναυτιλιακών Επιχειρήσεων**

Διπλωματική Εργασία

ΤΟΥ

Νικόλαου Μ. Λαγκαδά

Επιβλέπων:

Σταύρος Πόνης

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2020

Νικόλαος Μ. Λαγκαδάς

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

© 2020 – All rights reserved

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, κ. Σταύρο Πόνη. Η βοήθεια και η εμπιστοσύνη του, μου έδωσαν τη δυνατότητα να αποκτήσω πολύτιμες γνώσεις, ενώ η καθοδήγησή του και οι εύστοχες συμβουλές του διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη διοίκηση και το προσωπικό της ναυτιλιακής επιχείρησης στην οποία πραγματοποιήθηκε η διπλωματική εργασία, καθώς μου έδωσαν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσω την εργασία μου σε πραγματικό επιχειρησιακό περιβάλλον. Ιδιαίτερως, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Κωνσταντίνο Πετρόχειλο για τις συμβουλές και τις οδηγίες του, όπως και στην κ. Φιόρη Άγγλου καθώς η βοήθεια και η καθοδήγησή της υπήρξαν καταλυτικοί παράγοντες για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Θα ήθελα κλείνοντας, να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους φίλους μου και πάνω απ' όλα στα μέλη της οικογένειάς μου για τη στήριξη, την εμπιστοσύνη και την αμέριστη συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Νικόλας Λαγκαδάς,
Ιούλιος 2020

Περίληψη

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των πιο σημαντικών ανταλλακτικών, τα οποία είναι συμβατά με έναν αριθμό πλοίων που ανήκουν στο στόλο που διαχειρίζεται συγκεκριμένη ναυτιλιακή εταιρία. Έπειτα, η πρόβλεψη των αναγκών για αυτά τα ανταλλακτικά για το σύνολο στόλου και η δημιουργία κατάλληλης στρατηγικής αναπλήρωσης, ώστε να αποτελέσει αυτή η διπλωματική εργασία, εργαλείο υποστήριξης των αγοραστικών αποφάσεων του τμήματος προμηθειών.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας γίνεται μια συνοπτική περιγραφή του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί ο τομέας της ναυτιλίας και του βασικού πλαισίου του προβλήματος που πραγματεύεται η εργασία. Έπειτα γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση των βασικών εννοιών της ανάλυσης δεδομένων και προσδιορισμός των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που θα χρησιμοποιηθούν για την επίλυση των επιμέρους προβλημάτων της εργασίας. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση περιλαμβάνει επίσης τις μεθόδους πρόγνωσης της ζήτησης που επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και στοιχεία για τη διαχείριση αποθεμάτων.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, προσδιορίζονται οι συγκεκριμένοι κωδικοί πάνω στους οποίους θα επικεντρωθεί η ανάλυση του κόστους και η πρόγνωση των αναγκαίων ποσοτήτων για την κάλυψη των αναγκών του στόλου. Χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι συσταδοποίησης (clustering) με βάση μια σειρά κριτηρίων που αφορούν στοιχεία της αναγκαιότητας των εξαρτημάτων, των συμβατών πλοίων, των χρόνων παράδοσης, και της ποσότητας της ζήτησης, προκειμένου να προσδιοριστούν τα πιο σημαντικά κοινά ανταλλακτικά.

Έπειτα, για τους κωδικούς που προσδιορίστηκαν, πραγματοποιείται πρόγνωση της ζήτησής τους για το επόμενο έτος. Η πρόγνωση γίνεται με στατιστική ανάλυση και ανάλυση χρονοσειρών για τα δεδομένα που έχουν προκύψει από τις αγορές των συγκεκριμένων ανταλλακτικών τα προηγούμενα έτη.

Στη συνέχεια, με βάση τα δεδομένα της πρόγνωσης ζήτησης, προσδιορίζεται η βέλτιστη στρατηγική αναπλήρωσης για τους εν λόγω κωδικούς, βασισμένη στην ελαχιστοποίηση της συνάρτησης κόστους. Οι διαφορετικές συνιστώσες κόστους της αντικειμενικής συνάρτησης περιλαμβάνουν το κόστος κτήσης, το διαχειριστικό κόστος, το μεταφορικό κόστος, τα εργατικά και το κόστος αποθέματος. Υπολογίζεται επίσης το βέλτιστο επίπεδο εξυπηρέτησης με την τήρηση συγκεκριμένου αποθέματος ασφαλείας για τον κάθε κωδικό. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα μοντέλο το οποίο προτείνει τις αγορές κατάλληλων ποσοτήτων συγκεκριμένων κοινών ανταλλακτικών, σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους προμηθειών.

Τέλος, παρουσιάζεται η σύνοψη του μοντέλου που δημιουργήθηκε και οι τομείς στους οποίους αυτό δύναται να εφαρμοστεί, οι οποίοι δεν περιορίζονται στον κλάδο της ναυτιλίας.

Summary

The main objective of this thesis is to determine the most important common spare parts (spare parts that are compatible with a number of vessels), that are used by the fleet of a ship management company. Then, to forecast the yearly demand of those specific parts, for the entirety of the fleet and to construct a replenishment strategy, in order to create a comprehensive decision support tool to optimize purchasing decisions.

The first part of the thesis briefly describes the shipping and maritime industry and the framework of the problem that the thesis seeks to resolve. Furthermore, it contains the theoretical research and the literature review of the data analytics concepts and machine learning algorithms as well as an in-depth analysis of the ones that will be used in the case study. Furthermore, the research contains the demand forecasting methods that were chosen and applied, as well as inventory management studies.

The second part of the thesis focuses on the detection of the most important common spares, upon which the cost analysis will be centered. In order to achieve that, clustering algorithms were used, based on criteria regarding the spot ratio of the parts, their lead times, the compatible vessels and the total ordered quantity throughout the years.

Afterwards, for the product codes determined as above, analyses are performed in order to determine the total needs of the fleet for the following year. The forecast utilizes statistical and time-series analysis, applied on the data that have occurred from orders throughout the years of the analysis.

Then, based on the forecasted quantity, the optimal replenishment strategy is determined, based on the minimization of the total cost function. The cost components of the objective function include the acquisition cost, the logistic/forwarding cost, the cost of the installation and the inventory cost. The result is a model that suggests the purchase of specific quantities of common spare parts, in specific times, in order to reduce the total purchasing cost for these items.

Lastly a synopsis of the created model is presented, along with the various industries in which it can be easily implemented, beyond the shipping industry.

Περιεχόμενα

1	Η Ελληνική ναυτιλία	10
1.1.	Η μελέτη περίπτωσης της διπλωματικής εργασίας.....	13
1.2.	Πρόταση αξίας της διπλωματικής εργασίας.....	15
2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	17
2.1	Ανάλυση δεδομένων	17
2.2	Μηχανική μάθηση	18
2.3	Συσταδοποίηση (Clustering)	20
2.4	Αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν.....	20
2.4.1	K-means.....	20
2.4.2	DBSCAN	23
2.4.3	Expectation Maximization Clustering (EM Clustering).....	26
2.5	Πρόγνωση ζήτησης.....	27
2.6	Μέθοδοι πρόγνωσης ζήτησης.....	27
2.6.1	Μέθοδοι χρονοσειρών ή προεκβολής	27
2.7	Πρόγνωση ζήτησης ανταλλακτικών.....	28
2.7.1	Μέθοδος Κινούμενου Μέσου Όρου (Moving Average).....	30
2.7.2	Μέθοδος εκθετικής εξομάλυνσης	31
2.7.3	Μέθοδος Croston's	33
2.8	Μέτρα Σφάλματος	34
2.8.1	Μέση απόλυτη απόκλιση ή Mean Absolute Deviation (MAD).....	35
2.8.2	Ρίζα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος ή Root Mean Squared Error (RMSE) .	35
2.8.3	Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα ή Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	35
2.9	Διαχείριση αποθεμάτων	35
2.10	Συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων.....	37
3	Εξόρυξη Δεδομένων	39
4	Αναγνώριση των πιο σημαντικών κοινών ανταλλακτικών	41
4.1	Αναγνώριση των κριτηρίων της ανάλυσης	41
4.2	Clustering (Συσταδοποίηση) των δεδομένων	42
4.2.1	K-means.....	42
4.2.2	DBSCAN	44
4.2.3	Expectation Maximization	46
4.3	Αναθεώρηση των βασικών μεταβλητών	47

4.4	Αλγόριθμος DBSCAN βάσει των νέων μεταβλητών.....	48
5	Πρόγνωση Ζήτησης	53
6	Στρατηγική Αναπλήρωσης	57
6.1	Απόθεμα ασφαλείας.....	57
6.2	Κόστος αποθέματος ασφαλείας.....	58
6.3	Κόστος έλλειψης αποθέματος (Stock-out cost)	59
6.4	Προσδιορισμός βέλτιστης ποσότητας αποθέματος ασφαλείας.....	61
6.5	Συνολικό κόστος στρατηγικής που μελετάται.....	64
6.6	Συνολικό κόστος παρούσας στρατηγικής	66
6.7	Αποτελέσματα	67
7	Σύνοψη μοντέλου και πεδίο εφαρμογής	69
8	Συμπεράσματα.....	71
9	Κατάλογος αναφορών	73

Εικόνες – Γραφήματα

Εικόνα 1-1: Πλοιοκτησία Ευρωπαϊκού στόλου, Πλοία > 1.000GT (Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, EU Transport in Figures, Statistical Pocketbook 2018)	12
Εικόνα 1-2 Ανάλυση τύπων πλοίων Ελληνικού στόλου, Πλοία >1.000 GT (Πηγή: IHS Markit, World Shipping Encyclopaedia, 2019).....	13
Εικόνα 2-1 Πυραμίδα ανάλυσης δεδομένων	18
Εικόνα 2-2 Διαδικασία μηχανικής μάθησης.....	19
Εικόνα 2-3 Ενδεικτική απεικόνιση του Clustering δεδομένων.....	20
Εικόνα 2-4 Στάδια υλοποίησης clustering με χρήση του αλγορίθμου k-means	22
Εικόνα 2-5 Clustering δεδομένων με χρήση του αλγορίθμου dbscan.....	24
Εικόνα 2-6 Διαφορές k-means & dbscan για το ίδιο σετ δεδομένων.....	25
Εικόνα 2-7 Στάδια υλοποίησης του αλγορίθμου Expectation Maximization.....	26
Εικόνα 3-1 Μέθοδος Κινούμενου Μέσου Όρου	31
Εικόνα 3-2 Μέθοδος Εκθετικής Εξομάλυνσης για διάφορες τιμές της παραμέτρου α	32
Εικόνα 5-1 Συσχέτιση μεταξύ των βασικών μεταβλητών του προβλήματος	41
Εικόνα 5-2 Εύρεση του βέλτιστου αριθμού κέντρων για τον αλγόριθμο k-means.....	43
Εικόνα 5-3 Γραφική απεικόνιση των clusters (k-means).....	44
Εικόνα 5-4 Εύρεση του κατάλληλου eps για τον αλγόριθμο dbscan	45
Εικόνα 5-5 Γραφική απεικόνιση των clusters (dbscan).....	46
Εικόνα 5-6 Γραφική απεικόνιση των clusters (Expectation Maximization)	47
Εικόνα 5-7 Επιλογή του κατάλληλου eps για τον αλγόριθμο dbscan.....	49
Εικόνα 5-8 Γραφική απεικόνιση των clusters (dbscan).....	50
Εικόνα 5-9 Γραφική απεικόνιση του cluster 0 του dbscan.....	50
Εικόνα 6-1Ετήσια ζήτηση ψεκαστήρα βαλβίδας έγχυσης καυσίμου	53
Εικόνα 6-2 Ετήσια ζήτηση/πλοίο ψεκαστήρα βαλβίδας έγχυσης καυσίμου	54
Εικόνα 7-1 Κόστη αποθέματος ασφαλείας Maker Reference 5 ανάλογα με τον Βαθμό Εξυπηρέτησης.....	62
Εικόνα 7-2 Ανάλυση κόστους εξεταζόμενης στρατηγικής (Maker Reference 5)	66
Εικόνα 7-3 Ανάλυση κόστους υπάρχουσας στρατηγικής (Maker Reference 5).....	67

Πίνακες

Πίνακας 1-1: Πλοιοκτησία παγκοσμίου στόλου, Πλοία >1000 GT (πηγή UNCTAD, 2018)	11
Πίνακας 1-2 Στοιχεία πλοίων που διαχειρίζεται η επιχείρηση που μελετάται.....	14
Πίνακας 1-3 Χωρητικότητα πλοίων ανά τύπο πλοίου που διαχειρίζεται η επιχείρηση που μελετάται.....	14
Πίνακας 1-4 Στατιστικά στοιχεία παγκόσμιου στόλου (Πηγή: UNCTAD 2018)	14
Πίνακας 3-1 Μεταβλητές μεθόδων Croston's, SBA & TSB	34
Πίνακας 3-2 Εξισώσεις υπολογισμού μεθόδων Croston's, SBA & TSB	34
Πίνακας 4-1 Επεξήγηση των πεδίων των διαθέσιμων δεδομένων	40
Πίνακας 5-1 Αποτελέσματα αλγορίθμου k-means	44
Πίνακας 5-2 Αποτελέσματα αλγορίθμου dbscan	45
Πίνακας 5-3 Αποτελέσματα αλγορίθμου EM	46

Πίνακας 5-4 Αποτελέσματα αλγορίθμου dbscan βάσει των νέων μεταβλητών.....	49
Πίνακας 5-5 Κοινά Ανταλλακτικά (common spares) μέσες τιμές.....	51
Πίνακας 5-6 Κοινά ανταλλακτικά.....	52
Πίνακας 6-1 Αποτελέσματα πρόγνωσης ζήτησης.....	56
Πίνακας 7-1 Στοιχεία ψεκαστήρα βαλβίδας έγχυσης καυσίμου (Maker Reference 5).....	61
Πίνακας 7-2 Κόστη αποθέματος ασφαλείας Maker Reference 5 ανάλογα με τον Βαθμό Εξυπηρέτησης.....	62
Πίνακας 7-3 Εύρεση του βέλτιστου αποθέματος ασφαλείας (Maker Reference 5).....	63
Πίνακας 7-4 Αποθέματα Ασφαλείας και Σημεία Αναπαραγγελίας των κοινών ανταλλακτικών	64
Πίνακας 7-5 Σύγκριση κόστους υπάρχουσας και προτεινόμενης στρατηγικής.....	68

1 Η Ελληνική ναυτιλία

Η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία έχει μεγάλη σημασία για την παγκόσμια οικονομική δραστηριότητα καθώς το 80% (κατά όγκο) του παγκόσμιου εμπορίου αγαθών μεταφέρεται δια θαλάσσης. Η ελληνική ναυτιλιακή βιομηχανία κατέχει εξέχουσα θέση στις παγκόσμιες θαλάσσιες μεταφορές. Ο ελληνικός ελεγχόμενος στόλος (δηλαδή πλοία των οποίων οι ιδιοκτήτες είναι Έλληνες πολίτες, ανεξάρτητα από τη σημαία του σκάφους) κατατάσσεται στην πρώτη θέση παγκοσμίως όσον αφορά τις διεθνείς ικανότητες εμπορικού στόλου, που αντιπροσωπεύουν το 17,3% της συνολικής μεταφορικής ικανότητας στον κόσμο. Ο τομέας της Ελληνικής ναυτιλίας αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία της ελληνικής οικονομίας και μαζί με τον τομέα του τουρισμού, αποτελούν τους δύο σημαντικότερους τομείς εξαγωγών της Ελλάδας. Αυτό το μεγάλο πλεονέκτημα έχει σημαντική συμβολή στην ελληνική οικονομία. Κατά την περίοδο 2000-2013, οι ετήσιες καθαρές εισπράξεις από θαλάσσιες μεταφορές αντιπροσώπευαν κατά μέσο όρο το 3,7% του ελληνικού ΑΕΠ, καλύπτοντας το 16,6% των ετήσιων εισαγωγών αγαθών. Σε σύγκριση, οι ετήσιες καθαρές εισπράξεις από την τουριστική βιομηχανία αντιπροσώπευαν κατά μέσο όρο το 4,2% του ελληνικού ΑΕΠ την ίδια περίοδο, καλύπτοντας το 18,9% των εισαγόμενων αγαθών. (Prandeka & Zarkos, 2014)

Η ναυτιλία ωθεί ένα σύνολο από συναφείς οικονομικές δραστηριότητες οι οποίες είναι σημαντικές για την ανάπτυξη της χώρας. Το σύνολο των δραστηριοτήτων συμβάλλει στην εισροή ξένου συναλλάγματος με καθαρά έσοδα που καλύπτουν σημαντικό ποσοστό του εμπορικού ελλείμματος της Ελλάδας. Η συνολική προστιθέμενη αξία των θαλάσσιων μεταφορών στην ελληνική οικονομία, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την άμεση συνεισφορά όσο και τον έμμεσο αντίκτυπο σε άλλους τομείς, όπως οι νομικές υπηρεσίες, τα ακίνητα, η εφοδιαστική, τα ασφαλιστικά και τα καύσιμα, εκτιμάται ότι υπερβαίνει το 7,0% (άμεση και έμμεση) του ΑΕΠ, παρέχοντας απασχόληση σε 192 χιλιάδες εργαζόμενους. (Prandeka & Zarkos, 2014)

Υπάρχουν πάνω από 50.000 εμπορικά πλοία (Διεθνές Ναυτιλιακό Επιμελητήριο, 2018), τα οποία εμπορεύονται διεθνώς και μεταφέρουν μεγάλη ποικιλία φορτίων. Η Ελλάδα εξακολουθεί να είναι η μεγαλύτερη ναυτιλιακή δύναμη παγκοσμίως όσον αφορά τη χωρητικότητα φορτίου (dwt), ακολουθούμενη από την Ιαπωνία, την Κίνα, τη Γερμανία και τη Σιγκαπούρη. (UNCTAD, 2018) Πρέπει να σημειωθεί ότι η συνολική χωρητικότητα φορτίου για τις χώρες αυτές αντιπροσωπεύει περίπου το 50% του παγκόσμιου DWT, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1-1: Πλοιοκτησία παγκοσμίου στόλου, Πλοία >1000 GT (πηγή UNCTAD, 2018)

Χώρα Ιδιοκτησίας	DWT (1000 τόνοι)
Ελλάδα	330.176
Ιαπωνία	223.615
Κίνα	183.094
Γερμανία	107.119
Σιγκαπούρη	103.583
Κίνα (Χονγκ Κονγκ)	97.806
Κορέα	77.277
Η.Π.Α.	68.932
Νορβηγία	59.380
Βερμούδες	54.252
Παγκοσμίως	1.910.012

Διευκρινίζονται εδώ οι δύο όροι που χρησιμοποιούνται για την ποσοτική αξιολόγηση ενός εμπορικού στόλου αλλά και ενός εμπορικού πλοίου μεμονωμένα.

- GT (Gross registered tonnage) Είναι ο συνολικός εσωτερικός όγκος όλων των μόνιμα σκεπαστών και κλειστών χώρων του πλοίου που βρίσκονται είτε κάτω από το ανώτατο κατάστρωμα είτε πάνω από αυτό, μετρούμενος σε κόρους. Στην ολική χωρητικότητα περιλαμβάνονται όλοι οι μονίμως κλειστοί χώροι που διατίθενται για φορτίο, εφόδια πλοίου και ενδιαίτηση πληρώματος - επιβατών. Έτσι προκύπτει η συνολική σε όγκο διάσταση του πλοίου η οποία είναι και η επίσημα καταχωρούμενη στα Μηολόγια για κάθε πλοίο εξ ου και η ονομασία "χωρητικότητα νηολογίου" (registered tonnage). Το GT ενός πλοίου προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$GT = K_1V$$

Όπου: V = ο συνολικός όγκος όλων των μόνιμα σκεπαστών και κλειστών χώρων του πλοίου μετρημένος σε κυβικά μέτρα (m^3), και

$$K_1 = 0,2 + 0,2 \log_{10} V$$

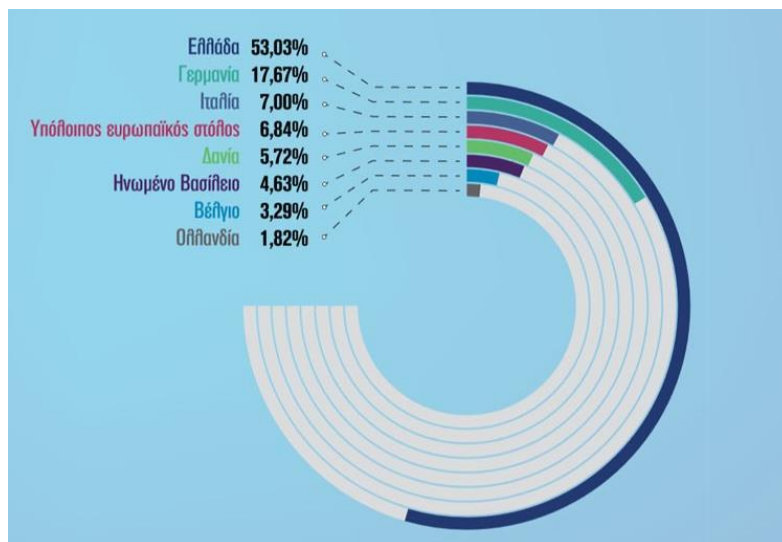
Προκύπτει δηλαδή ότι:

$$GT = V (0,2 + 0,2 \log_{10} V).$$

(International Convention on Tonnage Measurement of Ships, 23 June 1969)

- DWT (dead weight tonnage) Υπολογίζεται σε τόνους "νεκρού βάρους". Η χωρητικότητα αυτή είναι διάφορη των παραπάνω αφού υπολογίζεται σε βάρος, δηλαδή σε τόνους των 2.240 λιβρών (1.016 Kg). Η χωρητικότητα εκτοπίσματος προσδιορίζει το μέγιστο συνολικό βάρος που μπορεί να μεταφέρει ασφαλώς το πλοίο σε φορτίο, εφόδια κ.ά. εφόσον διατηρεί το βύθισμα (γραμμή φόρτωσης) που προβλέπεται από τους ισχύοντες κανονισμούς. Από το συνολικό αυτό βάρος αν αφαιρεθεί το βάρος καυσίμων, εφοδίων (ύδατος, τροφίμων, κλπ) και έρματος, προκύπτει το πραγματικό βάρος που μένει για το φορτίο δηλαδή η πραγματική σε φορτίο μεταφορική ικανότητα του πλοίου, που ονομάζεται χωρητικότητα φορτίου (*loading or carrying capacity*).

Ο ελληνόκτητος στόλος αντιπροσωπεύει το 53% του στόλου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) σε DWT. Ακολουθεί η Γερμανία με μεταφορική ικανότητα που προσεγγίζει το 18% της συνολικής Ευρωπαϊκής ικανότητας και η Ιταλία με ποσοστό 7%.



Εικόνα 1-1: Πλοιοκτησία Ευρωπαϊκού στόλου, Πλοία > 1.000GT (Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, EU Transport in Figures, Statistical Pocketbook 2018)

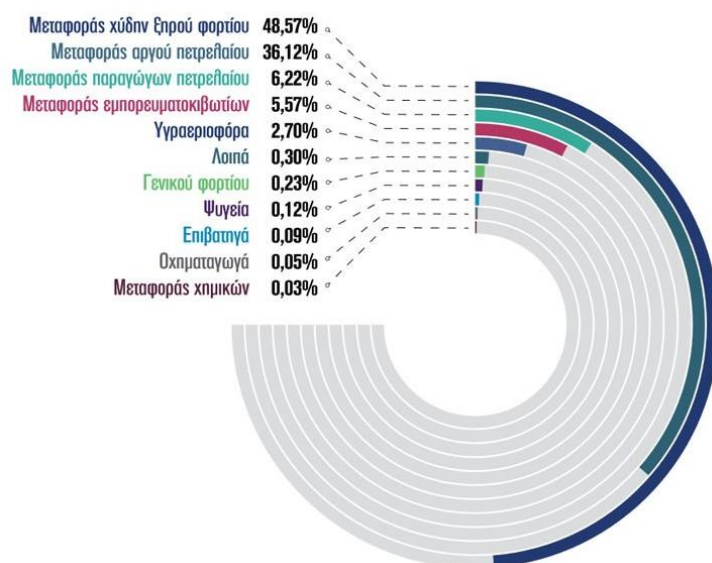
Ως εκ τούτου, ο στρατηγικός ρόλος της ελληνικής ναυτιλίας στην εξυπηρέτηση του παγκόσμιου εμπορίου και ιδιαίτερα στη διασφάλιση του εμπορίου της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένου του ενεργειακού εφοδιασμού της, εκδηλώνεται σαφώς. Πιο συγκεκριμένα, η ΕΕ εισάγει το 87% των αναγκών αργού πετρελαίου, το 70% των αναγκών φυσικού αερίου και το 40% των στερεών ορυκτών καυσίμων. Με τις αυξανόμενες ανησυχίες για την ενεργειακή ασφάλεια, ο ελληνικός στόλος διαδραματίζει καίριο ρόλο στην εξασφάλιση των διαφόρων εισαγωγών ενέργειας της ΕΕ από απομακρυσμένες περιοχές του κόσμου. Η στρατηγική σημασία της ελληνικής ναυτιλίας γίνεται επίσης προφανής, δεδομένου ότι η ΕΕ βασίζεται στη διεθνή ναυτιλία για πάνω από το 75,5% του εξωτερικού της εμπορίου. (Greek Shipping and the economy 2019)

Οι κύριοι τύποι πλοίων που απασχολούν τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης είναι:

- Δεξαμενόπλοια (Tankers), τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αργού πετρελαίου, προϊόντων πετρελαίου, χημικών ουσιών και αερίου.

- ο Φορτηγά χύδην ξηρού φορτίου (Dry bulk carriers), τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά διαφόρων ξηρών φορτίων.

Η ελληνική ναυτιλία δραστηριοποιείται πρωτίστως στον τομέα των bulk μεταφορών, η οποία αποτελεί υπόδειγμα τομέα με χαρακτηριστικά τέλειου ανταγωνισμού. Η ελληνική ναυτιλία, η οποία εξυπηρετείται κατά κύριο λόγο από μικρές / μεσαίες ιδιωτικές, συνήθως οικογενειακές επιχειρήσεις, εμφανίζει ευελιξία και προσαρμοστικότητα στις μεταβαλλόμενες οικονομικές συνθήκες και μπορεί να ανταποκριθεί άμεσα στις μεταβολές των εμπορικών προτύπων και των εμπορικών ροών αποτελεσματικά και αποδοτικά. (Greek Shipping and the economy 2019)



Εικόνα 1-2 Ανάλυση τύπων πλοίων Ελληνικού στόλου, Πλοία >1.000 GT (Πηγή: IHS Markit, World Shipping Encyclopedia, 2019)

1.1. Η μελέτη περίπτωσης της διπλωματικής εργασίας

Στον τομέα της ναυτιλίας, συνήθως, κάθε πλοίο ανήκει σε μια ξεχωριστή εταιρεία, η οποία ονομάζεται εταιρεία που κατέχει πλοίο (ship-owning company). Οι εταιρείες που εκμεταλλεύονται τα πλοία, οι οποίες δεν κατέχουν αναγκαστικά και το ίδιο το περιουσιακό στοιχείο, καλούνται εταιρείες διαχείρισης πλοίων (ship management companies). Η εργασία αυτή ολοκληρώθηκε μελετώντας την περίπτωση μιας εξ αυτών των εταιριών διαχείρισης πλοίων που δραστηριοποιείται σε παγκόσμιο επίπεδο. Η υπό εξέταση επιχείρηση δραστηριοποιείται στην αγορά άμεσων συναλλαγών, πράγμα που σημαίνει ότι δεν αναλαμβάνει μακροπρόθεσμες συμβάσεις, αλλά ναυλώνει τα πλοία που διαχειρίζεται για μεμονωμένα ταξίδια.

Η εταιρεία διαχειρίζεται 89 πλοία (δεξαμενόπλοια, φορτηγά πλοία μεταφοράς χύδην ξηρού φορτίου), τα περισσότερα από τα οποία είναι δεξαμενόπλοια, ενώ ο μέσος όρος ηλικίας των πλοίων της εταιρείας είναι 9,97 έτη. Η εταιρεία έχει 66 πετρελαιοφόρα με μέσο όρο ηλικίας 11,2 ετών και 23 φορτηγά πλοία με μέσο όρο ηλικίας 8,7 ετών.

Παρακάτω παρουσιάζονται στοιχεία για το μέγεθος και τον τύπο των πλοίων που διαχειρίζεται η υπό εξέταση εταιρία.

Πίνακας 1-2 Στοιχεία πλοίων που διαχειρίζεται η επιχείρηση που μελετάται

Μέγεθος πλοίου	Τύπος Πλοίου	Αριθμός πλοίων	Μέση ηλικία [έτη]
CAPESIZE	Dry	5	6.1
CONTAINER	Dry	3	6.7
KAMSARMAX	Dry	4	10.0
PANAMAX DRY	Dry	1	13.0
SUPRAMAX	Dry	4	11.9
ULTRAMAX	Dry	4	4.1
AFRAMAX	Tanker	33	10.7
MR1	Tanker	7	16.7
MR2	Tanker	10	9.7
SUEZMAX	Tanker	8	9.8
VLCC	Tanker	7	6.5

Εν συνεχεία παρουσιάζονται τα στοιχεία των πλοίων κατά μέσο όρο σε DWT ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο τους.

Πίνακας 1-3 Χωρητικότητα πλοίων ανά τύπο πλοίου που διαχειρίζεται η επιχείρηση που μελετάται

Μέγεθος πλοίου	Τύπος πλοίου	DWT [τόνοι]
CAPESIZE	Dry	180,200
CONTAINER	Dry	49,600
KAMSARMAX	Dry	82,200
PANAMAX DRY	Dry	75,600
SUPRAMAX	Dry	56,200
ULTRAMAX	Dry	62,700
AFRAMAX	Tanker	110,900
MR1	Tanker	39,700
MR2	Tanker	49,100
SUEZMAX	Tanker	161,100
VLCC	Tanker	311,900

Το 2018 η μέση ηλικία των πετρελαιοφόρων πλοίων ανά τον κόσμο ήταν 29,2 έτη, ενώ αυτή των φορτηγών πλοίων μεταφοράς χύδην ξηρού φορτίου ήταν 42,5 έτη. Παρουσιάζονται τα στοιχεία για τον παγκόσμιο στόλο στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1-4 Στατιστικά στοιχεία παγκόσμιου στόλου (Πηγή: UNCTAD 2018)

		Έτη				
		0-4	5-9	10-14	15-19	20+
Oil tankers	Ποσοστό των συνολικών πλοίων	14.97	21.89	17.04	8.46	37.64
	Ποσοστό του συνολικού DWT	21.7	33.86	24.6	14.3	5.55
	Μέσο μέγεθος πλοίου (DWT)	78543	84016	78643	93525	8303
Dry Bulk Carriers	Ποσοστό των συνολικών πλοίων	27.83	41.32	12.9	8.72	9.24
	Ποσοστό του συνολικού DWT	29.99	43.04	12.93	7.22	6.82
	Μέσο μέγεθος πλοίου (DWT)	79281	76618	73750	60907	54304

Η τεχνική κατάσταση ενός πλοίου συνδέεται άμεσα με την απόδοσή του και την οικονομική του αποδοτικότητα, καθώς και με την ευημερία των ανδρών επί του πλοίου, αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι λειτουργικές δυνατότητες ενός πλοίου, η κατανάλωση καυσίμων και η τιμή μεταπώλησής του εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τεχνική κατάσταση στην οποία βρίσκεται. Συνεπώς, απαιτείται συνεχής συντήρηση και αποκατάσταση βλαβών προκειμένου να διασφαλίζεται ότι το πλοίο και ο εξοπλισμός του, τηρούν τους κανόνες ασφαλείας και λειτουργούν αποτελεσματικά ανά πάσα στιγμή. Η

συντήρηση ενός πλοίου μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες. Την μη προγραμματισμένη συντήρηση και την προγραμματισμένη. Η πρώτη κατηγορία αφορά τις ενέργειες που χρειάζεται να γίνουν άμεσα για την αποκατάσταση βλαβών όταν αυτές προκύψουν. Η δεύτερη κατηγορία, περιλαμβάνει τις γενικές επισκευές και τις διαδικασίες ξηρής αποβάθρας (Dry Dock). Οι γενικές επισκευές πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα για συγκεκριμένο τύπο μηχανημάτων επί του πλοίου, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού ή κατά τη στάση σε κάποιο λιμένα. Η διαδικασία ξηρής αποβάθρας είναι μια εκτεταμένη διαδικασία συντήρησης που λαμβάνει χώρα σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (σπανιότερα από τις γενικές επισκευές) και απαιτεί το σκάφος να παραμείνει σε κάποιο ναυπηγείο για κάποιο χρονικό διάστημα.

1.2. Πρόταση αξίας της διπλωματικής εργασίας

Όπως προαναφέρθηκε η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε σε μία ναυτιλιακή εταιρία η οποία διαθέτει έναν στόλο περίπου 90 εμπορικών πλοίων και δραστηριοποιείται παγκοσμίως. Οι ανάγκες της επιχείρησης σε ανταλλακτικά προσεγγίζουν τις δεκάδες χιλιάδες ετησίως, για την αποτελεσματική λειτουργία του στόλου και συνεπώς των επιχειρησιακών διαδικασιών. Όπως μπορεί να γίνει κατανοητό, το κόστος για την προμήθεια αυτών των ανταλλακτικών εξαρτημάτων αποτελεί ένα από τα βασικά κόστη τα οποία αντιμετωπίζει η επιχείρηση. Έτσι η ορθή διαχείριση της ζήτησης των ανταλλακτικών μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για τη μείωση του κόστους λειτουργίας της εν λόγω επιχείρησης, αλλά και οποιασδήποτε άλλης ναυτιλιακής εταιρίας.

Υπάρχουν ορισμένα ανταλλακτικά τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό αναγκαιότητας για τη λειτουργία ενός πλοίου. Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση βλάβης, η προμήθειά τους πρέπει να γίνει όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Η ταχύτητα προμήθειας είναι συνήθως αντιστρόφως ανάλογη του συνολικού κόστους της προμήθειας. Αν η προμήθεια ενός εξαρτήματος πρέπει να γίνει γρήγορα, αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερα κόστη αγοράς, διαχείρισης και αποστολής με συνέπεια το συνολικό κόστος της προμήθειας να αυξάνεται σημαντικά. Το κόστος αυτό μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερο σε περιπτώσεις όπου το αναγκαίο εξάρτημα δεν υπάρχει διαθέσιμο στους προμηθευτές και επομένως ο χρόνος παράδοσης αυξάνει αναπόφευκτα, θέτοντας σε κίνδυνο τη λειτουργία του πλοίου αλλά και την ασφάλεια του πληρώματος.

Διατηρώντας απόθεμα ανταλλακτικών, μία ναυτιλιακή επιχείρηση θα μπορούσε να εξαλείψει την αύξηση αυτή του κόστους για τις αναγκαίες παραγγελίες. Ωστόσο η τήρηση αποθέματος συνεπάγεται άλλα κόστη αυτό της αποθήκευσης και του δεσμευμένου κεφαλαίου. Τα κόστη αυτά μπορεί να ξεπεράσουν το παραπάνω κόστος της άμεσης προμήθειας στην περίπτωση που κάποιο εξάρτημα παραμείνει σε απόθεμα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Μία επιχείρηση η οποία διαχειρίζεται δεκάδες πλοία, μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτό το γεγονός για τη δημιουργία αποθέματος κοινών ανταλλακτικών, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα κίνησης των ανταλλακτικών και δημιουργώντας συνολική ζήτηση, επαρκή για να υποστηρίξει τη δημιουργία αποθέματος και την ελάττωση του συνολικού κόστους προμηθειών. Ορισμένα ανταλλακτικά είναι συμβατά με πολλά από τα πλοία του στόλου. Έτσι συγκεντρώνοντας τη ζήτηση που έχει δημιουργηθεί από τα διάφορα πλοία για τον εκάστοτε κωδικό ανταλλακτικού, δημιουργείται η απαιτούμενη ταχύτητα προκειμένου να καταστεί συμφέρουσα η τήρηση αποθέματος.

Συνοψίζοντας, η αξία της διπλωματικής εργασίας έγκειται στον προσδιορισμό αυτών των κοινών ανταλλακτικών, η τήρηση των οποίων σε απόθεμα, θα αποφέρει μείωση του κόστους προμηθειών της επιχείρησης αλλά και στον προσδιορισμό της στρατηγικής σύμφωνα με την οποία θα πραγματοποιηθεί αυτή η μείωση.

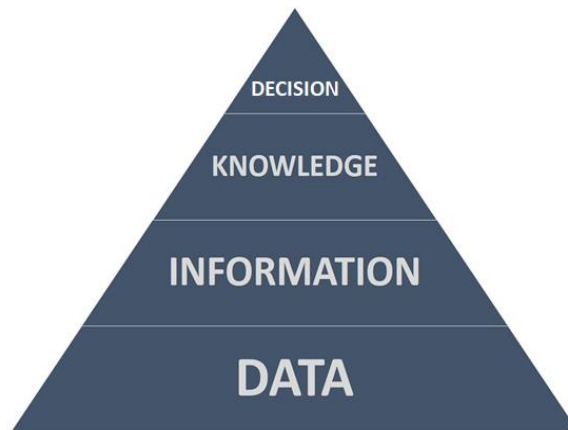
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Ανάλυση δεδομένων

Η διπλωματική εργασία πραγματεύεται ζητήματα ανάλυσης δεδομένων (data analytics). Τα data analytics είναι η ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων προκειμένου να εξαχθεί ένα χρήσιμο συμπέρασμα από αυτές τις πληροφορίες. Οι διάφορες τεχνικές της ανάλυσης δεδομένων μπορούν να αποκαλύψουν τάσεις και στοιχεία τα οποία ειδάλλως θα χάνονταν στον εκτεταμένο όγκο της πληροφορίας. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να βελτιώσουν τις διαδικασίες μιας επιχείρησης αλλά και τη συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματός της.

Η ταχεία ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, του διαδικτύου και των εργαλείων μηχανοργάνωσης έχει οδηγήσει στην εκρηκτική ανάπτυξη του όγκου των διαθέσιμων δεδομένων. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι επιχειρήσεις και κάθε είδους επιστημονική και κοινωνική πρακτική παράγει, καθημερινά, τεράστιες ποσότητες δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, έχει γίνει επιτακτική η ανάγκη για αναγνώριση και ανάκτηση του μέρους των δεδομένων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων. Έτσι, η συλλογή δεδομένων οδηγεί σε παραγωγή γνώσης.

Ο όρος 'Εξόρυξη Γνώσης από Δεδομένα' (Knowledge mining from Data) αναφέρεται στο σύνολο των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την ανακάλυψη προτύπων, μέσα στα δεδομένα, που έχουν ενδιαφέρον και μπορούν να προσφέρουν χρήσιμη γνώση. Η χειροκίνητη εξαγωγή προτύπων από δεδομένα συμβαίνει εδώ και αιώνες. Οι πρώτες μέθοδοι για τον προσδιορισμό προτύπων ήταν αυτές της θεωρίας Bayes και της ανάλυσης της παλινδρόμησης. Ο πολλαπλασιασμός, η ευρεία διαθεσιμότητα και η εξέλιξη της τεχνολογίας υπολογιστών έχουν αυξήσει τον όγκο των συγκεντρωμένων δεδομένων και την ζήτηση για αποδοτικούς και αποτελεσματικούς χειρισμούς. Καθώς οι συλλογές δεδομένων αυξήθηκαν τόσο σε όγκο όσο και σε πολυπλοκότητα, η χειρωνακτική ανάλυση των δεδομένων έχει αντικατασταθεί από την αυτόματη επεξεργασία δεδομένων. Σε αυτό συνέβαλαν άλλες ανακαλύψεις της επιστήμης των υπολογιστών, όπως τα Νευρωνικά Δίκτυα, η Συσταδοποίηση, οι Γενετικοί Αλγόριθμοι(1950), τα Δέντρα Απόφασης (1960) και η Μηχανή Υποστήριξης Διανυσμάτων(1990). Η Εξόρυξη Γνώσης από Δεδομένα είναι η διαδικασία εφαρμογής αυτών των μεθόδων στα δεδομένα με σκοπό την αποκάλυψη άγνωστων προτύπων σε μεγάλα σύνολα δεδομένων. (Τσολάκης, 2018) Έτσι από τον μεγάλο όγκο των δεδομένων μπορούμε να εξάγουμε χρήσιμες πληροφορίες και στη συνέχεια να λάβουμε γνώση ώστε να υποστηρίξουμε τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων.



Εικόνα 2-1 Πυραμίδα ανάλυσης δεδομένων

2.2 Μηχανική μάθηση

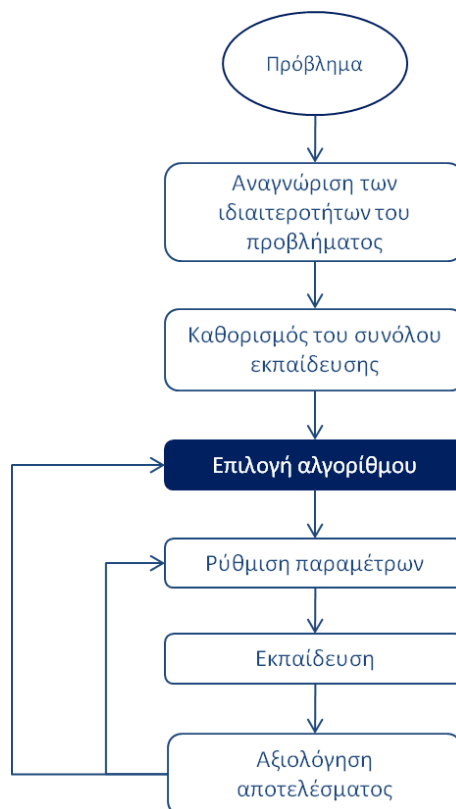
Προκειμένου να υποστηριχτεί η ανάλυση του όγκου δεδομένων (dataset) που δημιουργήθηκε, χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης (machine learning). Ο όρος 'Μηχανική Μάθηση' αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο, μέσω προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών, αναγνωρίζονται περίπλοκα πρότυπα μέσα στα δεδομένα και να λαμβάνονται έξυπνες αποφάσεις. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγάλο όγκο δεδομένων και να αναγνωρίσουν συγκεκριμένα μοτίβα. Μπορούν επίσης να «διδασθούν» ώστε να κάνουν προβλέψεις βασισμένες στα δεδομένα που δέχονται ως είσοδο, χωρίς συγκεκριμένες οδηγίες προγραμματισμού. Το πεδίο περιλαμβάνει διάφορες εκδοχές, σύμφωνα με (Han, Kamber, & Pei, 2012):

- Η καθοδηγούμενη μάθηση (Supervised learning). Στην περίπτωση αυτή, μηχανικά αναγνωρίσιμα πρότυπα χρησιμοποιούνται ως παραδείγματα εκπαίδευσης. Το μαθησιακό μοντέλο χρησιμοποιεί τα επισημασμένα αυτά πρότυπα και μαθαίνει να κατηγοριοποιεί τα δεδομένα που δέχεται στην είσοδο. Οι αλγόριθμοι καθοδηγούμενης μάθησης αναλύουν τα δεδομένα εκπαίδευσης και παράγουν ένα μοντέλο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να χαρακτηρίσει νέα παραδείγματα. Το βέλτιστο σενάριο επιτρέπει στον αλγόριθμο να καθορίσει σωστά την ετικέτα της κατηγορίας για άγνωστα μέχρι τώρα παραδείγματα. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται ο αλγόριθμος μάθησης να γενικεύει από τα δεδομένα εκπαίδευσης σε αθέατες καταστάσεις με ένα "λογικό" τρόπο. Παραδείγματα τέτοιων αλγορίθμων είναι: τα Νευρωνικά Δίκτυα, η Λογιστική Παλινδρόμηση, η Γραμμική Παλινδρόμηση, τα Δέντρα Αποφάσεων κ.α.
- Η μη καθοδηγούμενη μάθηση (Unsupervised learning). Στην εν λόγω διαδικασία μάθησης, τα δεδομένα εισόδου δεν φέρουν κάποιου είδους αναγνωριστικό. Έτσι, το μοντέλο δεν εποπτεύεται και ανακαλύπτει μόνο του πρότυπα (ομάδες) μέσα στα δεδομένα, χωρίς αυτές (οι ομάδες) να έχουν κάποια σημασιολογική σημασία. Καθώς τα δεδομένα προς διερεύνηση από τον αλγόριθμο μάθησης δεν είναι κατηγοριοποιημένα, δεν υπάρχει ξεκάθαρος τρόπος να αξιολογηθεί η ακρίβειά του στις δομές στις οποίες παράγει, ένα χαρακτηριστικό που διαχωρίζει τη μη καθοδηγούμενη μάθηση από την

καθοδηγούμενη. Παραδείγματα τέτοιων αλγορίθμων είναι: η Ομαδοποίηση, η Ανίχνευση Ανωμαλιών, τα Νευρωνικά Δίκτυα κ.α.

- Η ημι-καθοδηγούμενη μάθηση (Semi-supervised learning). Αφορά σε τεχνικές μάθησης που κάνουν χρήση τόσο επισημασμένων όσο και μη προτύπων. Συνήθως χρησιμοποιείται σε προβλήματα δύο κατηγοριών προκειμένου να τελειοποιηθούν τα όρια μεταξύ τους. Αν, για παράδειγμα, η μία κατηγορία αφορά σε 'θετικά δείγματα' και η άλλη σε 'αρνητικά δείγματα', μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα επισημασμένα πρότυπα (εποπτευόμενη μάθηση) για να οριστεί καλύτερα το όριο απόφασης για το αν ένα δεδομένο εισόδου ανήκει στη μία ή την άλλη κατηγορία.
- Η ενεργή μάθηση (Active learning) είναι ένα μαθησιακό μοντέλο, όπου οι χρήστες διαδραματίζουν ενεργό ρόλο στη διαδικασία. Ένα πρόγραμμα υπολογιστή αλληλεπιδρά με ένα δυναμικό περιβάλλον στο οποίο πρέπει να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος στόχος (όπως η οδήγηση ενός οχήματος), χωρίς κάποιος δάσκαλος να του λέει ρητά αν έχει φτάσει κοντά στο στόχο του. Σε άλλο παράδειγμα, ένας εμπειρογνώμονας μπορεί να επισημάνει ένα πρότυπο παράδειγμα, που μπορεί να προέρχεται από μια διαδικασία καθοδηγούμενης ή μη μάθησης. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η ποιότητα του μαθησιακού μοντέλου.

Η διαδικασία της μηχανικής μάθησης μπορεί να καταγραφεί με το παρακάτω διάγραμμα ροής:



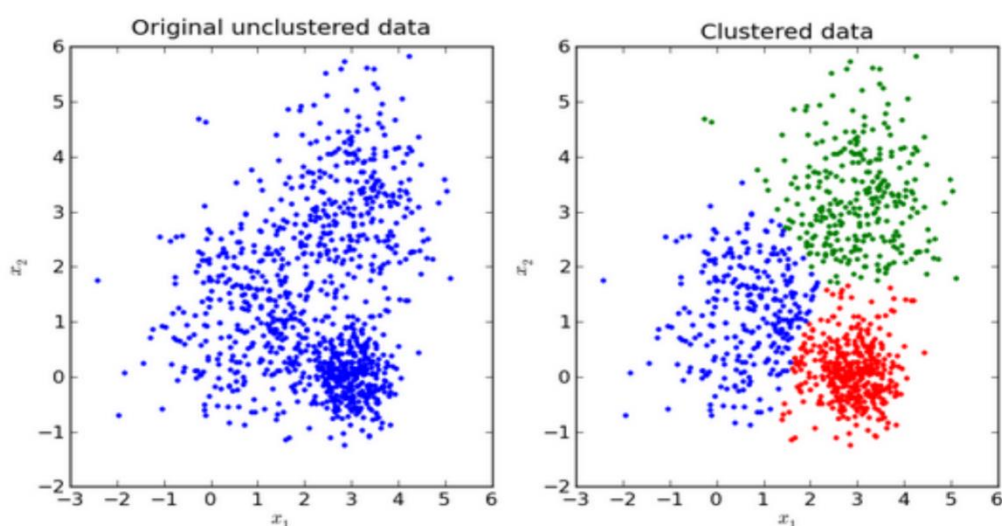
Εικόνα 2-2 Διαδικασία μηχανικής μάθησης

Για την ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων, κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές συσταδοποίησης (clustering). Αυτές εμπίπτουν στη δεύτερη κατηγορία, αυτή της μη επιτηρούμενης μάθησης.

2.3 Συσταδοποίηση (Clustering)

Κατά το clustering δεδομένων, ένα σύνολο εισόδων χωρίζεται και ταξινομείται σε συγκεκριμένες ομάδες. Ο αριθμός και τα χαρακτηριστικά των ομάδων δεν είναι γνωστά από την αρχή, αλλά ανατίθεται στον εκάστοτε αλγόριθμο η δημιουργία των κλάσεων ή ομάδων ή συστάδων (clusters) και η κατηγοριοποίηση των παρατηρήσεων που εισήχθησαν σε μία από αυτές τις κλάσεις. Έτσι όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία και έχουν δημιουργηθεί οι ομάδες των δεδομένων, τα στοιχεία της κάθε ομάδας έχουν όμοια χαρακτηριστικά με τα υπόλοιπα στοιχεία της ομάδας, ενώ διαφέρουν από αυτά των υπολοίπων ομάδων. Έτσι τα στοιχεία κάθε cluster παρουσιάζουν υψηλή ομοιογένεια. Ο αριθμός των χαρακτηριστικών των δεδομένων αποτελεί και τη διάσταση του εκάστοτε προβλήματος clustering.

Ενδεικτικά παρουσιάζεται μία γραφική αναπαράσταση των clusters που έχουν δημιουργηθεί κατά το clustering ενός όγκου δεδομένων.



Εικόνα 2-3 Ενδεικτική απεικόνιση του Clustering δεδομένων

2.4 Αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν

Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι clustering στη διεθνή βιβλιογραφία με διαφορετικές παραμέτρους και διαφορετικά αποτελέσματα. Δεν υπάρχει ωστόσο βέλτιστος αλγόριθμος, αφού ο κάθε αλγόριθμος ψάχνει και ελαχιστοποιεί ένα συγκεκριμένο μαθηματικό κριτήριο. Έτσι η επιλογή της εκάστοτε μεθόδου επαφίεται στην κρίση του αναλυτή αλλά και στη μορφή των δεδομένων. Για αυτή τη διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι k-means, dbscan και Expectation Maximization clustering.

2.4.1 K-means

Ο αλγόριθμος k-means, αποτελεί μέθοδο clustering σε k clusters τα οποία περιέχουν στοιχεία με κοινά χαρακτηριστικά. Ο k-means ομαδοποιεί δεδομένα στο n -διάστατο ευκλείδειο χώρο, συνήθως με χρήση της Ευκλείδειας απόστασης. Ο αντιπρόσωπος κάθε

ομάδας ονομάζεται κεντροειδής (centroid) και υπολογίζεται συνήθως ως ο μέσος όρος των αντικειμένων κάθε ομάδας. Ο αλγόριθμος προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την απόσταση μεταξύ των παρατηρήσεων του ίδιου cluster. Η μέθοδος υλοποιείται σε δύο φάσεις (Nidheesh, Abdul Nazeer, & Ameer, 2017):

1η Φάση: ορίζονται, συνήθως τυχαία, κάποια αντικείμενα ως κεντροειδή. Στην συνέχεια ο αλγόριθμος υπολογίζει την απόσταση κάθε αντικειμένου από κάθε κεντροειδής (με χρήση της Ευκλείδειας απόστασης) και το αντιστοιχεί στην ομάδα του κεντροειδούς με το οποίο η απόσταση αυτή είναι η μικρότερη.

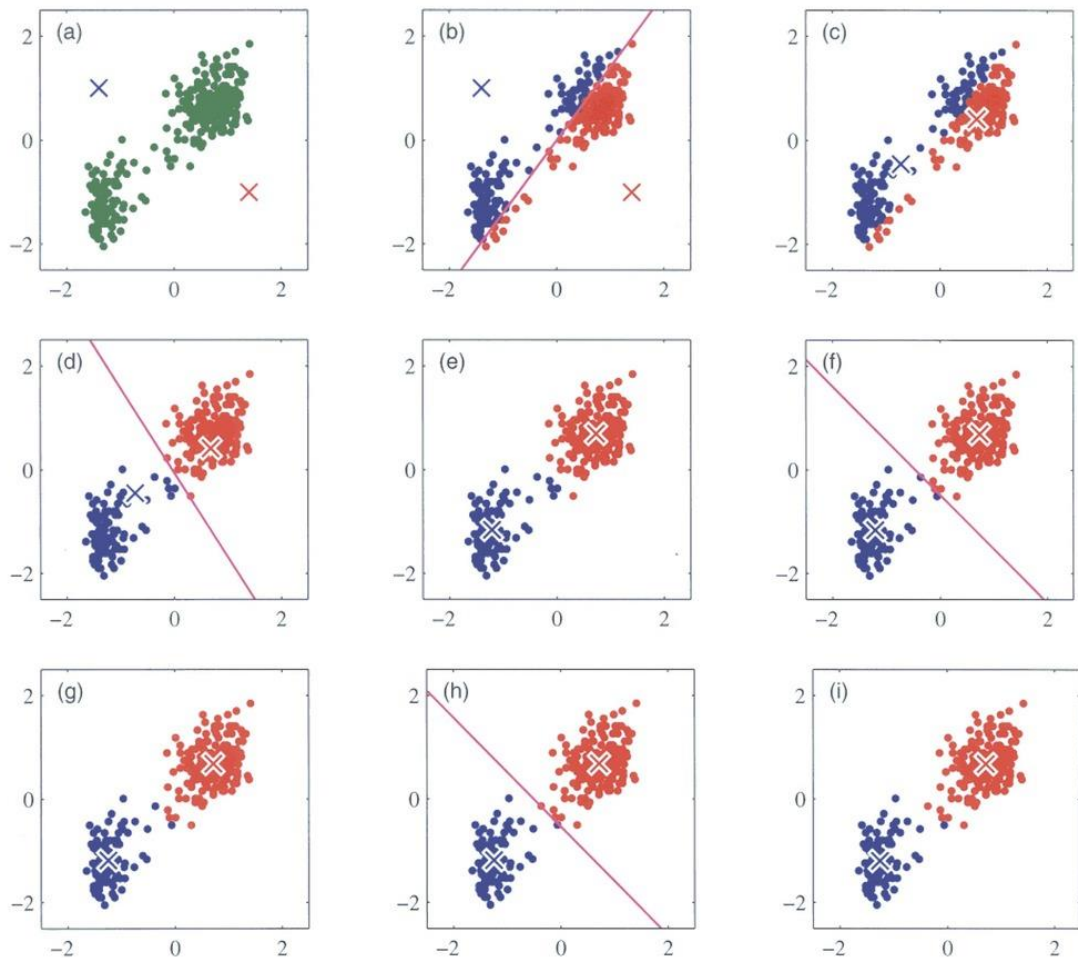
2η Φάση: επαναυπολογίζονται τα κεντροειδή και επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Τα νέα κεντροειδή υπολογίζονται ως μέσοι όροι των αντικειμένων κάθε ομάδας που έχει δημιουργηθεί από την 1η φάση.

Συνήθως, η διαδικασία ολοκληρώνεται μετά από κάποιο αριθμό επαναλήψεων, που θεωρείται ότι θα αποδώσει ικανοποιητικό clustering. Εναλλακτικά, μπορεί να οριστεί μια απόσταση- όριο, η οποία είναι η μέγιστη τιμή της απόστασης που επιτρέπεται στα κεντροειδή να μετακινηθούν. Έτσι, σε περίπτωση που τα νέα κεντροειδή απέχουν από τα προηγούμενα λιγότερο από την τιμή-κατώφλι, ο αλγόριθμος τερματίζεται. Επιπλέον, ένα σύνθητες κριτήριο τερματισμού που επιλέγεται είναι η παράμετρος RSS. Αυτή ισούται με το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων των διανυσμάτων-παρατηρήσεων από το κεντροειδής. Ονομάζεται άθροισμα τετραγώνων σφαλμάτων ή υπολειμματικό άθροισμα τετραγώνων (Residual Sum of Squares- RSS) και χαρακτηρίζει κάθε ομάδα. Δύναται έτσι, να τεθεί κάποιο ανώτατο όριο για την τιμή της RSS, πέραν του οποίου η διαδικασία συσταδοποίησης τερματίζεται.

Ο αλγόριθμος k-means αποτελεί μια ελκυστική λύση clustering, λόγω της ευκολίας στη χρήση του και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων του. Επιπλέον, έχει το σημαντικό πλεονέκτημα να μπορεί εύκολα να παραλληλοποιηθεί. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα διαιρούνται σε κομμάτια και το clustering για κάθε κομμάτι αναλαμβάνει διαφορετικό υπολογιστικό σύστημα. Στη συνέχεια πραγματοποιείται ενημέρωση των συστημάτων με τα νέα κεντροειδή σε κάθε επανάληψη. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εμφανίζει και σημαντικές αδυναμίες, όπως (Ακακιάδου, 2007):

- Ο αλγόριθμος συγκλίνει σε τοπικό βέλτιστο και όχι σε καθολικό βέλτιστο,
- Ο ορισμός των αρχικών κεντροειδών δεν είναι σαφώς καθορισμένος
- Τα αποτελέσματα εξαρτώνται και από το μέτρο απόστασης που χρησιμοποιείται,
- Αδυνατεί να αναγνωρίσει ανόμοιες, ως προς το σχήμα και το μέγεθος, ομάδες, κυρίως σε μεγάλους όγκους δεδομένων. Συνήθως, το πρόβλημα σχετίζεται με την ποικιλία στην πυκνότητα των στοιχείων.

Βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητα του k-means αποτελεί ο σωστός προσδιορισμός του πλήθους των κέντρων k και συνεπώς το πλήθος των ομάδων. Έτσι, μόνο αν το πλήθος των ομάδων εκτιμηθεί σωστά και συμπίπτει με το πραγματικό, ο αλγόριθμος δίνει σωστά αποτελέσματα (Zalík, 2008). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για ένα σετ δεδομένων σε διάφορα στάδια της υλοποίησής του με k=2 κέντρα.



Εικόνα 2-4 Στάδια υλοποίησης clustering με χρήση του αλγορίθμου k-means

Γίνεται σαφές ότι τα σημεία έναρξης του αλγορίθμου επηρεάζουν το αποτέλεσμα του clustering, καθώς ο k-means μπορεί να παγιδευτεί σε τοπικό βέλτιστο. Επιπλέον, η αρχικοποίηση επίσης επηρεάζει το συνολικό αριθμό των επαναλήψεων του αλγορίθμου και συνεπώς, την πολυπλοκότητα του προβλήματος υπό διερεύνηση.

- Η πρώτη μέθοδος αρχικοποίησης είναι η τυχαία μέθοδος (random method). Σύμφωνα με αυτή τα δεδομένα ανατίθενται τυχαία σε κάποιο cluster και στη συνέχεια υπολογίζονται τα κεντροειδή. (Pena, Lozano, & Larranaga, 1999)
- Η δεύτερη και πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι η Forgy method. Σύμφωνα με αυτήν επιλέγονται τυχαία k σημεία από τα δεδομένα του προβλήματος και ορίζονται ως τα αρχικά κεντροειδή. (Hamerly & Elkan, 2002)

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του k-means είναι ότι χρησιμοποιεί ευκλείδειες αποστάσεις για τον προσδιορισμό των clusters και σαν μέτρο διασποράς των παρατηρήσεων. Επίσης, χαρακτηριστικό του αλγορίθμου είναι ότι ο αριθμός των clusters που θα δημιουργηθούν, αποτελεί επιλογή η οποία προσδιορίζεται από το χρήστη πριν την έναρξη του αλγορίθμου. Συνεπώς ο αλγόριθμος επηρεάζεται από την αντίληψη του χρήστη

όσων αφορά στα δεδομένα του προβλήματος. Είναι προφανές ότι λανθασμένη επιλογή της παραμέτρου k των κέντρων θα αποδώσει και λανθασμένα αποτελέσματα.

Ένας επιπλέον περιορισμός του αλγορίθμου είναι ότι λόγω της φύσης του βασίζεται στην αναζήτηση σφαιρικών clusters που ίσως αποτύχουν να αποτυπώσουν κρυμμένες συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων ενός προβλήματος. (Zalik, 2008)

2.4.2 DBSCAN

Ο αλγόριθμος DBSCAN (Density-based spatial clustering of applications with noise) βασίζεται στη λογική ότι στις περιοχές που υπάρχουν ομάδες παρόμοιων δεδομένων, η πυκνότητα των σημείων είναι μεγαλύτερη από ότι στις περιοχές που υπάρχει θόρυβος. Έτσι ο αλγόριθμος επιχειρεί να δημιουργήσει clusters με βάση την πυκνότητα των παρατηρήσεων. (Ανάστος, 2019) Ταυτόχρονα αναγνωρίζει και τα σημεία που αποτελούν το θόρυβο τα οποία βρίσκονται σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα παρατηρήσεων. Η βασική ιδέα είναι ότι σε κάθε σημείο ενός cluster, η γειτονιά για μια συγκεκριμένη ακτίνα πρέπει να περιέχει έναν ελάχιστο αριθμό σημείων. Ο DBSCAN χρησιμοποιεί συνήθως ευκλείδειες αποστάσεις για τον προσδιορισμό της εγγύτητας των σημείων (Ester, Krieger, Sander, & Xu, 1996).

Η λειτουργία του αλγορίθμου βασίζεται σε δύο βασικές παραμέτρους που ορίζονται από το χρήστη.

- ϵ : Αυτή η παράμετρος προσδιορίζει την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων ώστε αυτά να μπορούν να θεωρηθούν γειτονικά. Αν η τιμή του ϵ είναι πολύ μικρή, τότε συνήθως ένα μεγάλο μέρος των δεδομένων δεν θα ομαδοποιηθεί και θα θεωρηθεί θόρυβος. Στην περίπτωση δε, που το ϵ είναι πολύ μεγάλο, τα περισσότερα δεδομένα θα τοποθετηθούν στο ίδιο cluster
- minPts : Αυτή είναι η παράμετρος που ορίζει τα ελάχιστα γειτονικά σημεία που πρέπει να έχει μία παρατήρηση προκειμένου να συμπεριληφθεί σε κάποιο cluster. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του minPts , τόσο πυκνότερα θα είναι τα clusters που δημιουργούνται.

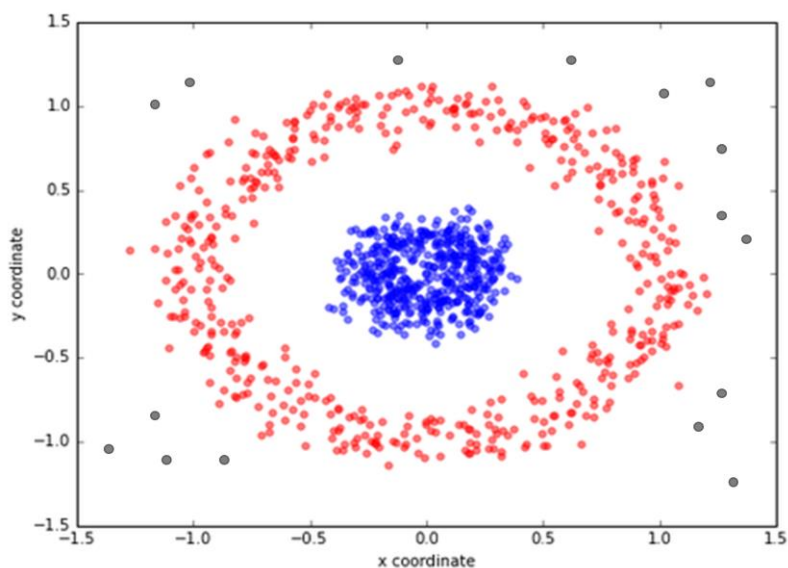
Η παράμετρος minPts ορίζεται σε 4 για διδιάστατα προβλήματα σύμφωνα με (Ester, Krieger, Sander, & Xu, 1996), ωστόσο κατά (Sander, Ester, Krieger, & Xu, 1998), η παράμετρος ενδείκνυται να ορίζεται στο διπλάσιο της διάστασης του προβλήματος που αντιμετωπίζεται. Γενικά, ο ελάχιστος αριθμός γειτονικών σημείων minPts πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$\text{minPts} \geq D+1$$

όπου D είναι η διάσταση του προβλήματος, δηλαδή ο αριθμός των διακριτών χαρακτηριστικών των παρατηρήσεων. Για δεδομένα που έχουν υψηλό θόρυβο, είναι αρκετά μεγάλα, έχουν πολλές διαστάσεις, ή επικαλυπτόμενες παρατηρήσεις, η αύξηση του αριθμού των minPts μπορεί να βελτιώσει τα αποτελέσματα του αλγορίθμου. (Schuberrt, Sander, Ester, Krieger, & Xu, 2017)

Για τον αποτελεσματικό προσδιορισμό της παραμέτρου ϵ , συνήθως χρησιμοποιείται η γραφική παράσταση της απόστασης k γειτόνων (k -distance graph). Η τιμή του ϵ μπορεί να

προσδιοριστεί βασιζόμενοι στο γόνατο που δημιουργείται στην καμπύλη. Ενδεικτικά παρουσιάζεται μία εικόνα με γραφική απεικόνιση του clustering που προέκυψε από τον dbscan για ένα σύνολο δεδομένων:



Εικόνα 2-5 Clustering δεδομένων με χρήση του αλγορίθμου dbscan

Για την υλοποίηση του αλγορίθμου τα στοιχεία των δεδομένων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες σημείων, τα σημεία που βρίσκονται στο εσωτερικό του cluster και ονομάζονται core points, τα σημεία που βρίσκονται στα όρια της συστάδας και ονομάζονται border points, και τα σημεία που αποτελούν θόρυβο και ονομάζονται outliers.

- Ένα σημείο θεωρείται core point αν τουλάχιστον $minPts$ βρίσκονται εντός απόστασης eps από αυτό (συμπεριλαμβάνεται και το ίδιο το σημείο).
- Ένα σημείο είναι border point αν βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη από eps από ένα core point αλλά δεν περιβάλλεται από αρκετά σημεία ώστε να θεωρηθεί core point και αυτό. Δεν ικανοποιεί δηλαδή τη συνθήκη των $minPts$.
- Ένα σημείο θεωρείται outlier ή θόρυβος, όταν δεν ανήκει σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες. Αυτά τα σημεία δεν ανήκουν σε κάποιο cluster.

Έστω η eps -neighborhood ενός σημείου p συμβολίζεται ως $N_{eps}(p)$ και ορίζεται ως

$$N_{eps}(p) = [q \in D | dist(p, q) \leq Eps]$$

Τότε ένα σημείο p είναι “directly density-reachable” από ένα σημείο q αν:

$$p \in N_{eps}(q)$$

$$N_{eps}(q) \geq MinPts \text{ (συνθήκη corepoint)}$$

Ένα σημείο p είναι density-reachable από ένα σημείο q με eps και $MinPts$ αν υπάρχει μία αλυσίδα από σημεία p_1, p_2, \dots, p_n με $p_1 = q$ και $p_n = p$ αν το p_{i+1} είναι density-reachable από το p_i . Τότε αυτά τα σημεία p_1, p_2, \dots, p_n αποτελούν ένα cluster. (Ανάστος, 2019)

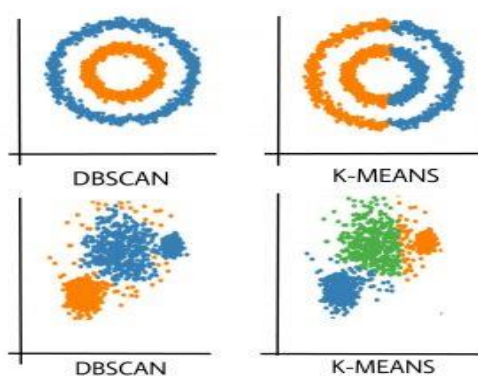
Ο αλγόριθμος επιλέγει αυθαίρετα ένα σημείο p . Στη συνέχεια, βρίσκει όλα τα *directly density-reachable* σημεία από το p , βάση της απόστασης ϵ . Αν το p είναι *core point*, τότε δημιουργείται ένα *cluster*. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος αναγνωρίζει όλα τα *density-reachable* σημεία και τα προσθέτει στο *cluster*. Αν το p δεν είναι *core point*, τότε ο αλγόριθμος επαναλαμβάνει τη διαδικασία για τα σημεία που δεν έχει επισκεφτεί. Η διαδικασία τερματίζεται όταν ο αλγόριθμος έχει ελέγξει όλα τα στοιχεία των δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος εκκινεί επιλέγοντας τυχαία ένα σημείο από τα δεδομένα. Αν υπάρχουν περισσότερα από minPts σημεία εντός της απόστασης ϵ από το αρχικό σημείο (συμπεριλαμβανομένου και του αρχικού σημείου), τότε, αν το αρχικό σημείο είναι *core point*, δημιουργείται ένα *cluster*. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος ελέγχει όλα τα σημεία του *cluster* για να προσδιορίσει αν έχουν και αυτά περισσότερα από minPts εντός της απόστασης ϵ . Αν έχουν, τότε το *cluster* μεγαλώνει και η διαδικασία συνεχίζεται επαναληπτικά. Αν δεν ισχύει αυτό, τότε ο αλγόριθμος εκκινεί ξανά τη διαδικασία, επιλέγοντας ένα νέο σημείο το οποίο δεν έχει ακόμα ανατεθεί σε κάποιο *cluster*. Στην περίπτωση που το αρχικό σημείο αποτελεί σημείο θορύβου, επιλέγεται ένα νέο σημείο. (Ester, Kriegel, Sander, & Xu, 1996)

Ο DBSCAN αποτελεί έναν από τους πιο διαδεδομένους αλγορίθμους clustering για μεγάλες βάσεις δεδομένων. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Απαιτεί ελάχιστη γνώση του τομέα εφαρμογής προκειμένου να καθοριστούν οι παράμετροι καθώς οι κατάλληλες τιμές είναι γνωστές από πριν, στη διαχείριση μεγάλων βάσεων δεδομένων.
- Ο αλγόριθμος αναγνωρίζει αποτελεσματικά clusters με αυθαίρετο σχήμα, σε αντίθεση με τον *k-means* που αναγνωρίζει μόνο σφαιρικά σχήματα.
- Έχει υψηλή αποδοτικότητα σε μεγάλες βάσεις δεδομένων, ιδίως για βάσεις με χιλιάδες στοιχεία.
- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για δεδομένα με μεγάλες διαφορές στην πυκνότητα των παρατηρήσεων, καθώς οι τιμές minPts και ϵ δεν μπορούν να είναι ικανοποιητικές για όλα τα clusters. (Kriegel, Kroger, Sander, & Zimek, 2011)

Στην παρακάτω εικόνα, γίνονται εμφανείς οι διαφορές στα αποτελέσματα που παρουσιάζουν οι δύο αλγόριθμοι (*k-means* & *dbscan*) για το ίδιο σετ δεδομένων.

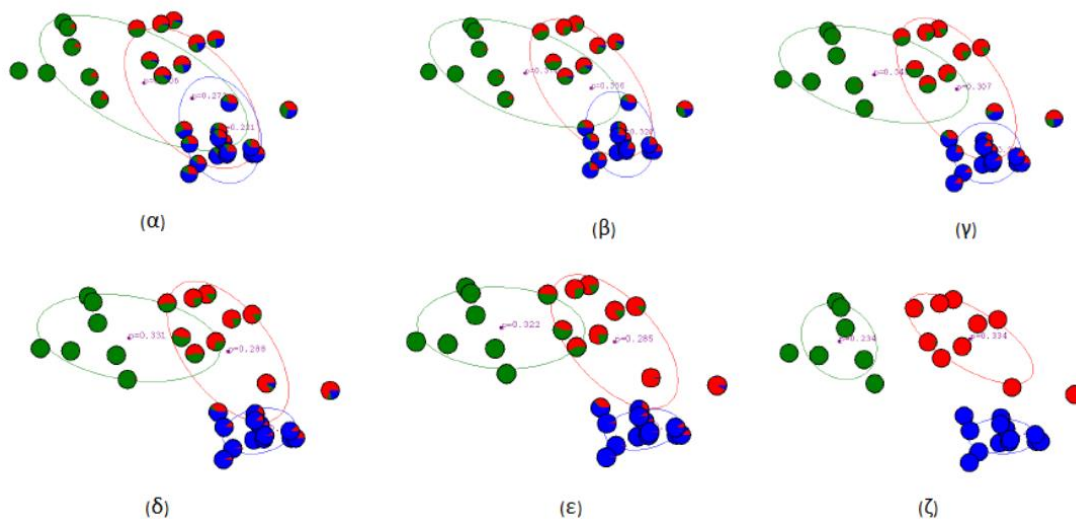


Εικόνα 2-6 Διαφορές *k-means* & *dbscan* για το ίδιο σετ δεδομένων

2.4.3 Expectation Maximization Clustering (EM Clustering)

Ο αλγόριθμος EM είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως σε τεχνικές data mining, και βρίσκει εφαρμογή σε προβλήματα όπου υπάρχουν ελλιπή δεδομένα (missing data). Ο αλγόριθμος αυτός είναι ένας επαναληπτικός αλγόριθμος ο οποίος εκτελεί δύο βασικά βήματα, τα οποία εναλλάσσονται μεταξύ τους. Το πρώτο βήμα ονομάζεται βήμα ευρέσεως προσδοκώμενης τιμής (expectation step). Σκοπός του είναι να υπολογίσει την αναμενόμενη τιμή μιας πιθανότητας που εκτιμάται χρησιμοποιώντας τις τρέχουσες εκτιμήσεις των παραμέτρων ενός στατιστικού μοντέλου (π.χ. μιας κανονικής κατανομής). Το δεύτερο βήμα είναι το βήμα μεγιστοποίησης (maximization step) το οποίο υπολογίζει τις παραμέτρους του στατιστικού μοντέλου, μεγιστοποιώντας την αναμενόμενη τιμή πιθανότητας που βρέθηκε στο προηγούμενο βήμα. Οι εκτιμημένες αυτές παράμετροι στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ως οι νέες τιμές των παραμέτρων του στατιστικού μοντέλου που χρησιμοποιείται στο πρώτο βήμα.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι πρώτες 6 επαναλήψεις του αλγορίθμου EM. Στο σχήμα (α) φαίνεται η αρχικοποίηση των μοντέλων που είναι και η αρχική γνώση μας για το που ανήκουν τα δεδομένα. Όπως παρατηρούμε οι κουκίδες είναι χρωματισμένες με βάση την πιθανότητα τους να ανήκουν σε κάποια από τις 3 ομάδες. Καθώς εξελίσσεται ο αλγόριθμος και γίνεται ο επαναυπολογισμός των παραμέτρων των μοντέλων, τα ποσοστά κάθε χρώματος κάθε κουκίδας αλλά και τα κέντρα και το μέγεθος των ελλείψεων της κάθε ομάδας αλλάζουν (σχήματα β,γ,δ,ε,ζ). Στο σχήμα (ζ) παρατηρούμε ότι η διασπορά του κάθε μοντέλου έχει μειωθεί και ότι ο διαχωρισμός των ομάδων γίνεται ξεκάθαρος. Ο αλγόριθμος τερματίζει όταν οι μεταβολές στις τιμές των παραμέτρων των μοντέλων γίνουν αμελητέες από βήμα σε βήμα. (Τσουμπού, 2015)



Εικόνα 2-7 Στάδια υλοποίησης του αλγορίθμου Expectation Maximization

Μετά τον προσδιορισμό των πιο σημαντικών common parts με τη χρήση των τεχνικών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ακολουθεί η πρόγνωση της ζήτησής τους και ο προσδιορισμός της βέλτιστης στρατηγικής αναπλήρωσης προκειμένου να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος προμήθειας.

2.5 Πρόγνωση ζήτησης

Πρόγνωση είναι οι τεχνικές και οι μεθοδολογίες για την εκτίμηση μελλοντικών γεγονότων. Χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό, ιστορικά στοιχεία τα οποία προεκτείνονται στο μέλλον με την βοήθεια μαθηματικών μοντέλων. Η διοίκηση του εκάστοτε οργανισμού εκτελώντας διαδικασίες πρόβλεψης στοχεύει στο να διαμορφώσει μια εικόνα του μελλοντικού περιβάλλοντος στο οποίο θα αναπτυχθούν τα σχέδια και οι δραστηριότητες του. Κάνει δηλαδή, υποθέσεις για τις μελλοντικές συνθήκες που είναι πιθανό να καθορίσουν την επιτυχία αυτών των σχεδίων και προσπαθεί να προβλέψει το αποτέλεσμα από την ολοκλήρωση των σχεδίων αυτών.

Οι προγνώσεις διακρίνονται σε βραχυπρόθεσμες, όπου ο χρονικός ορίζοντας είναι 3 έως 6 μήνες, μεσοπρόθεσμες για ορίζοντα 6 μηνών έως 2 ετών ή μακροπρόθεσμες όταν αφορά ορίζοντα άνω των 2 ετών. Η απόφαση που λαμβάνεται, χαρακτηρίζεται αντίστοιχα λειτουργική / τακτική / στρατηγική. (Θεοδωρίδης, 2012)

2.6 Μέθοδοι πρόγνωσης ζήτησης

Οι μέθοδοι πρόγνωσης της ζήτησης μπορούν να χωριστούν σε ποιοτικές και σε ποσοτικές (Θεοδωρίδης, 2012):

- ο Ποιοτικές Μέθοδοι: Όταν δεν υπάρχουν ιστορικά δεδομένα ή όταν τα ιστορικά στοιχεία δεν είναι αρκετά, τα μέλη της διοίκησης στηρίζονται σε υποκειμενικές εκτιμήσεις. Αυτές οι μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογή σε προβλέψεις μελλοντικών εξελίξεων στην τεχνολογία, τις αγορές προϊόντων, πρώτων υλών κ.λπ. Δηλαδή έχουν μεγάλο χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης και στηρίζουν στρατηγικές αποφάσεις.
- ο Ποσοτικές Μέθοδοι: Στην κατηγορία των ποσοτικών μεθόδων πρόβλεψης ανήκουν οι μέθοδοι χρονοσειρών ή μέθοδοι προεκβολής, οι αιτιακές μέθοδοι καθώς και οι μέθοδοι προσομοίωσης.

Σύμφωνα με (Chatfield, 2001), συνήθως οι ποσοτικές μέθοδοι τείνουν να είναι ανώτερες από τις ποιοτικές. Φυσικά, υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι ποσοτικές μέθοδοι δεν είναι αποτελεσματικές λόγω έλλειψης βασικών δεδομένων, και σε αυτή την περίπτωση η χρήση ποιοτικών μεθόδων είναι αναπόφευκτη. Σε κάθε περίπτωση δεν είναι συνετό να θεωρήσουμε ότι αυτές οι δύο προσεγγίσεις είναι εντελώς ασυμβίβαστες, καθώς συχνά ο συνδυασμός τους, προσφέρει τη δυνατότητα αξιοποίησης των θετικών στοιχείων κάθε μεθόδου και την εξαγωγή πιο αξιόπιστων συμπερασμάτων από ότι αν χρησιμοποιούταν η κάθε μέθοδος μεμονωμένα.

2.6.1 Μέθοδοι χρονοσειρών ή προεκβολής

Στις μεθόδους αυτές χρησιμοποιούνται στοιχεία από το παρελθόν για να γίνει πρόβλεψη για το μέλλον. Οι μέθοδοι χρονοσειρών βασίζονται στην παραδοχή ότι το παρελθόν σκιαγραφεί το μέλλον. Είναι κατάλληλες στην περίπτωση που τα βασικά χαρακτηριστικά της ζήτησης δεν αλλάζουν σημαντικά στον ορίζοντα πρόβλεψης. Θα πρέπει να σημειωθεί πως όταν ο ορίζοντας της πρόβλεψης είναι σχετικά μικρός, οι μέθοδοι αυτές δίνουν συχνά αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν η μέθοδος του κινούμενου μέσου όρου, οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης κ. ά. (Θεοδωρίδης, 2012)

Χρονοσειρά ονομάζεται μία σειρά δεδομένων, της μεταβλητής για την τιμή της οποίας γίνεται η πρόβλεψη, που σημειώθηκαν σε μια αντίστοιχη σειρά χρονικών περιόδων στο παρελθόν. Οι μέθοδοι οι οποίες βασίζονται σε χρονοσειρές απαιτούν ακριβή ποσοτικά στοιχεία για ένα συνήθως μεγάλο σύνολο προηγούμενων περιόδων. Οι μέθοδοι προεκβολής προσπαθούν να αναγνωρίσουν πρότυπα-χαρακτηριστικά με βάση τα οποία οι τιμές εξελίχθηκαν στο παρελθόν. Πρέπει να σημειωθεί πως οι προβλέψεις στηρίζονται στην υπόθεση ότι τα πρότυπα αυτά θα διατηρηθούν και στο μέλλον. Τέλος η μέθοδος πρόβλεψης θα πρέπει να διακρίνει τις μεταβολές της ζήτησης που προκαλούνται από αλλαγές στις συνθήκες της αγοράς και σε αυτές που οφείλονται σε τυχαία γεγονότα. (Θεοδωρίδης, 2012)

2.7 Πρόγνωση ζήτησης ανταλλακτικών

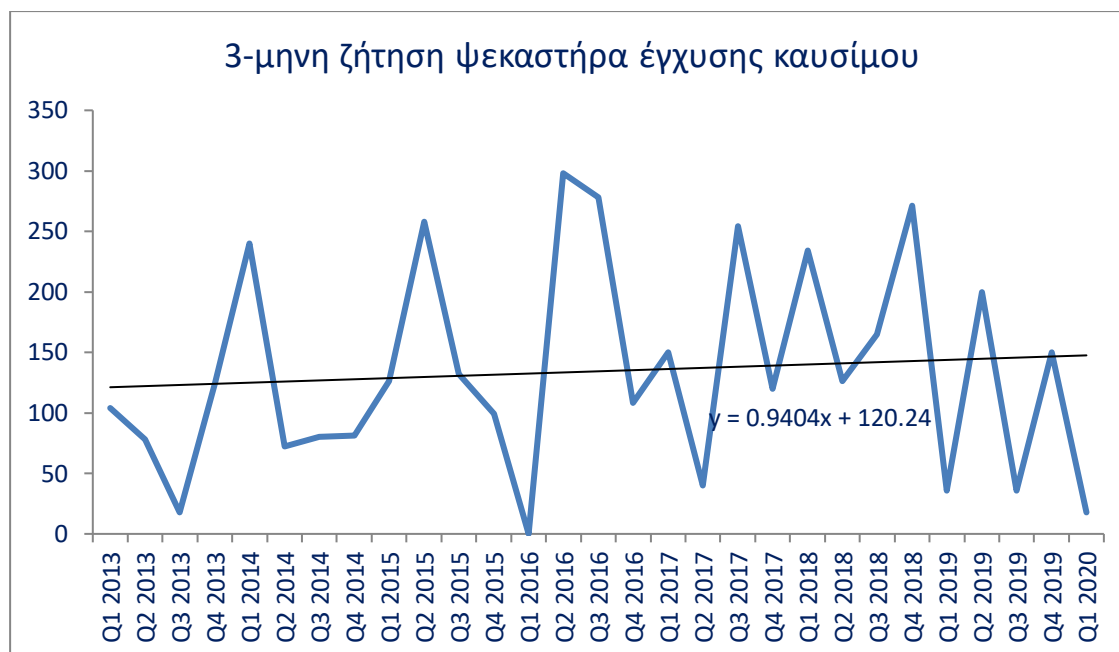
Τα ανταλλακτικά είναι πολύ σημαντικά στις περισσότερες βιομηχανικές επιχειρήσεις. Χαρακτηρίζονται από τον μεγάλο αριθμό τους και τον υψηλό αντίκτυπό τους στις λειτουργίες των επιχειρήσεων όποτε βρίσκονται σε έλλειψη. Επομένως, οι επιχειρήσεις τείνουν να αναλύουν τη ζήτηση των ανταλλακτικών τους και να προσπαθούν να εκτιμήσουν τη μελλοντική τους κατανάλωση. Παρόλα αυτά, αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην εξεύρεση μιας βέλτιστης μεθόδου πρόβλεψης καθώς η ζήτηση των ανταλλακτικών είναι συνήθως άμορφη και διακοπτόμενη χωρίς ξεκάθαρα μοτίβα και τάσεις. (Hemeimat, Al-Qatawneh, Arafeh, & Masoud, 2016)

Όλα τα μηχανήματα απαιτούν συντήρηση και ανταλλακτικά. Τα ανταλλακτικά πρέπει να είναι διαθέσιμα όποτε απαιτούνται για να αποφευχθεί η διακοπή ολόκληρης της γραμμής παραγωγής, επηρεάζοντας έτσι τα ποσοστά παραγωγής. Σε μία ναυτιλιακή επιχείρηση, τα ανταλλακτικά είναι αναγκαία για την απρόσκοπτη λειτουργία του στόλου και την αποτελεσματική μεταφορά αγαθών. Ως εκ τούτου, οι εταιρείες άρχισαν να αναπτύσσουν τα δικά τους συστήματα διαχείρισης ανταλλακτικών προκειμένου να αναλύουν και να διαχειρίζονται τις απαιτήσεις τους σε ανταλλακτικά με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. (Hemeimat, Al-Qatawneh, Arafeh, & Masoud, 2016)

Διαφορετικές μέθοδοι ποσοτικής και ποιοτικής πρόβλεψης εφαρμόζονται για την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης ανταλλακτικών προκειμένου να διασφαλιστεί με συνέπεια η διαθεσιμότητά τους. Οι μέθοδοι χρονοσειρών θεωρούνται οι πιο συνηθισμένες και αξιόπιστες ποσοτικές μέθοδοι. Όσον αφορά τις προβλέψεις χρονοσειρών, υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ της πρόβλεψης της ζήτησης των τελικών προϊόντων και της πρόβλεψης της ζήτησης ανταλλακτικών. (Hemeimat, Al-Qatawneh, Arafeh, & Masoud, 2016)

Ορισμένες παραδοσιακές τεχνικές πρόβλεψης ενδέχεται να μην ισχύουν για την πρόγνωση ζήτησης των ανταλλακτικών εξαρτημάτων. Η πρόβλεψη των ανταλλακτικών αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για όλους τους αναλυτές. Ο λόγος είναι ότι η ζήτηση είναι στοχαστική και ένα μεγάλο ποσοστό των δεδομένων της ζήτησης είναι μηδενικό για αρκετές χρονικές περιόδους με αποτέλεσμα να υπάρχουν ανακριβή αποτελέσματα. Υπάρχουν δηλαδή αρκετές χρονικές περιόδους που δεν εγέρθηκε ανάγκη για το εκάστοτε εξάρτημα, γεγονός που καθιστά τα μοτίβα μη συνεχή, ακυρώνοντας την οποιαδήποτε τάση μπορεί να είχε δημιουργηθεί μέχρι εκείνο το σημείο. (Morris, 2013)

Ενδεικτικά παρουσιάζεται το μοτίβο για τη ζήτηση ενός από τα εξαρτήματα που εντοπίστηκαν στο προηγούμενο βήμα της εργασίας. Το συγκεκριμένο εξάρτημα είναι ένας ψεκαστήρας βαλβίδας έγχυσης καυσίμου (fuel injection valve), η οποία έχει αγοραστεί κατά τα έτη της ανάλυσης για 16 ξεχωριστά πλοία, 94 φορές στο σύνολο. Τα δεδομένα της ζήτησης έχουν ομαδοποιηθεί κατά ημερολογιακό τρίμηνο. Έτσι κάθε διακριτό σημείο του διαγράμματος αντιστοιχεί στις ανάγκες που υπήρξαν για το συγκεκριμένο εξάρτημα κατά τη διάρκεια του εκάστοτε τριμήνου.



Όπως μπορεί να γίνει κατανοητό από το παραπάνω διάγραμμα, η ζήτηση δεν παρουσιάζει σταθερά στοιχεία επαναληψιμότητας, ενώ η τάση κάθε άλλο παρά χρήσιμη είναι για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Γίνεται λοιπόν σαφής η δυσκολία που παρουσιάζει η πρόγνωση ζήτησης για τα ανταλλακτικά εξαρτήματα που χρειάζεται μία επιχείρηση.

Υπάρχει μία ευρεία ποικιλία τεχνικών πρόβλεψης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον εκάστοτε μελετητή, όμως, καμία από αυτές δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως καλύτερη για όλες τις περιπτώσεις. Η βέλτιστη μέθοδος πρόβλεψης εξαρτάται από τη φύση της ζήτησης, των διαθέσιμων δεδομένων και των απαιτήσεων της μελέτης. Ένας τρόπος βελτίωσης της ακρίβειας των προβλέψεων είναι η εστίαση στη μείωση του σφάλματος πρόβλεψης. Ως εκ τούτου, η επιλογή της βέλτιστης, ανά περίπτωση, μεθόδου έγκειται στην επιλογή αυτής που ελαχιστοποιεί το καθορισμένο μέτρο σφάλματος. (Hemeimat, Al-Qatawneh, Arafteh, & Masoud, 2016)

Οι μέθοδοι εξομάλυνσης (smoothing methods) είναι τεχνικές με τις οποίες προσδιορίζονται οι μελλοντικές τιμές μιας μεταβλητής με βάση τον τρόπο εφαρμογής τους. Οι τεχνικές αυτές ονομάζονται μέθοδοι εξομάλυνσης, διότι η δημιουργία των προβλέψεων προέρχεται από την εξομάλυνση της διαχρονικής εξέλιξης των τιμών της μεταβλητής, αποκλειστικά από τις διαθέσιμες παρατηρήσεις της και ανεξάρτητα από τη σχέση που μπορεί να έχει η μεταβλητή αυτή με άλλη ή άλλες μεταβλητές, ώστε να αναγνωριστεί καλύτερα ο τρόπος

συμπεριφοράς της. Ορισμένες από τις μεθόδους εξομάλυνσης μπορούν να εφαρμοστούν και σε περιπτώσεις μικρού αριθμού παρατηρήσεων της μεταβλητής.

Για την πρόγνωση των αναγκών των ανταλλακτικών που προσδιορίστηκαν στα παραπάνω βήματα της διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν τρεις βασικές μέθοδοι εξομάλυνσης. Ο κινούμενος μέσος όρος (Moving Average), η μέθοδος της εκθετικής εξομάλυνσης (Exponential Smoothing), καθώς και η μέθοδος Croston's με τις παραλλαγές της, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια. Για κάθε εξάρτημα επιλέχθηκε η μέθοδος που ελαχιστοποιούσε το Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα ή MAPE (Mean Absolute Percentage Error), ενώ υπολογίστηκε και το Μέσο Απόλυτο Σφάλμα ή MAD (Mean Absolute Deviation) και η Ρίζα της Μέσης Τετραγωνικής Απόκλισης (Root Mean Square Error) για περιπτώσεις όπου είτε ήταν αδύνατο να υπολογιστεί το MAPE, είτε δύο μέθοδοι παρουσίαζαν παρεμφερή MAPE. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση ο προσδιορισμός περισσότερων μέτρων σφάλματος προσφέρει καλύτερη κατανόηση όσων αφορά την αποτελεσματικότητα της πρόγνωσης.

2.7.1 Μέθοδος Κινούμενου Μέσου Όρου (Moving Average)

Η μέθοδος του απλού κινητού μέσου m -περιόδων (simple moving average) είναι μία πολύ απλή μέθοδος προβλέψεων που χρησιμοποιεί ως πρόβλεψη την τιμή του αριθμητικού μέσου όρου των m πλέον πρόσφατων παρατηρήσεων της χρονοσειράς. Αυτό συμβαίνει διότι οι πλέον πρόσφατες παρατηρήσεις της χρονοσειράς θεωρούνται περισσότερο αντιπροσωπευτικές για τη δημιουργία προβλέψεων από ότι οι πιο απομακρυσμένες στο παρελθόν. Ο μέσος όρος αυτός ονομάζεται κινητός, επειδή η τιμή του δεν είναι σταθερή, αλλά αναπροσαρμόζεται κάθε φορά που μια νέα παρατήρηση της χρονοσειράς γίνεται διαθέσιμη. Οι προβλέψεις μιας χρονοσειράς Y_t , για $t=1,2,\dots,n$, δημιουργούνται με τη μέθοδο του απλού κινούμενου μέσου ως εξής:

$$F_{t+1} = (D_t + D_{t-1} + \dots + D_{t-N+1})/N$$

Αν ληφθεί υπόψη ότι $F_t = \frac{D_t + D_{t-1} + \dots + D_{t-N}}{N}$, τότε η παραπάνω εξίσωση μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$F_{t+1} = F_t + \frac{D_t - D_{t-N}}{N}$$

όπου είναι η πρόβλεψη για την περίοδο $t+1$ και N ο αριθμός των περιόδων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της τιμής του μέσου όρου. Επίσης για $N=1$ η πρόβλεψη της επόμενης περιόδου είναι ίση με την πραγματική τιμή της προηγούμενης περιόδου, δηλαδή ισχύει η σχέση:

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

Συνήθως για να προσδιορίσουμε την τιμή του N για τη δημιουργία προβλέψεων σε μια χρονοσειρά, εφαρμόζουμε τη μέθοδο του απλού κινητού μέσου στη χρονοσειρά για διαφορετικές τιμές του m και επιλέγουμε εκείνη την τιμή του N που ελαχιστοποιεί την τιμή του κριτηρίου σφάλματος που έχει επιλεγεί.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως για την πρόγνωση χρονοσειρών προκειμένου να σταθεροποιήσει βραχυχρόνιες διακυμάνσεις και να δώσει έμφαση στη μακροχρόνια τάση. Ο κινούμενος μέσος όρος είναι επίσης χρήσιμος για τον αποκλεισμό των τυχαίων διακυμάνσεων γεγονός που τον καθιστά χρήσιμο στην πρόγνωση ζήτησης ανταλλακτικών. Επιπλέον, είναι εύκολος τόσο ο υπολογισμός όσο και η κατανόησή του, και δίνει σταθερές προβλέψεις. (Arnold, Charman, Gatewood, & Clive, 2016)

Μειονεκτήματα της μεθόδου του απλού κινούμενου μέσου είναι τα εξής (Θεοδωρίδης, 2012):

- Απαιτούνται πολλά δεδομένα για την παραγωγή μίας πρόβλεψης.
- Δεν είναι κατάλληλη στην περίπτωση που η ζήτηση παρουσιάζει στοιχεία τάσης, εποχικότητας ή κυκλικότητας.
- Η μέθοδος δίνει την ίδια βαρύτητα σε καθεμία από τις m πιο πρόσφατες τιμές, ενώ δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη τα δεδομένα πριν από τις m τελευταίες περιόδους.



Εικόνα 2-8 Μέθοδος Κινούμενου Μέσου Όρου

2.7.2 Μέθοδος εκθετικής εξομάλυνσης

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου του απλού κινητού μέσου m -περιόδων είναι ότι για τον υπολογισμό των προβλέψεων δίνει ίση βαρύτητα σε κάθε παρατήρηση, ανεξάρτητα από το πόσο κοντά ή μακριά βρίσκεται σε σχέση με την προβλεπόμενη περίοδο. Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να εξαλειφθεί με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης (simple exponential smoothing), σύμφωνα με την οποία οι προβλέψεις δημιουργούνται με βάση κάποιο σταθμικό μέσο όρο, έτσι ώστε να δίνεται διαφορετική βαρύτητα σε κάθε παρατήρηση. Πιο συγκεκριμένα, με τη μέθοδο αυτή δίνεται πολύ μεγαλύτερη βαρύτητα στις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις, από αυτή που δίνεται στις πιο απομακρυσμένες.

Για να κατανοήσουμε το μηχανισμό λειτουργίας της μεθόδου ας θεωρήσουμε ότι οι προβλέψεις της χρονοσειράς δημιουργούνται ως εξής:

$$F_{t+1} = aD_t + a(1 - a)D_{t-1} + a(1 - a)^2D_{t-2} + \dots + a(1 - a)^nF_{t-n}$$

όπου η παράμετρος α ονομάζεται σταθερά εξομάλυνσης (smoothing constant) και λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1 δηλαδή $0 < \alpha < 1$. Έτσι, σύμφωνα με την παραπάνω σχέση η πρόβλεψη F_{t+1} προκύπτει ως ένας σταθμικός μέσος όρος των παρατηρήσεων της χρονοσειράς, αφού το άθροισμα των συντελεστών της σχέσης (είναι ίσο με τη μονάδα). Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή της παραμέτρου α , τόσο μεγαλύτερη βαρύτητα δίνεται στις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις και πολύ μικρή έως μηδαμινή βαρύτητα στις πιο απομακρυσμένες.

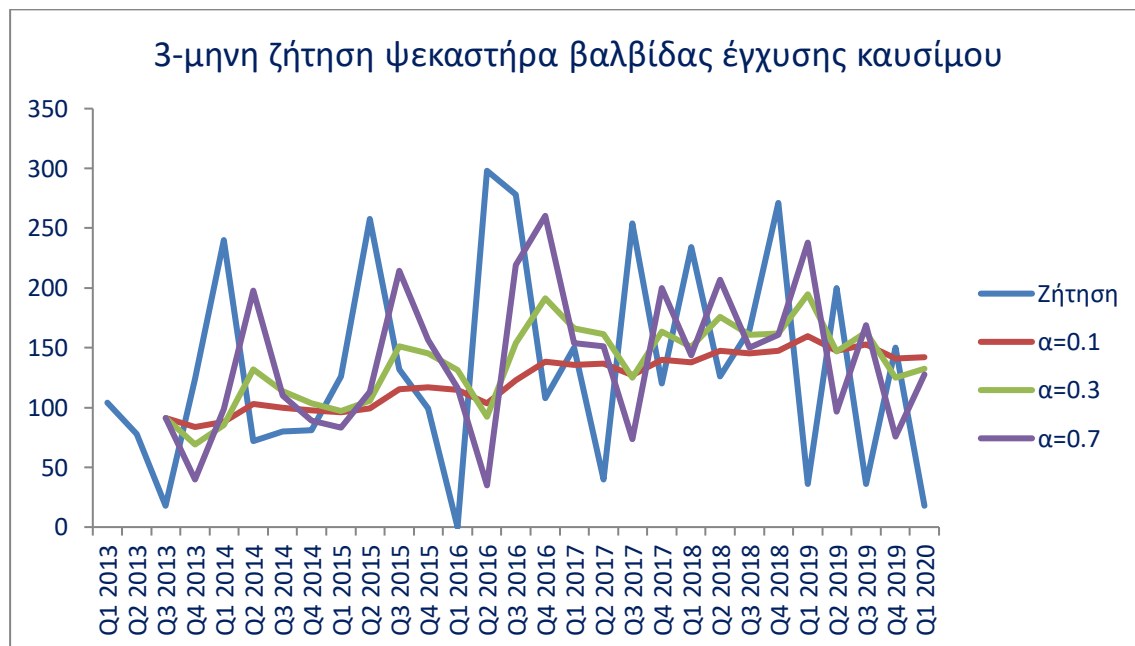
Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφεί και με τη μορφή:

$$F_{t+1} = aD_t + (1 - a)F_t$$

Η σχέση αυτή είναι η μαθηματική έκφραση της μεθόδου της απλής εκθετικής εξομάλυνσης και ορίζεται για $t=2,3,\dots,n$ με αρχική συνθήκη:

$$F_1 = L_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$$

Δηλαδή, λαμβάνεται ως αρχική τιμή ο αριθμητικός μέσος των προηγούμενων περιόδων της χρονοσειράς, ή μέρους αυτών. (Θεοδωρίδης, 2012)



Εικόνα 2-9 Μέθοδος Εκθετικής Εξομάλυνσης για διάφορες τιμές της παραμέτρου α

Γίνεται εμφανές από τον τύπο της εκθετικής εξομάλυνσης ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου εξαρτώνται από την κατάλληλη επιλογή της παραμέτρου α . Η τιμή της παραμέτρου μπορεί να καθοριστεί από τον ερευνητή, ιδιαίτερα όταν αυτός έχει προηγούμενη εμπειρία για τη συγκεκριμένη χρονοσειρά. Ωστόσο, είναι πιο αντικειμενικό η “άριστη” τιμή του α να προσδιορίζεται από τα δεδομένα της χρονοσειράς. Ειδικότερα, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης στις παρατηρήσεις της

χρονοσειράς για τιμές του α από το μηδέν μέχρι τη μονάδα επιλέγεται εκείνη η τιμή του α που ελαχιστοποιεί την τιμή του επιλεγμένου μέτρου σφάλματος.

Για τους σκοπούς αυτής της διπλωματικής, στα σημεία όπου χρησιμοποιήθηκε η εκθετική εξομάλυνση, η τιμή της παραμέτρου α επιλέχθηκε με βάση την ελαχιστοποίηση του Μέσου Απολύτου Ποσοστιαίου Σφάλματος ή MAPE (Mean Absolute Percentage Error). Για την εύρεση της τιμής του α , η οποία ελαχιστοποιεί το MAPE στην εκάστοτε περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε ένα εργαλείο της επιχειρησιακής έρευνας, το εργαλείο επίλυσης του MS Excel.

2.7.3 Μέθοδος Croston's

Η μέθοδος Croston's η οποία πρωτοεμφανίστηκε το 1972, είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος για πρόβλεψη ζήτησης, όταν η ζήτηση παρουσιάζει διακυμάνσεις και περιόδους με μηδενικές τιμές. Αυτό την καθιστά ιδανική για την πρόγνωση ζήτησης των ανταλλακτικών, η ζήτηση των οποίων παρουσιάζει τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Η croston's περιλαμβάνει ξεχωριστές προγνώσεις απλής εκθετικής εξομάλυνσης για το μέγεθος της ζήτησης και την περίοδο μεταξύ των εμφανίσεων της ζήτησης αυτής. Ορισμένοι μελετητές όπως οι (Syntetos & Boylan, 2001) και (Teunter, Syntetos, & Zied Babai, 2011) έχουν προτείνει ορισμένες τροποποιήσεις τις μεθόδου προκειμένου να επιτυγχάνει μεγαλύτερη ακρίβεια. (Shenstone & Hyndman, 2005) Οι τρεις μέθοδοι που εφαρμόστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια, ενώ ακολουθούν επεξηγηματικοί πίνακες για τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται. (Hemeimat, Al-Qatawneh, Arafah, & Masoud, 2016)

Συντομογραφία	Μέθοδος
CR	Croston's forecasting method
SBA	Syntetos-Boylan Approximation
TSB	Teunter-Syntetos-Babai forecasting method

Πίνακας 2-1 Μεταβλητές μεθόδων Croston's, SBA & TSB

Μεταβλητή	Περιγραφή
F_t	Πρόγνωση στην αρχή της περιόδου t
D_t	Ζήτηση κατά την περίοδο t
\hat{k}_t	Πρόγνωση κατά την περίοδο t των αριθμών των περιόδων μεταξύ διαδοχικών θετικών τιμών της ζήτησης (CR,SBA)
k_t	Αριθμός περιόδων από την τελευταία περίοδο με θετική ζήτηση στην αρχή της περιόδου t (CR, SBA)
\hat{s}_t	Πρόγνωση της ζήτησης για την περίοδο t , δεδομένου ότι η ζήτηση θα είναι θετική
\hat{p}_t	Πρόγνωση της πιθανότητας να υπάρξει θετική ζήτηση κατά την περίοδο t
p_t	Ενδεικτική μεταβλητή που υποδεικνύει αν υπάρχει ή όχι θετική ζήτηση στην περίοδο t
α, β	Σταθερές εξομάλυνσης ($0 \leq \alpha, \beta \leq 1$)

Πίνακας 2-2 Εξισώσεις υπολογισμού μεθόδων Croston's, SBA & TSB

Μέθοδος	Υπολογισμός
Croston's	$\hat{s}_{t+1} = \begin{cases} \hat{s}_t & \text{if } D_t = 0 \\ (1 - \alpha)\hat{s}_t + \alpha d_t, & \text{if } D_t > 0 \end{cases}$ $\hat{k}_{t+1} = \begin{cases} \hat{k}_t & \text{if } D_t = 0 \\ (1 - \beta)\hat{k}_t + \beta k_t, & \text{if } D_t > 0 \end{cases}$ $F_{t+1} = \frac{\hat{s}_{t+1}}{\hat{k}_{t+1}}$
SBA	$F_{t+1} = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{\hat{s}_{t+1}}{\hat{k}_{t+1}}$
TSB	$\hat{s}_{t+1} = \begin{cases} \hat{s}_t & \text{if } D_t = 0 \\ (1 - \alpha)\hat{s}_t + \alpha d_t, & \text{if } D_t > 0 \end{cases}$ $\hat{p}_{t+1} = (1 - \beta)\hat{p}_t + \beta p_t$ $F_{t+1} = \hat{p}_t + \hat{s}_{t+1}$

2.8 Μέτρα Σφάλματος

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, υπάρχουν μέτρα που δηλώνουν το σφάλμα της κάθε μεθόδου για την εκάστοτε σειρά δεδομένων. Για τους σκοπούς αυτής της διπλωματικής υπολογίστηκαν τα μέτρα σφάλματος που ακολουθούν. Στους παρακάτω τύπους χρησιμοποιούνται τα σύμβολα του πίνακα που ακολουθεί:

t	Αριθμός της περιόδου
N	Συνολικός αριθμός των περιόδων
e_t	Σφάλμα πρόβλεψης την περίοδο t
D_t	Πραγματική τιμή της ζήτησης την περίοδο t

F_t	Πρόγνωση ζήτησης για την περίοδο t
-------	------------------------------------

2.8.1 Μέση απόλυτη απόκλιση ή Mean Absolute Deviation (MAD)

Στη μέση απόλυτη απόκλιση, υπολογίζεται η απόλυτη τιμή του σφάλματος σε κάθε περίοδο. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος αυτών των αποκλίσεων όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |e_t| = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |D_t - F_t|$$

2.8.2 Ρίζα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος ή Root Mean Squared Error (RMSE)

Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος υπολογίζει τη ρίζα του μέσου των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών της πρόγνωσης από τις πραγματικές τιμές. Η σχέση υπολογισμού είναι η εξής:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_t^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (D_t - F_t)^2}$$

2.8.3 Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα ή Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα μετρά το πόσο αποκλίνουν οι προβλέψεις ως ποσοστό της πραγματικής τιμής της μεταβλητής. Αποτελεί έτσι έναν αδιάστατο δείκτη, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για τη σύγκριση διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης μεταξύ τους. Επίσης η φύση του σαν απόλυτο μέτρο σφάλματος δεν επιτρέπει στα ετερόσημα σφάλματα να ακυρώνονται μεταξύ τους καθιστώντας το έτσι αξιόπιστο δείκτη για την αποτελεσματικότητα των εκάστοτε εφαρμοζόμενων μεθόδων πρόβλεψης. Το μειονέκτημα του συγκεκριμένου δείκτη είναι ότι δεν μπορεί να υπολογιστεί για περιόδους όπου η ζήτηση είναι μηδενική. Η σχέση υπολογισμού είναι η εξής:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{D_t - F_t}{D_t} \right|$$

2.9 Διαχείριση αποθεμάτων

Ύστερα από την πρόγνωση της μελλοντικής ζήτησης των ανταλλακτικών που έχουν προσδιοριστεί, πρέπει να βρεθεί η βέλτιστη στρατηγική αναπλήρωσης για την ελαχιστοποίηση του κόστους προμήθειας. Έτσι η ανάλυση προσανατολίζεται στις τεχνικές διαχείρισης αποθεμάτων.

Η διαχείριση των αποθεμάτων αποτελεί μια σημαντική ευθύνη για τη διοίκηση ενός παραγωγικού συστήματος. Απόθεμα θεωρείται η ποσότητα οποιουδήποτε οικονομικού αγαθού, υλικού ή όχι, που εισάγεται στο σύστημα και υπερβαίνει την ποσότητα του αγαθού αυτού που εξάγεται από το σύστημα. Η δημιουργία αποθεμάτων μπορεί είτε να είναι σχεδιασμένη με σκοπό να εξομαλύνει τις παρουσιαζόμενες διαφορές μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης του αγαθού είτε αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων όπως κακός προγραμματισμός ή έκτακτα φαινόμενα. (Νταγολούδη, 2009)

Η αναγκαιότητα ύπαρξης του αποθέματος οφείλεται κυρίως στην αβεβαιότητα αναφορικά με την προσφορά και τη ζήτηση του αγαθού για την κάλυψη των εκάστοτε αναγκών. Ο έλεγχος των αποθεμάτων (inventory control) είναι μια τεχνική με επιστημονικές βάσεις που σκοπό έχει να παρακολουθεί την αποθηκευμένη ποσότητα του αγαθού και να λαμβάνει τις σχετικές αποφάσεις όπως πότε και σε τι ποσότητα θα πρέπει να παραγγελθεί το υλικό.

Ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων θεωρείται το σύνολο των κανονισμών και ελέγχων που καθορίζουν το ύψος των αποθεμάτων, πότε θα πρέπει τα αποθέματα να ανανεώνονται και πόσο μεγάλες θα πρέπει να είναι οι παραγγελιές. Ορισμένες επιχειρήσεις προτιμούν να διατηρούν μακροχρόνιες σχέσεις με τους προμηθευτές τους για την ικανοποίηση των αναγκών τους για σχεδόν έναν ολόκληρο χρόνο. Στην περίπτωση αυτή ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων θα καθορίζει πότε και τι ποσότητα θα αγοράζεται και θα αποθηκεύεται. (Νταγολούδη, 2009)

Ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων, εξοικονομεί πόρους για την επιχείρηση ελαχιστοποιώντας το κόστος. Η έννοια του αποθέματος είναι γενική και δεν περιορίζεται στην περίπτωση των πρώτων υλών, των προϊόντων και εμπορευμάτων αλλά καλύπτει ένα ευρύ φάσμα οικονομικών φαινομένων. Ανεξάρτητα από τη γενικότητα του όρου, το πρόβλημα της διαχείρισης των αποθεμάτων είναι πολύ σημαντικό για όλες τις επιχειρήσεις καθώς τα αποθέματα τους δεσμεύουν συνήθως ένα μεγάλο ποσοστό του κεφαλαίου τους κι έχουν σημαντικό κόστος διατήρησης. Υπάρχουν κατηγορίες επιχειρήσεων όπως τα super market όπου τα αποθέματα τους καλύπτουν περίπου το 50% του ενεργητικού τους. (Jacobs & Chase, 2012)

Το πρόβλημα ελέγχου των αποθεμάτων έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια την βιβλιογραφία κι έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια ανάλυσης και εμπάθυνσης του προβλήματος. Στη θεωρητική προσέγγιση του προβλήματος, έχει δημοσιευτεί πλήθος επιστημονικών μελετών, έχουν γίνει πολλές και πολύπλοκες μαθηματικές αναλύσεις κι έχουν διατυπωθεί πολλές θεωρίες και μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων. Όμως, από πρακτικής απόψεως, μόνο ένα μικρό μέρος των θεωριών έχουν εφαρμοστεί σε πραγματικό επιχειρησιακό περιβάλλον. (Jacobs & Chase, 2012)

Το πρόβλημα διαχείρισης αποθεμάτων ορίζεται γενικώς ως πρόβλημα εξισορρόπησης μεταξύ του κόστους έλλειψης και του κόστους πλεονάσματος αποθέματος ενός παραγωγικού προϊόντος, ή στη συγκεκριμένη περίπτωση ανταλλακτικών εξαρτημάτων. Ένας σωστός σχεδιασμός διαχείρισης αποθεμάτων ανταλλακτικών αποσυνδέει το παραγωγικό σύστημα από τις διακυμάνσεις της ζήτησης των ανταλλακτικών εξαρτημάτων και διατηρεί ομαλή ροή στην παραγωγική διαδικασία, προσφέροντας χωρίς καθυστερήσεις τα απαραίτητα εξαρτήματα για την απρόσκοπτη λειτουργία της.

Για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το ύψος του τηρούμενου αποθέματος μία επιχείρηση θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και τα ακόλουθα κόστη:

- Κόστος τήρησης αποθέματος (holding/storage cost). Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει το κόστος αποθηκευτικού χώρου, το κόστος δεσμευμένου κεφαλαίου, το κόστος ασφάλισης αποθέματος, το κόστος απαρχαίωσης

αποθέματος και το κόστος του χειρισμού του (handling) κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά του.

Ειδικότερα για το κόστος δεσμευμένου κεφαλαίου, αυτό πηγάζει από την ανάγκη της επιχείρησης να επενδύσει τα κεφαλαία της για την διατήρηση αποθεμάτων έναντι των άλλων εναλλακτικών χρήσεων των κεφαλαίων της. Το κόστος του δεσμευμένου κεφαλαίου είναι πάντα ίσο ή μεγαλύτερο της απόδοσης που θα είχε η επιχείρηση εάν είχε επενδύσει τα κεφάλαια της σε χρηματοοικονομικά προϊόντα πολύ χαμηλού κινδύνου και ονομάζεται επιτόκιο αναγωγής και συμβολίζεται με $wacc$ (weighted average cost of capital) . Για τον κλάδο της εμπορικής ναυτιλίας μεταφοράς υγρού και ξηρού φορτίου, το επιτόκιο αυτό υπολογίζεται στο 4,96% για το 2019 σύμφωνα με (NYU, 2020)

- Κόστος προμήθειας αποθέματος (Acquisition cost). Περιλαμβάνει τόσο το σταθερό κόστος για την τοποθέτηση μιας παραγγελίας στους προμηθευτές της επιχείρησης όσο και το κόστος αγοράς του αποθέματος από αυτούς.
- Κόστος Έλλειψης/ μη ικανοποίησης της ζήτησης (stock-out cost). Εκφράζει το κόστος που θα επωμιστεί μία επιχείρηση όταν βρεθεί αντιμέτωπη με έλλειψη αποθέματος (στη συγκεκριμένη περίπτωση έλλειψη ανταλλακτικών).

2.10 Συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων

Ο προσδιορισμός μιας πολιτικής για τη διαχείριση των αποθεμάτων μιας επιχείρησης συνίσταται στον προσδιορισμό του πότε θα πρέπει να γίνει μια νέα παραγγελία, καθώς και της ποσότητας που θα πρέπει να παραγγελθεί κάθε φορά. Η απόφαση που θα παρθεί για μια παραγγελία θα έχει επιπτώσεις σε όλες τις επόμενες παραγγελίες και συνεπώς σε όλη τη διαχείριση αποθέματος από τη στιγμή εκείνη.

Τα συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

1. τα συστήματα σταθερής ποσότητας παραγγελίας (ή συστήματα συνεχούς παρακολούθησης αποθέματος) και
2. τα συστήματα σταθερής περιόδου παραγγελίας (ή συστήματα περιοδικής παρακολούθησης αποθέματος).

Ένα σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας ενεργοποιεί εντολές όταν το απόθεμα φτάσει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Το γεγονός αυτό μπορεί να συμβεί οποιαδήποτε στιγμή ανάλογα με τη ζήτηση για το υλικό αυτό. Εν αντιθέσει, ένα σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας περιορίζεται στην τοποθέτηση εντολών στο τέλος μιας προκαθορισμένης περιόδου. Για τη χρησιμοποίηση ενός συστήματος σταθερής παραγγελίας, το απόθεμα θα πρέπει να ελέγχεται συνέχεια. Το σύστημα αυτό απαιτεί κάθε φορά που προστίθεται ή αφαιρείται κάτι από το απόθεμα, να ανανεώνονται τα σχετικά αρχεία έτσι ώστε να μπορεί να καθοριστεί πότε έχει φτάσει το σημείο για νέα παραγγελία. Στο σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας, καταμετρήσεις του αποθέματος γίνονται μόνο σε περιόδους αναθεωρήσεων. (Jacobs & Chase, 2012)

Η επιλογή της υπό εξέταση επιχείρησης είναι η βελτιστοποίηση της στρατηγικής σταθερής περιόδου παραγγελίας με ορίζοντα ενός έτους. Έτσι για τους σκοπούς αυτής της εργασίας δεν θα εξεταστεί η στρατηγική της οικονομικής ποσότητας παραγγελίας, αλλά η βέλτιστη στρατηγική διαχείρισης αποθέματος για την κάλυψη των ετήσιων αναγκών της επιχείρησης για τους κωδικούς που προσδιορίστηκαν στα παραπάνω βήματα.

3 Εξόρυξη Δεδομένων

Για τους σκοπούς της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την αποθήκη δεδομένων της εταιρίας στην οποία εκπονήθηκε η διπλωματική. Η αποθήκη δεδομένων είναι μια δομημένη βάση δεδομένων που ενοποιεί πρωτογενή δεδομένα από διαφορετικές πηγές και ετερογενή συστήματα εντός της εταιρείας. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τις πληροφορίες που προέρχονται από το σύστημα εντοπισμού σκαφών, το SAP ERP, το AMOS PMS (Planned Maintenance System) και το ειδικό εργαλείο SAP Forwarding Tool. Ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων στη βάση δεδομένων, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση, παράγεται από το προγραμματισμένο σύστημα συντήρησης AMOS, το οποίο επίσης υποστηρίζει ολόκληρο τον procure-to-pay κύκλο ζωής της ζήτησης ανταλλακτικών: από το μέρος απαίτησης (όπου το σκάφος εγείρει την ανάγκη) στο τμήμα παράδοσης (όπου τα αγορασθέντα εμπορεύματα αποστέλλονται στο πλοίο). Αυτός ο κύκλος περιλαμβάνει επίσης τη φάση των τιμών, όπου πολλοί προμηθευτές αναφέρουν τις τιμές και τις προθεσμίες για συγκεκριμένα εξαρτήματα καθώς και τη φάση παραγγελίας όπου, μετά την επιλογή προμηθευτή, η επίσημη παραγγελία αποστέλλεται στον επιλεγμένο κάθε φορά προμηθευτή και αγοράζονται τα εξαρτήματα.

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα στοιχεία των προηγούμενων ετών, πραγματοποιούνται κάθε χρόνο περισσότερες από 16.000 παραγγελίες ανταλλακτικών, που αφορούν περισσότερα από 30.000 διαφορετικά Maker References (που είναι ένας μοναδικός κωδικός που αναφέρεται σε ένα στοιχείο, αποτελεί το πρωτεύων κλειδί των ανταλλακτικών και διαφοροποιεί τις ξεχωριστές οντότητες).

Προκειμένου να δημιουργηθεί το dataset για την υλοποίηση της διπλωματικής, έγινε χρήση της γλώσσας SQL για την εξόρυξη των δεδομένων. Κατά τη διαδικασία αυτή, επιλέχθηκαν τα δεδομένα που αφορούν αγορές ανταλλακτικών τα προηγούμενα 8 έτη τα οποία προορίζονται για τα μηχανοστάσια των πλοίων. Στη συνέχεια απορρίφθηκαν τα δεδομένα που αφορούσαν ακυρωμένες παραγγελίες. Απορρίφθηκαν επίσης αγορές που υπέπιπταν στην κατηγορία CAPEX. Αυτή η κατηγορία αφορά αγορές εξαρτημάτων τα οποία αποτελούν επένδυση για τα πλοία (Capital Expenses). Αυτές οι αγορές δεν απασχολούν την ανάλυση καθώς πραγματοποιούνται μία φορά.

Ορισμένα ανταλλακτικά είναι αναγκαία για την απρόσκοπτη λειτουργία του πλοίου. Προκειμένου να προσδιοριστεί το επίπεδο σημαντικότητας ενός ανταλλακτικού, ορίζεται μία μεταβλητή η οποία ονομάζεται Spot Ratio. Αυτή η μεταβλητή παρουσιάζει το ποσοστό των παραγγελιών στις οποίες το εκάστοτε εξάρτημα παραγγέλθηκε με άμεση προτεραιότητα, και κατά συνέπεια κρίθηκε η απόκτησή του υψηλής σημασίας για τη λειτουργία του πλοίου. Τα ανταλλακτικά με υψηλό Spot Ratio συνήθως συνεπάγονται και υψηλά κόσθη μεταφοράς.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα πεδία που επιλέχθηκαν από τη βάση για κάθε Maker Reference, δηλαδή για κάθε ξεχωριστό εξάρτημα, καθώς και πληροφορίες ως προς το τι αντιπροσωπεύουν.

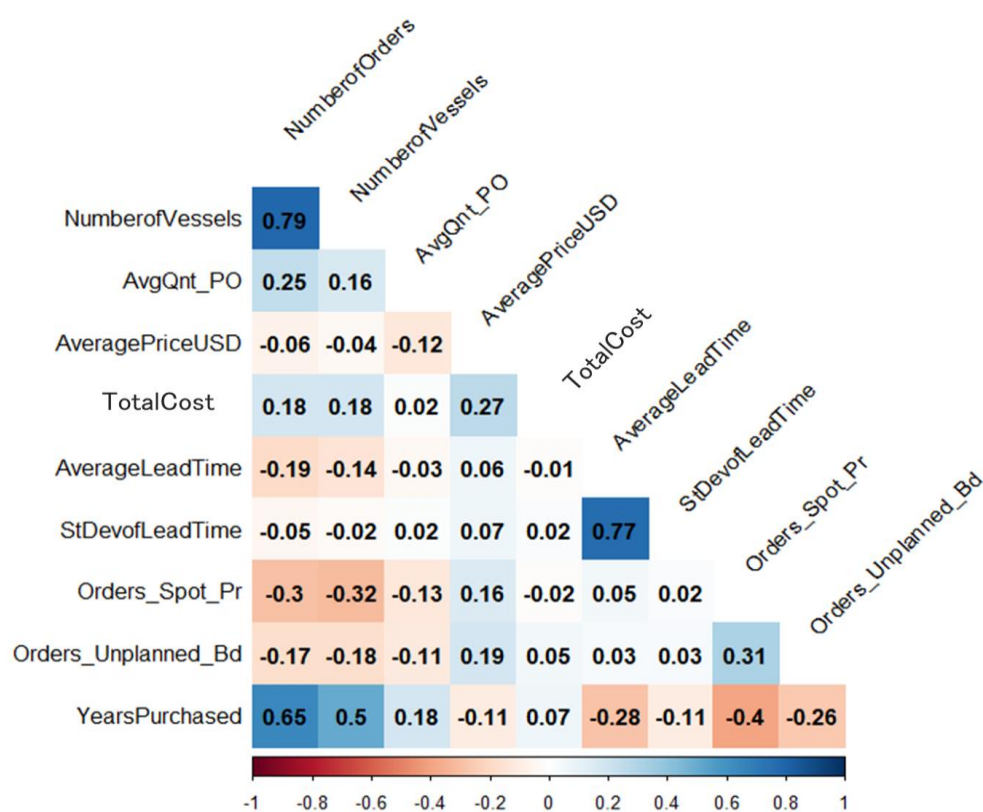
Πίνακας 3-1 Επεξήγηση των πεδίων των διαθέσιμων δεδομένων

Όνομα Πεδίου	Πληροφορίες
Maker Reference	Ο κωδικός του κάθε εξαρτήματος. Κάθε προϊόν έχει έναν μοναδικό ξεχωριστό κωδικό που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα.
Number Of Orders	Ο αριθμός των παραγγελιών που έχουν γίνει στη διάρκεια των 8 ετών της ανάλυσης και περιλαμβάνουν τον εκάστοτε κωδικό.
Number of Vessels	Ο αριθμός των μοναδικών πλοίων με τα οποία είναι συμβατός ο εκάστοτε κωδικός προϊόντος, δηλαδή το κάθε εξάρτημα.
Indicative Components Type Name	Ενδεικτική περιγραφή της ευρύτερης κατηγορίας στην οποία ανήκει το κάθε εξάρτημα (π.χ. PURIFIER, BLOWER, PUMP).
Indicative_Maker_BusinessPartner_Name	Το όνομα του προμηθευτή για το συγκεκριμένο εξάρτημα.
Total_Qnt	Η συνολική ποσότητα που έχει αγοραστεί από το εκάστοτε εξάρτημα.
AveragePriceUSD	Η μέση τιμή αγοράς της μίας μονάδας του κάθε εξαρτήματος.
TotalCost	Το συνολικό κόστος για τις αγορές του κάθε εξαρτήματος. Αυτό προκύπτει από πολλαπλασιασμό του AveragePriceUSD με το Total_Qnt.
AverageLeadTime	Ο μέσος χρόνος περάτωσης των παραγγελιών για το κάθε εξάρτημα.
StDevofLeadTime	Η τυπική απόκλιση των χρόνων περάτωσης για τις παραγγελίες του κάθε εξαρτήματος.
Orders_Spot_Priority ή SpotRatio	Ποσοστό των παραγγελιών κατά τις οποίες ο κωδικός ορίστηκε ως Spot στο πεδίο Priority. Ουσιαστικά προσδιορίζει τις φορές που το προϊόν κρίθηκε ως υψηλής σημασίας για τη λειτουργία του πλοίου.
Orders_Routine_Bd	Ποσοστό των παραγγελιών στις οποίες το προϊόν καταχωρήθηκε στις αγορές ρουτίνας.
YearsPurchased	Έτη κατά τα οποία έχει αγοραστεί το εξάρτημα τουλάχιστον μία φορά.
WeightedLeadTime	Σταθμισμένος μέσος χρόνος περάτωσης. Οι συντελεστές βαρύτητας προκύπτουν από το έτος στο οποίο πραγματοποιήθηκε η παραγγελία, μείον 2000. Έτσι οι πιο πρόσφατες παραγγελίες έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα.
Orders not in DD	Ποσοστό των παραγγελιών του εξαρτήματος, οι οποίες δεν αναφέρονταν σε διαδικασία Dry Dock.

4 Αναγνώριση των πιο σημαντικών κοινών ανταλλακτικών

4.1 Αναγνώριση των κριτηρίων της ανάλυσης

Προκειμένου να προχωρήσουμε στο clustering των δεδομένων για τον προσδιορισμό των common parts, πρέπει πρώτα να πραγματοποιηθεί ανάλυση που αφορά τη συσχέτιση των πεδίων των δεδομένων μεταξύ τους. Η συσχέτιση αυτή παρουσιάζεται γραφικά με τη χρήση του correlation matrix σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R. Η διαδικασία εκκινεί με την εισαγωγή των δεδομένων στην R και στη συνέχεια γίνεται κανονικοποίηση (scaling) των δεδομένων βάσει της κανονικής κατανομής. Η διαδικασία του scaling των δεδομένων χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση του εύρους τιμών των ξεχωριστών μεταβλητών, ώστε αυτές να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Η κανονικοποίηση είναι αναγκαία γιατί οι αλγόριθμοι του clustering χρησιμοποιούν σαν μέτρα εγγύτητας ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ των παρατηρήσεων. Στη συνέχεια για τα κανονικοποιημένα πλέον δεδομένα, προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση.



Εικόνα 4-1 Συσχέτιση μεταξύ των βασικών μεταβλητών του προβλήματος

Παρατηρείται ότι ο αριθμός των παραγγελιών «Number of Orders», παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση με τον αριθμό των πλοίων «Number of Vessels» και τα έτη αγοράς «Years Purchased». Αυτή η συσχέτιση είναι λογική καθώς όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των συμβατών πλοίων με κάποιο εξάρτημα, τόσο περισσότερες θα είναι και οι παραγγελίες για αυτό το εξάρτημα, και όσο περισσότερα χρόνια αγοράζεται ένα εξάρτημα, τόσο θα

αυξάνονται και οι παραγγελίες του. Επίσης υψηλή συσχέτιση παρουσιάζει η τυπική απόκλιση του χρόνου παράδοσης «StDevofLeadTime» με τη μέση τιμή του χρόνου παράδοσης «Average Lead Time». Έτσι οι μεταβλητές «Number of Orders» και «StDevofLeadTime» δεν θα χρησιμοποιηθούν κατά το Clustering καθώς η υψηλή τους συσχέτιση με τις υπόλοιπες μεταβλητές μπορεί να αποπροσανατολίσει τους αλγορίθμους.

Τα δεδομένα για τις αγορές ανταλλακτικών των προηγούμενων ετών από τη βάση της εταιρίας αφορούν 19.292 ξεχωριστούς κωδικούς εξαρτημάτων. Αυτός ο όγκος δεδομένων είναι πολύ μεγάλος για να αναλυθεί αποτελεσματικά και η μείωση των παρατηρήσεων κρίνεται επιτακτική. Επιλέγονται επομένως περιορισμοί οι οποίοι θα μειώσουν τον όγκο των δεδομένων, χωρίς να αφαιρέσουν παρατηρήσεις χρήσιμες για τη μετέπειτα ανάλυση. Ο αριθμός των πλοίων δύναται να τεθεί μεγαλύτερος του 1 (Number of Vessels >1), εφόσον η ανάλυση προσανατολίζεται μόνο στα common parts τα οποία είναι συμβατά με περισσότερα του ενός πλοία. Ο μέσος χρόνος παράδοσης μπορεί να τεθεί μεγαλύτερος από 10 ημέρες (Average Lead Time >10), θεωρώντας ότι εξαρτήματα με μικρότερο χρόνο παράδοσης από 10 ημέρες δεν υπάρχει λόγος να κρατηθούν σε απόθεμα. Επίσης τίθεται Spot Ratio > 0% ώστε να αφαιρεθούν οι κωδικοί που παρουσιάζονται μόνο σε παραγγελίες ρουτίνας και συνεπώς δεν συνδέονται με αυξημένα κόστη προμήθειας. Με τους παραπάνω περιορισμούς το σύνολο των κωδικών υπό εξέταση μειώνεται σε 4.708.

4.2 Clustering (Συσταδοποίηση) των δεδομένων

Όπως έχει γίνει σαφές και παραπάνω, υπάρχουν εξαρτήματα τα οποία κρίνονται υψηλής σημασίας για τη λειτουργία του στόλου. Ωστόσο οι ανάγκες που υπάρχουν για αυτά από κάθε πλοίο μεμονωμένα δεν είναι αρκετές για να υποστηρίξουν την τήρηση αποθέματος. Έτσι αναζητούνται εξαρτήματα τα οποία είναι συμβατά με περισσότερα από ένα πλοία, προκειμένου η ανάγκη απόκτησής τους να είναι τέτοια που να υποστηρίζει την τήρηση αποθέματος. Αυτά τα ανταλλακτικά τα ονομάζονται common parts και η ανάλυση που ακολουθεί αποσκοπεί στον προσδιορισμό τους.

Προκειμένου να προσδιοριστούν τα πιο σημαντικά common parts, η ανάλυση βασίζεται σε τέσσερεις μεταβλητές. Αυτές είναι ο Μέσος Χρόνος Παράδοσης (Average Lead Time), η σημαντικότητα (Spot Ratio), τα χρόνια αγοράς (Years Purchased) και ο αριθμός των συμβατών πλοίων (Number of Vessels).

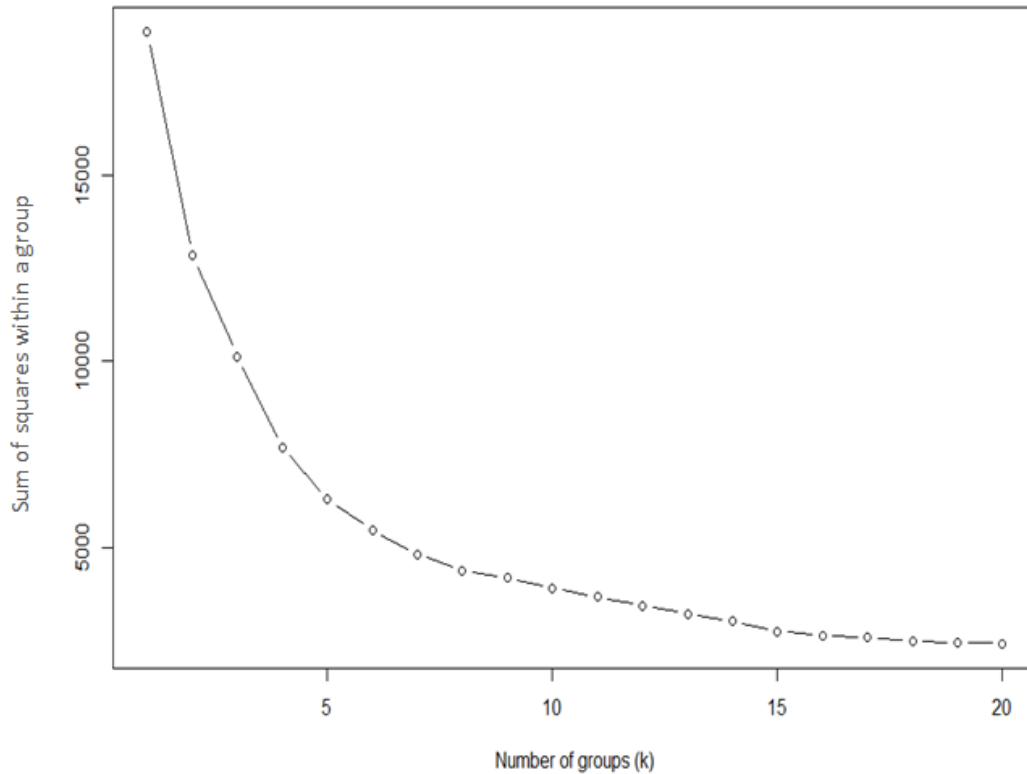
Η διαδικασία της συσταδοποίησης (clustering) χρησιμοποιείται με σκοπό να δημιουργηθούν ομάδες δεδομένων με κοινά χαρακτηριστικά ως προς τις παραπάνω μεταβλητές. Στόχος της ανάλυσης είναι μέσω αυτής της διαδικασίας να εντοπιστούν συγκεκριμένα εξαρτήματα τα οποία παρουσιάζουν υψηλές τιμές στις μεταβλητές, σύμφωνα με τις οποίες γίνεται η συσταδοποίηση. Αυτά θα αποτελούν και τα πιο σημαντικά common parts, τα οποία ζητούνται.

4.2.1 K-means

Βασική προϋπόθεση για την επιτυχημένη λειτουργία του αλγορίθμου k-means, είναι η κατάλληλη επιλογή του αριθμού των κέντρων των clusters. Προκειμένου να βρεθεί ο κατάλληλος αριθμός για τα κέντρα, χρησιμοποιείται η συνάρτηση wssplot σε περιβάλλον

γλώσσας προγραμματισμού R. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει τα τετράγωνα των αποκλίσεων των παρατηρήσεων από τα κέντρα των clusters ανάλογα με τον αριθμό των κέντρων. Όσο μικρότερο είναι το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων, τόσο μεγαλύτερη ομοιογένεια παρουσιάζουν τα clusters. (Hartigan & Wong, 1979)

Σύμφωνα με τη συνάρτηση wssplot, προκύπτει το διάγραμμα.



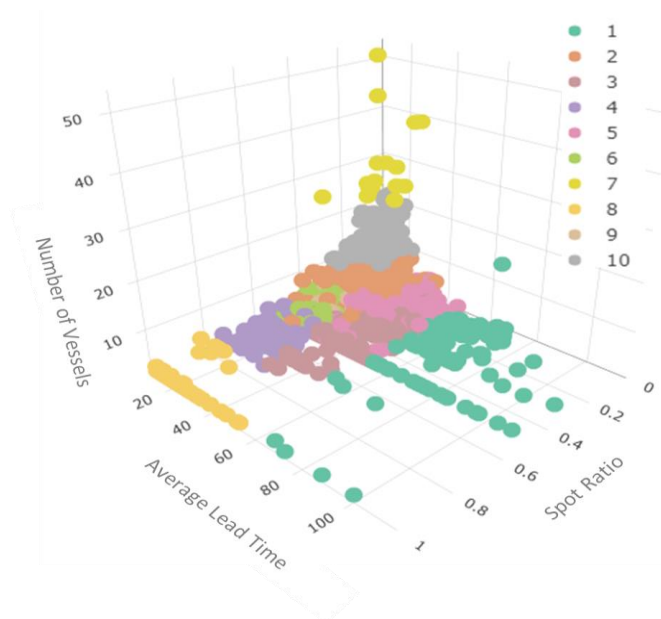
Εικόνα 4-2 Εύρεση του βέλτιστου αριθμού κέντρων για τον αλγόριθμο k-means

Η βέλτιστη επιλογή για τα κέντρα του k-means, είναι στο σημείο που η καμπύλη σταματά την απότομη κλίση. Στην περίπτωση του διαγράμματος αυτό συμβαίνει για $k=10$, συνεπώς επιλέγονται 10 κέντρα για τα clusters του k-means. Η επιλογή μεγαλύτερου αριθμού κέντρων θα οδηγούσε σε αύξηση του συνολικού αριθμού των clusters χωρίς σημαντική αύξηση στην ομοιογένειά τους, όπως μπορεί να γίνει κατανοητό από το διάγραμμα. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Πίνακας 4-1 Αποτελέσματα αλγορίθμου k-means

Cluster	Number of Vessels	Average Lead Time	Spot Ratio	Years Purchased	Observations
1	2,76	69,99	33%	2,53	139
2	6,75	16,62	15%	6,03	525
3	2,33	37,30	40%	1,93	475
4	2,19	16,95	54%	2,11	785
5	3,51	32,50	19%	3,96	385
6	3,27	16,17	23%	4,54	897
7	31,31	20,38	13%	6,00	16
8	2,18	20,33	99%	1,54	188
9	2,68	17,30	28%	2,57	1133
10	14,54	16,96	13%	6,87	165

Επιπροσθέτως, η γραφική απεικόνιση των clusters που δημιουργήθηκαν σε τρισδιάστατο χώρο φαίνεται παρακάτω, όπου κάθε σφαίρα αντιστοιχεί σε μία παρατήρηση. Τα clusters απεικονίζονται με χρωματική κωδικοποίηση.



Εικόνα 4-3 Γραφική απεικόνιση των clusters (k-means)

Τα παραπάνω clusters δεν ικανοποιούν τα ζητούμενα της ανάλυσης. Όπως γίνεται εμφανές από τον πίνακα των χαρακτηριστικών των clusters, δεν υπάρχει κάποια ομάδα δεδομένων που να παρουσιάζει ικανοποιητικές (υψηλές) τιμές σε όλες τις ζητούμενες μεταβλητές. Έτσι η ανάλυση συνεχίζεται με άλλο αλγόριθμο, καθώς όπως έχει αναφερθεί, η αποτελεσματικότητα του κάθε αλγορίθμου εξαρτάται τόσο από τη μορφή των δεδομένων όσο και από τις απαιτήσεις της ανάλυσης.

4.2.2 DBSCAN

Η επιτυχημένη εφαρμογή του αλγορίθμου dbscan προϋποθέτει τον ορισμό των δύο βασικών παραμέτρων minPts και eps από τον μελετητή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Έχοντας καταλήξει στις μεταβλητές της συσταδοποίησης Μέσος Χρόνος Παράδοσης

(Average Lead Time), η σημαντικότητα (Spot Ratio), τα χρόνια αγοράς (Years Purchased) και ο αριθμός των συμβατών πλοίων (Number of Vessels), όπως υποδεικνύεται από τη βιβλιογραφία θα είναι:

$$\text{minPts} \geq D+1 ,$$

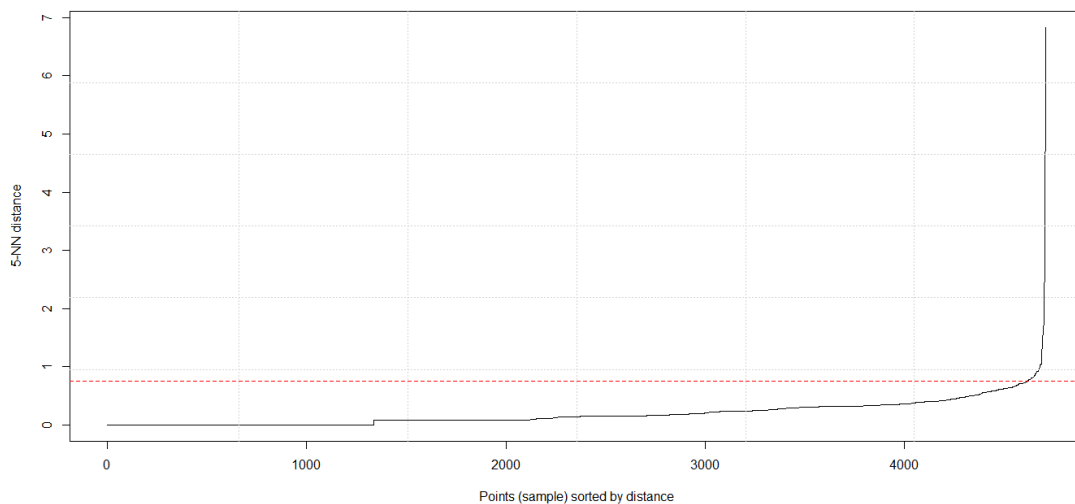
όπου D η διάσταση του εκάστοτε προβλήματος.

Στην περίπτωση που μελετάται, η διάσταση του προβλήματος είναι D=4 (ο αριθμός των μεταβλητών με βάση τις οποίες γίνεται η συσταδοποίηση).

Επομένως είναι:

$$\text{minPts}=5.$$

Επόμενο βήμα αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου eps (ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων ώστε αυτά να μπορούν να θεωρηθούν γειτονικά). Για τον προσδιορισμό του eps χρησιμοποιείται η συνάρτηση kNNdistplot σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R.



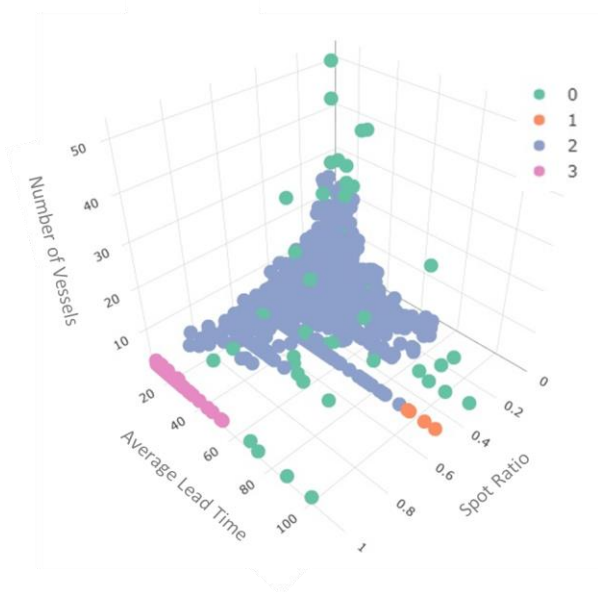
Εικόνα 4-4 Εύρεση του κατάλληλου eps για τον αλγόριθμο dbscan

Η κατάλληλη τιμή για το eps βρίσκεται στο σημείο όπου η καμπύλη του διαγράμματος κάνει «αγκώνα». Στη συγκεκριμένη περίπτωση προκύπτει ότι eps=0.75 σύμφωνα με το διάγραμμα.

Πίνακας 4-2 Αποτελέσματα αλγορίθμου dbscan

Cluster	Number of Vessels	Average Lead Time	Spot Ratio	Years Purchased	Observations
0	12,01	35,75	29%	4,25	48
1	2,00	100,50	50%	2,00	8
2	2,00	77,14	50%	1,00	4473
3	3,59	21,38	30%	3,50	179

Επιπροσθέτως, η γραφική απεικόνιση των clusters που δημιουργήθηκαν σε τρισδιάστατο χώρο φαίνεται παρακάτω, όπου κάθε σφαίρα αντιστοιχεί σε μία παρατήρηση. Τα clusters απεικονίζονται με χρωματική κωδικοποίηση.



Εικόνα 4-5 Γραφική απεικόνιση των clusters (dbscan)

Από των πίνακα που παρουσιάζονται τα στοιχεία των clusters, γίνεται σαφές ότι τα clusters 1,2 και 3 δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις που τέθηκαν προηγουμένως. Δεν παρουσιάζουν δηλαδή υψηλές τιμές σε όλες τις μεταβλητές κατά μέσο όρο. Η πιο πολλά υποσχόμενη ομάδα δεδομένων είναι το cluster 0, το οποίο παρουσιάζει ικανοποιητικές τιμές και στις 4 μεταβλητές που μελετώνται. Ωστόσο, με εκτενέστερη ανάλυση των 48 παρατηρήσεων από τις οποίες αποτελείται αυτό το cluster, προκύπτει ότι ο μέσος αριθμός παραγγελιών ανά έτος κρίνεται μικρός για την τήρηση αποθέματος από την εταιρία που παρέχει τα δεδομένα. Επομένως απορρίπτεται αυτή η προσέγγιση.

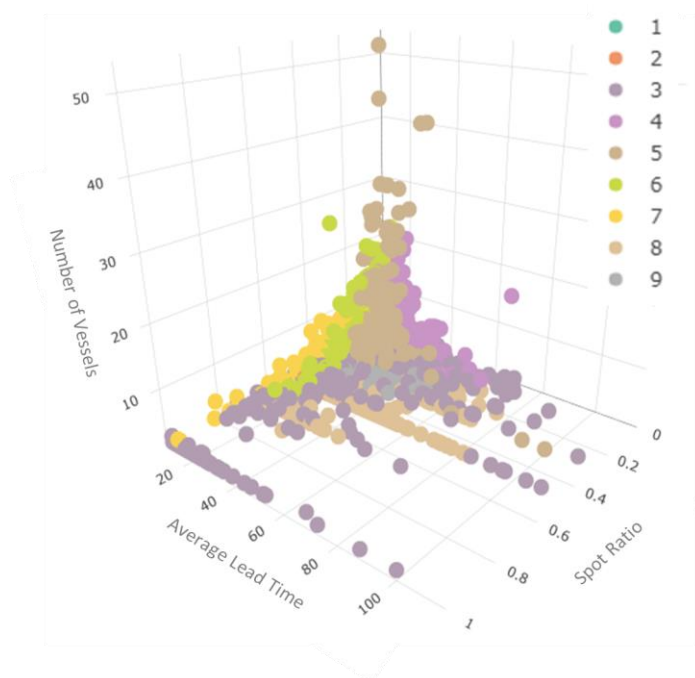
4.2.3 Expectation Maximization

Για την εφαρμογή του αλγορίθμου EM Clustering χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση mclust σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R. Τα αποτελέσματα του clustering παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-3 Αποτελέσματα αλγορίθμου EM

Cluster	Number of Vessels	Average Lead Time	Spot Ratio	YearsPurchased	Observations
1	2,59	20,68	26%	3,00	775
2	2,00	14,22	50%	2,00	292
3	2,30	21,52	45%	3,69	796
4	2,00	26,60	50%	1,56	369
5	2,29	21,26	31%	2,00	463
6	3,58	38,61	33%	3,04	570
7	5,61	13,30	18%	5,06	802
8	8,19	21,87	13%	5,29	540
9	2,00	15,67	100%	1,33	101

Επιπροσθέτως, η γραφική απεικόνιση των clusters που δημιουργήθηκαν σε τρισδιάστατο χώρο φαίνεται παρακάτω, όπου κάθε σφαίρα αντιστοιχεί σε μία παρατήρηση. Τα clusters απεικονίζονται με χρωματική κωδικοποίηση.



Εικόνα 4-6 Γραφική απεικόνιση των clusters (Expectation Maximization)

Τα παραπάνω clusters δεν ικανοποιούν τα ζητούμενα της ανάλυσης. Όπως γίνεται εμφανές από τον πίνακα των χαρακτηριστικών των clusters, δεν υπάρχει κάποια ομάδα δεδομένων που να παρουσιάζει ικανοποιητικές (υψηλές) τιμές σε όλες τις ζητούμενες μεταβλητές. Άρα ο αλγόριθμος έχει αποτύχει να απομονώσει τις παρατηρήσεις που αναζητά η ανάλυση, ενώ έχει δημιουργήσει clusters με υψηλές τιμές σε κάποιες από τις μεταβλητές και όχι σε όλες. Επομένως απορρίπτεται αυτή η προσέγγιση.

Συνεπώς οι τρεις προσεγγίσεις για το clustering των διαθέσιμων δεδομένων δεν οδήγησαν σε κάποιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Εφόσον χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικοί αλγόριθμοι, η αποτυχία εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων δεν μπορεί να αποδοθεί στη λειτουργία των αλγορίθμων, αλλά στα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν ως βασικά κριτήρια της ανάλυσης. Έτσι κρίνεται αναγκαία η αναθεώρηση των βασικών μεταβλητών του προβλήματος βάσει της γνώσης που αποκομίσαμε από την παραπάνω διαδικασία.

4.3 Αναθεώρηση των βασικών μεταβλητών

Όπως γίνεται σαφές από την ανάλυση που προηγήθηκε, οι αλγόριθμοι δεν κατάφεραν να απομονώσουν τα ζητούμενα στοιχεία. Απαιτείται λοιπόν αναθεώρηση των μεταβλητών προκειμένου να κατευθυνθούν καλύτερα οι αλγόριθμοι και να οδηγηθεί η ανάλυση στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Προκειμένου να ελαττωθεί ο αριθμός των συνολικών παρατηρήσεων, καθοδηγούμενοι από τα στοιχεία των απορριπτέων προσεγγίσεων που προηγήθηκαν, θέτουμε Weighted Lead

Time > 20 μέρες, Number of Vessels >2 και Orders not in DD >0,25. Η τελευταία μεταβλητή θα αποβάλει εξαρτήματα τα οποία αγοράζονται κυρίως σε διαδικασίες dry docking τα οποία δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τις ανάγκες αυτής της διπλωματικής. Η ανάγκη για αυτά τα εξαρτήματα είναι συνήθως γνωστή, αρκετά πριν το dry dock και δεν ωφελεί η τήρηση αποθέματος αυτών. Η επιλογή του αριθμού των πλοίων (Number of Vessels >2) τίθεται καθώς παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν κωδικοί συμβατοί με αρκετά υψηλότερο αριθμό πλοίων, ενώ οι κωδικοί που είναι συμβατοί με 2 πλοία αντιστοιχούν στο 65% των αρχικών παρατηρήσεων (12.440 κωδικοί σε σύνολο 19.293). Κρίνεται λοιπόν, ότι αυτοί οι κωδικοί επιβαρύνουν την ανάλυση λόγω μεγάλου όγκου δεδομένων, ενώ δεν μπορούν να θεωρηθούν σημαντικά common parts εφόσον υπάρχουν κωδικοί συμβατοί με σημαντικά περισσότερα πλοία, τους οποίους επιδιώκει η ανάλυση να απομονώσει σε συνεργασία με τα υπόλοιπα κριτήρια. Επιπλέον, όσων αφορά στο χρόνο παράδοσης, σημειώνεται ότι το 48,2% των κωδικών παρουσιάζει Weighted Lead Time > 15 μέρες. Κρίνεται λοιπόν σκόπιμη η αναζήτηση των common parts σε αυτούς τους κωδικούς καθώς έχουν ικανοποιητικό πλήθος (9.303 κωδικοί από τους 19.293), και υψηλό μέσο χρόνο παράδοσης που ικανοποιεί τις απαιτήσεις της ανάλυσης. Εφαρμόζοντας λοιπόν τους παραπάνω περιορισμούς στο σύνολο των δεδομένων, σε συνδυασμό με τον περιορισμό Spot Ratio > 0% για τους λόγους που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, οι κωδικοί στους οποίους θα εφαρμοστεί το clustering είναι πλέον 1.489.

Όπως φάνηκε από την ανάλυση που προηγήθηκε, οι αλγόριθμοι μπορεί να οδηγήσουν σε φαινομενικά ικανοποιητικό αποτέλεσμα, το οποίο όμως πάσχει στον αριθμό των παραγγελιών. Όπως ακριβώς συνέβη με το cluster 0 του dbscan. Επομένως, παρά την υψηλή συσχέτιση που βρέθηκε μεταξύ του αριθμού παραγγελιών, ετών αγοράς και αριθμού πλοίων, κρίνεται σκόπιμη η προσθήκη της μεταβλητής Number of Orders per Year (μέσος αριθμός παραγγελιών ανά έτος) για το κάθε εξάρτημα.

Οι μεταβλητές που επιλέγονται για το νέο clustering είναι οι Σταθμισμένος Μέσος Χρόνος Παράδοσης (Weighted Lead Time), σημαντικότητα (Spot Ratio), μέσος αριθμός παραγγελιών ανά έτος (Number of Orders per Year), ο αριθμός των συμβατών πλοίων (Number of Vessels) και το ποσοστό παραγγελιών που δεν αναφέρονταν σε dry dock (Orders not in DD).

4.4 Αλγόριθμος DBSCAN βάσει των νέων μεταβλητών

Με βάση τις προαναφερθείσες πέντε μεταβλητές τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα προκύπτουν από τον αλγόριθμο dbscan. Πιο συγκεκριμένα, όπως υποδεικνύεται από τη βιβλιογραφία θα είναι:

$$\text{minPts} \geq D+1 ,$$

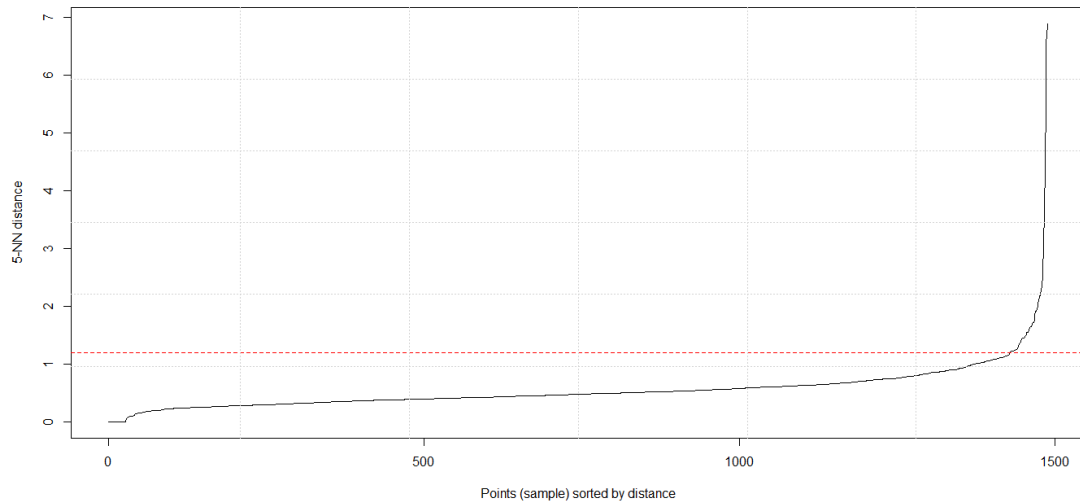
όπου D η διάσταση του εκάστοτε προβλήματος.

Στην περίπτωση που μελετάται, η διάσταση του προβλήματος είναι D=5 (ο αριθμός των μεταβλητών με βάση τις οποίες γίνεται η συσταδοποίηση).

Επομένως είναι:

$$\text{minPts}=6.$$

Επόμενο βήμα αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου ϵ rs (ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων ώστε αυτά να μπορούν να θεωρηθούν γειτονικά). Για τον προσδιορισμό του ϵ rs χρησιμοποιείται η συνάρτηση kNNdistplot σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R.

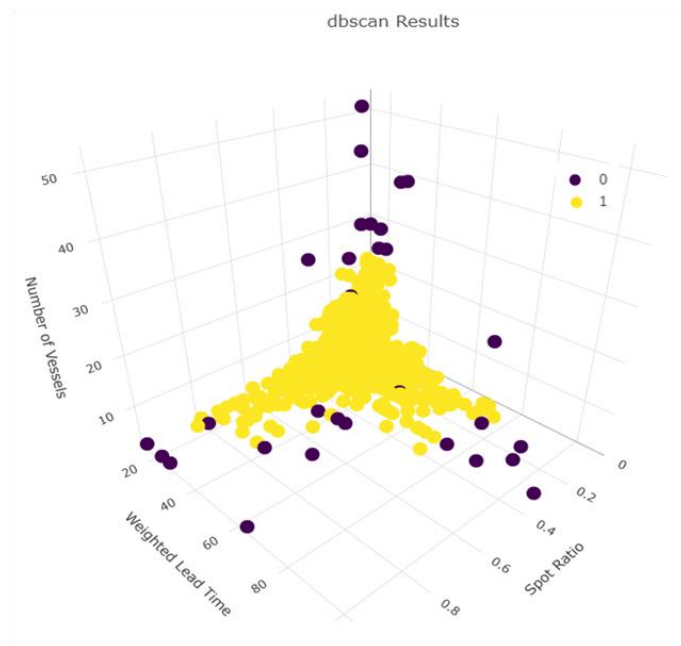


Εικόνα 4-7 Επιλογή του κατάλληλου ϵ rs για τον αλγόριθμο dbscan

Η κατάλληλη τιμή για το ϵ rs βρίσκεται στο σημείο όπου η καμπύλη του διαγράμματος κάνει «αγκώνα». Στη συγκεκριμένη περίπτωση προκύπτει ϵ rs=1.2 σύμφωνα με το διάγραμμα. Έτσι ο dbscan δημιουργεί δύο clusters:

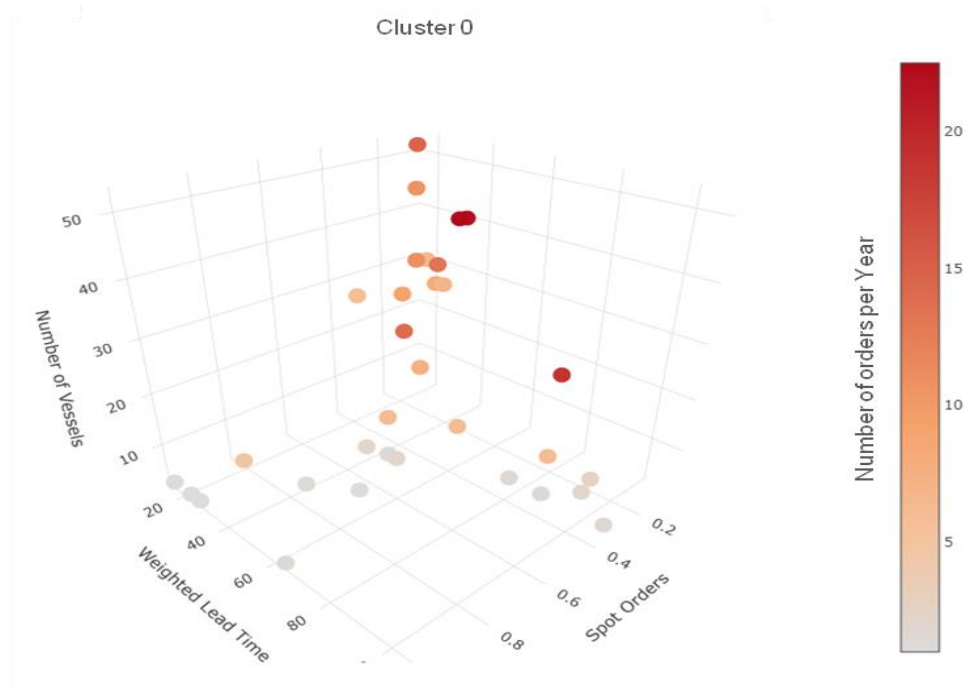
Πίνακας 4-4 Αποτελέσματα αλγορίθμου dbscan βάσει των νέων μεταβλητών

cluster	Number of Vessels	Weighted Lead Time	Spot Ratio	Orders per Year	Orders not in DD	Observations
0	14,5	52,8	38%	6,6	86%	33
1	5,2	24,1	22%	2,3	76%	1456



Εικόνα 4-8 Γραφική απεικόνιση των clusters (dbscan)

Το cluster 0 του dbscan έχει ικανοποιητικές τιμές σε όλες τις μεταβλητές της ανάλυσης, γεγονός που το καθιστά βέλτιστο για τις απαιτήσεις της αναζήτησης των πιο σημαντικών κοινών ανταλλακτικών.



Εικόνα 4-9 Γραφική απεικόνιση του cluster 0 του dbscan

Οι 33 κωδικοί του cluster 0 του dbscan υπόκεινται σε περαιτέρω ανάλυση. Από αυτούς αφαιρούνται όσοι δεν ικανοποιούν τα εξής κριτήρια:

- Περιοδικότητα στη ζήτηση (κωδικοί που έχουν αγοραστεί μία φορά για κάθε πλοίο απορρίπτονται, καθώς δεν θα ήταν λογικό να διατηρηθεί απόθεμα από τη στιγμή που η ζήτηση δεν είναι επαναλαμβανόμενη)
- Μηδενικές αγορές τα τελευταία δύο έτη
- Μικρός αριθμός παραγγελιών (δεν εμφανίζουν επαρκή ζήτηση ώστε να τηρηθούν σε απόθεμα)

Έτσι αφαιρούνται από τα παραπάνω αποτελέσματα 14 κωδικοί. Επομένως το τελικό σύνολο των δεδομένων, αποτελείται από 19 κωδικούς ανταλλακτικών, οι οποίοι αποτελούν τα πιο σημαντικά κοινά ανταλλακτικά (common spares), για το στόλο της εταιρίας, όπως προέκυψε από την ανάλυση που προηγήθηκε. Ωστόσο από αυτούς αφαιρούνται άλλοι 5 που ανήκουν σε συγκεκριμένο κατασκευαστή για επιχειρησιακούς λόγους οι οποίοι δεν αναφέρονται λόγω προστασίας των δεδομένων της ναυτιλιακής επιχείρησης. Άρα το τελικό σύνολο των κοινών ανταλλακτικών αποτελείται από 14 κωδικούς.

Τα χαρακτηριστικά των common spares που εντοπίστηκαν είναι τα εξής:

Πίνακας 4-5 Κοινά Ανταλλακτικά (common spares) μέσες τιμές

Κοινά Ανταλλακτικά (common spares)	
Αριθμός παραγγελιών	39,7
Αριθμός πλοίων	10,7
Συνολική Ποσότητα Παραγγελίας	539,5
Μέση τιμή αγοράς (\$)	\$208,23
Μέσος χρόνος παράδοσης	29,1
Ποσοστό αναγκαιότητας	36%

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά το σύνολο των ανταλλακτικών που εντοπίστηκαν με τις αντίστοιχες τιμές στα διάφορα πεδία. Για λόγους προστασίας δεδομένων οι κωδικοί των ανταλλακτικών δεν αποκαλύπτονται αλλά χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση Maker Reference (number).

Πίνακας 4-6 Κοινά ανταλλακτικά

Κωδικός ανταλλακτικού	Ανταλλακτικό	Εξάρτημα	Κατασκευαστής	Αριθμός παραγγελιών	Συνολική Ποσότητα Παραγγελίας	Μέση τιμή αγοράς (\$)	Μέσος χρόνος παράδοσης	Αριθμός πλοίων	Ποσοστό αναπαιό-τητας
Maker Reference 1	BOTTOM PIECE	EXHAUST VALVE	DOOSAN-MAN B&W	18	36	\$1.262,19	47	3	33%
Maker Reference 2	INDUCTIVE SENSOR	EX.VALVE ACTUATOR	DOOSAN-MAN B&W	12	23	\$ 1.179,59	76	3	25%
Maker Reference 3	TURBINE NOZZLE RING	TURBOCHARGER	STX-MAN B&W	68	134	\$625,13	16	21	31%
Maker Reference 4	SLEEVE	PUMP	SHINKO IND. LTD.	16	19	\$140,81	32	8	38%
Maker Reference 5	ATOMIZER	FUEL INJ.VALVE	HYUNDAI-MAN B&W	114	1119	\$114,28	17	16	25%
Maker Reference 6	ATOMIZER	FUEL INJ.VALVE	HYUNDAI-MAN B&W	54	547	\$113,09	16	6	20%
Maker Reference 7	SCRAPER RING	PISTON RINGS	HYUNDAI-MAN B&W	43	298	\$53,23	25	15	42%
Maker Reference 8	VALVE SEAT RING	DIESEL GENERATOR	HYUNDAI-MAN B&W	47	515	\$11,12	19	13	38%
Maker Reference 9	WASHER	PUMP	SHINKO IND. LTD.	9	12	\$4,29	36	7	44%
Maker Reference 10	SEALING RING	DIESEL GENERATOR	HYUNDAI-MAN B&W	90	927	\$3,53	20	16	31%
Maker Reference 11	GASKET	EX.GAS MANIFOLD	HYUNDAI-MAN B&W	24	244	\$2,80	24	14	42%
Maker Reference 12	GASKET	EX.GAS MANIFOLD	HYUNDAI-MAN B&W	60	744	\$2,66	21	15	33%
Maker Reference 13	O-RING	FUEL INJ.VALVE	HYUNDAI-MAN B&W	94	3896	\$0,75	18	16	26%
Maker Reference 14	O-RING	ENGINE FRAME	HYUNDAI-MAN B&W	23	635	\$0,33	23	14	30%

5 Πρόγνωση Ζήτησης

Έχοντας εντοπίσει τους 14 κωδικούς των κοινών ανταλλακτικών στα παραπάνω βήματα, προκειμένου να προσδιοριστεί η βέλτιστη στρατηγική αναπλήρωσης που θα ελαχιστοποιεί το κόστος, πρέπει να πραγματοποιηθεί πρόγνωση της ζήτησης των ανταλλακτικών για το επόμενο έτος. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, η επιλογή της υπό εξέταση επιχείρησης είναι η ετήσια αναπλήρωση του αποθέματος. Επομένως η πρόγνωση θα προσανατολιστεί στον προσδιορισμό της ετήσιας ζητούμενης ποσότητας για τον κάθε κωδικό.

Το αντικείμενο της μελέτης είναι η ζήτηση κοινών ανταλλακτικών, συμβατών με ένα σύνολο πλοίων. Το γεγονός αυτό, προσφέρει δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για την πρόγνωση της ζήτησής τους, όπως αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Η πρώτη προσέγγιση, είναι η πρόγνωση της συνολικής ποσότητας που θα ζητηθεί το επόμενο έτος για κάθε κωδικό. Η προσέγγιση αυτή συνεπάγεται έναν παράγοντα αβεβαιότητας, το σφάλμα της πρόγνωσης, ενώ τα μοτίβα της ζήτησης παρουσιάζουν υψηλές διακυμάνσεις γεγονός που καθιστά μία αποτελεσματική πρόγνωση δύσκολη. Ενδεικτικά στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα στοιχεία της ετήσιας ζήτησης ενός εκ των κωδικών που έχουν προσδιοριστεί παραπάνω (Maker Reference 5).



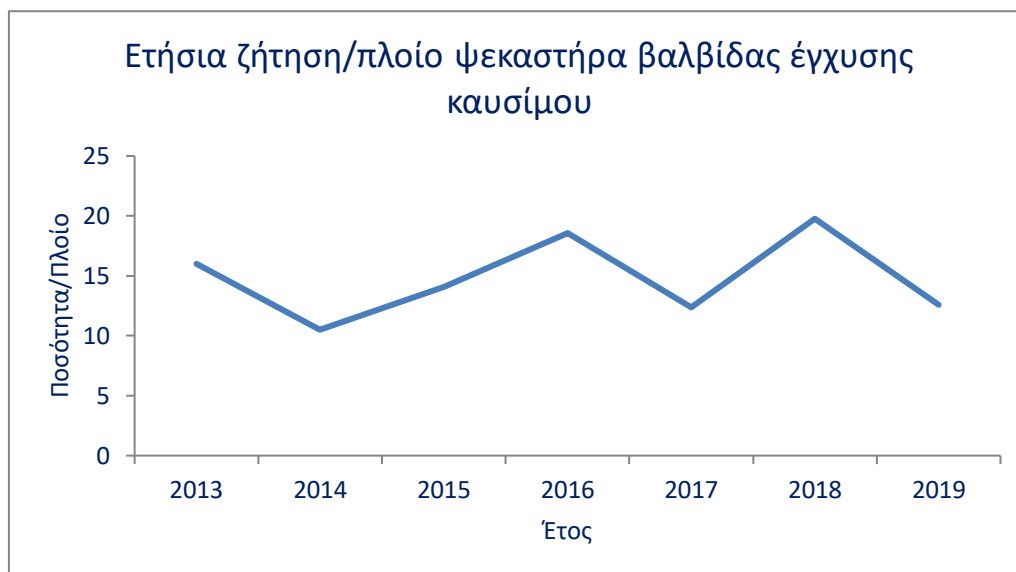
Εικόνα 5-1 Ετήσια ζήτηση ψεκαστήρα βαλβίδας έγχυσης καυσίμου

Η δεύτερη προσέγγιση, είναι η πρόγνωση της ποσότητας που θα ζητήσει μεμονωμένα το κάθε πλοίο που θα εγείρει ανάγκη για το κάθε εξάρτημα. Σαν δεδομένα στη χρονοσειρά δηλαδή δεν είναι η συνολική ποσότητα, αλλά ετησίως ο λόγος: $\frac{\text{Συνολική Ποσότητα κωδικού}}{\text{Αριθμός πλοίων}}$. Ο αριθμός πλοίων αναφέρεται στα πλοία τα οποία εγείραν την ανάγκη για το συγκεκριμένο ανταλλακτικό το εκάστοτε έτος. Έτσι μπορεί να υπολογιστεί πρόγνωση για την ποσότητα του κάθε ανταλλακτικού που θα χρειαστεί το κάθε πλοίο μεμονωμένα και μόνο για τα πλοία τα οποία θα εγείρουν την ανάγκη για αυτό το ανταλλακτικό. Η προσέγγιση αυτή συνεπάγεται δύο παράγοντες αβεβαιότητας:

- Το σφάλμα της πρόβλεψης

- Τον αριθμό των πλοίων τα οποία θα εγείρουν την ανάγκη για το εκάστοτε ανταλλακτικό ο οποίος πρέπει να πολλαπλασιαστεί με την ποσότητα της πρόγνωσης για να προσδιοριστεί η συνολική ποσότητα που θα απαιτηθεί το επόμενο έτος.

Ωστόσο ακολουθώντας αυτή την προσέγγιση, τα μοτίβα των χρονοσειρών παρουσιάζουν ελαφρύτερες διακυμάνσεις γεγονός που καθιστά ευκολότερο τον προσδιορισμό μιας αποτελεσματικής πρόγνωσης. Ενδεικτικά στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα στοιχεία για την ετήσια ζήτηση ανά πλοίο, του κωδικού που αναφέρθηκε παραπάνω (Maker Reference 5).



Εικόνα 5-2 Ετήσια ζήτηση/πλοίο ψεκαστήρα βαλβίδας έγχυσης καυσίμου

Όπως γίνεται σαφές τα μοτίβα της ποσότητας/πλοίο παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερες διακυμάνσεις από αυτά της συνολικής ποσότητας, καθιστώντας έτσι ευκολότερη μία αξιόπιστη πρόβλεψη. Σημειώνεται σε αυτό το σημείο ότι όπου είναι δυνατή η πρόγνωση της συνολικής ποσότητας με ικανοποιητικό σφάλμα πρόγνωσης, επιλέγεται αυτή η προσέγγιση ώστε να αποφευχθεί η εισαγωγή του δεύτερου παράγοντα αβεβαιότητας, που συνεπάγεται η προσέγγιση της ποσότητας/πλοίο.

Για την πρόγνωση της ζήτησης χρησιμοποιήθηκαν οι 5 μέθοδοι που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3 (Κινούμενος Μ.Ο., Εκθετική Εξομάλυνση, Croston's, Syntetos-Boylan Approximation, Teunter-Syntetos-Babai). Ενώ σαν κριτήριο για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου και της κατάλληλης προσέγγισης χρησιμοποιήθηκε το Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα (MAPE), των τριών τελευταίων ετών.

Για την εύρεση του βέλτιστου συντελεστή α , για την εκθετική εξομάλυνση, χρησιμοποιήθηκε ένα εργαλείο της επιχειρησιακής έρευνας, ο επιλύτης (Solver) του MS Excel. Ο Solver είναι ένα χρήσιμο εργαλείο του Excel το οποίο βοηθάει στην κατασκευή μοντέλων αριθμητικής επίλυσης προβλημάτων για την εύρεση την καλύτερης λύσης. Σχεδιάστηκε με σκοπό να ικανοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι προσδοκίες του

χρήστη σε ότι αφορά τους υπολογισμούς με λογιστικό φύλλο. Χρησιμοποιείται για την επίλυση γραμμικών και μη γραμμικών προβλημάτων. (Μπουντούρης, 2014)

Στη συγκεκριμένη εργασία, όπου χρησιμοποιήθηκε ο Solver του Excel τα ορίσματά του ήταν τα εξής:

- Μεταβλητή απόφασης είναι η τιμή της παραμέτρου α η οποία επηρέαζε τα αποτελέσματα της πρόγνωσης ζήτησης, βάσει της απλής εκθετικής εξομάλυνσης που παρουσιάστηκε αναλυτικά στην παραπάνω ενότητα
- Αντικειμενική συνάρτηση είναι η τιμή του Μέσου Απολύτου Ποσοστιαίου Σφάλματος (MAPE). Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του MAPE.
- Μοναδικός περιορισμός αποτελεί η τιμή της παραμέτρου α για την οποία ισχύει:
 $0 < \alpha < 1$.

Με αυτή τη διαδικασία, επιλέγεται σε κάθε περίπτωση η βέλτιστη τιμή για το συντελεστή α , ανάλογα με τη φύση των δεδομένων.

Οι τεχνικές της πρόγνωσης που χρησιμοποιήθηκαν δεν αποδίδουν πάντα ακέραιο αποτέλεσμα. Επειδή το αντικείμενο της πρόγνωσης είναι ανταλλακτικά εξαρτήματα, πρέπει να στρογγυλοποιηθεί η ποσότητα της πρόγνωσης σε ακέραιο αριθμό ανταλλακτικών. Για αυτό το λόγο υπολογίζεται ο δείκτης NFM (Normalized Forecast Metric), ο οποίος αποδίδει τη μεροληψία (bias) της πρόβλεψης. Αποτελεί έτσι έναν πολύ χρήσιμο δείκτη που υποδεικνύει την κατεύθυνση προς την οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί η στρογγυλοποίηση της προβλεπόμενης ποσότητας. Η σχέση υπολογισμού είναι η εξής:

$$NFM = \frac{Zήτηση - Πρόγνωση}{Zήτηση + Πρόγνωση}$$

Όπως μπορεί να γίνει κατανοητό, η τιμή του δείκτη κινείται μεταξύ -1 και 1, με το 0 να υποδεικνύει την απώλεια bias. Επαναλαμβανόμενες αρνητικές τιμές υποδεικνύουν μία τάση υπο-πρόγνωσης, ενώ επαναλαμβανόμενες θετικές τιμές υποδεικνύουν τάση υπερ-πρόβλεψης. (Sujit, 2017)

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτουν τα αποτελέσματα της πρόγνωσης της ζήτησης όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Επισημαίνεται, ότι για τους κωδικούς η πρόγνωση των οποίων πραγματοποιήθηκε με την προσέγγιση Ποσότητα/Πλοίο, ο αριθμός των πλοίων για το επόμενο έτος τέθηκε ίσος με τον μέσο όρο των πλοίων που εμφάνισαν την ανάγκη για τον εκάστοτε κωδικό τα τελευταία 4 χρόνια.

Πίνακας 5-1 Αποτελέσματα πρόγνωσης ζήτησης

Κωδικός ανταλλακτικού	Προσέγγιση	Μέθοδος	MAPE	RMSE	MAD	Πρόγνωση (τεμ.)
Maker Reference 1	Συνολική ποσότητα	Μέση Ποσότητα (2 έτη)	-	-	-	18
Maker Reference 2	Συνολική ποσότητα	Μέση Ποσότητα (2 έτη)	-	-	-	12
Maker Reference 3	Ποσότητα/Πλοίο	Εκθ. Εξομάλυνση	12%	0,3	0,3	22
Maker Reference 4	Συνολική ποσότητα	Κινούμενος Μ.Ο.	17%	1,4	1,1	3
Maker Reference 5	Ποσότητα/Πλοίο	Εκθ. Εξομάλυνση	15%	3,8	2,8	156
Maker Reference 6	Συνολική ποσότητα	TSB	13%	26,3	24,5	80
Maker Reference 7	Ποσότητα/Πλοίο	Εκθ. Εξομάλυνση	13%	1,6	1,3	41
Maker Reference 8	Συνολική ποσότητα	Εκθ. Εξομάλυνση	11%	23,5	14,7	70
Maker Reference 9	Συνολική ποσότητα	Croston's	19%	0,4	0,4	1
Maker Reference 10	Ποσότητα/Πλοίο	Κινούμενος Μ.Ο.	19%	3,1	2,2	134
Maker Reference 11	Συνολική ποσότητα	SBA	22%	18,9	15,9	35
Maker Reference 12	Συνολική ποσότητα	Κινούμενος Μ.Ο.	10%	30,2	20,8	132
Maker Reference 13	Ποσότητα/Πλοίο	Εκθ. Εξομάλυνση	13%	8,2	6,7	619
Maker Reference 14	Ποσότητα/Πλοίο	Εκθ. Εξομάλυνση	8%	5,8	4,9	104

Οι κωδικοί Maker Reference 1 και Maker Reference 2 έχουν αγοραστεί τα τελευταία 2 χρόνια. Συνεπώς δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για την εφαρμογή και την αξιολόγηση κάποιας μεθόδου και έτσι επιλέγεται σαν πρόγνωση η μέση ποσότητα των 2 ετών.

6 Στρατηγική Αναπλήρωσης

6.1 Απόθεμα ασφαλείας

Στα προβλήματα διαχείρισης αποθεμάτων ο προσδιορισμός του σημείου αναπαραγγελίας και του αποθέματος ασφαλείας αποτελούν κρίσιμες αποφάσεις. Το σημείο αναπαραγγελίας (Re-order point, ROP) υποδεικνύει το βέλτιστο σημείο για την τοποθέτηση παραγγελίας για το αποθηκευμένο εξάρτημα. Το απόθεμα ασφαλείας (Safety Stock, SS) από την άλλη προσφέρει το απαιτούμενο επίπεδο εξυπηρέτησης ή ασφάλειας έναντι της έλλειψης αποθέματος και του κόστους που αυτή συνεπάγεται για την επιχείρηση (stock-out cost). (Fotopoulos & Wang, 1988) (Schmidt, Hartmann, & Nyhuis, 2012)

Θεωρώντας ότι η ζήτηση των εξαρτημάτων και ο χρόνος παράδοσής τους δεν είναι σταθερές τιμές, αλλά ακολουθούν κανονική κατανομή, χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος για τον υπολογισμό του αποθέματος ασφαλείας (Fotopoulos & Wang, 1988):

$$Safety\ Stock = Z \sqrt{E(T)\sigma_d^2 + E^2(d)\sigma_T^2}$$

Όπου:

$E(T)$: Αναμενόμενος χρόνος παράδοσης

$E(d)$: Αναμενόμενη ετήσια ζήτηση

σ_d^2 : Η τυπική απόκλιση της ζήτησης

σ_T^2 : Η τυπική απόκλιση του χρόνου παράδοσης

Z : προκύπτει από τους πίνακες της τυποποιημένης κανονικής κατανομής, με βάση το βαθμό εξυπηρέτησης.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν δημιουργηθεί στα παραπάνω βήματα, ο αναμενόμενος χρόνος παράδοσης $E(T)$ αντιστοιχεί στο μέσο χρόνο παράδοσης (Average Lead Time) ανηγμένος στον ορίζοντα της ανάλυσης, δηλαδή σε έτη, όπως και η τυπική απόκλιση σ_T η οποία πρέπει να είναι ανηγμένη στο έτος. Ενώ η αναμενόμενη ετήσια ζήτηση $E(d)$ αντιστοιχεί στην προβλεπόμενη ποσότητα η οποία προέκυψε από την πρόγνωση της ζήτησης που προηγήθηκε.

Επιπρόσθετα το σημείο αναπαραγγελίας (Re-order point), δίνεται από τον τύπο (Fotopoulos & Wang, 1988):

$$ROP = E(T)E(d) + Safety\ Stock$$

Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης στρατηγικής αναπλήρωσης, πρέπει να υπολογιστεί η ποσότητα του αποθέματος ασφαλείας που θα ισορροπεί το κόστος τήρησης του αποθέματος ασφαλείας με αυτό του Stock-out. Για τον υπολογισμό αυτό χρειάζεται να προσδιοριστούν οι συναρτήσεις κόστους τόσο για το απόθεμα ασφαλείας, όσο και για το

Stock-out. Ενώ στη συνέχεια υπολογίζεται και το συνολικό κόστος της στρατηγικής τήρησης αποθέματος που εξετάζεται σε αυτή τη διπλωματική, ώστε να προσδιοριστεί η μείωση του κόστους προμηθειών που επιτυγχάνεται από το μοντέλο.

6.2 Κόστος αποθέματος ασφαλείας

Το κόστος του αποθέματος ασφαλείας περιλαμβάνει 5 παράγοντες κόστους όπως παρουσιάζονται στην παρακάτω εξίσωση:

$$\begin{aligned} \text{Κόστος αποθέματος ασφαλείας} \\ = \text{Αγορά} + \text{Αποστολή} + \text{Διαχείριση} + \text{Αποθήκευση} + \text{Κόστος κεφαλαίου} \end{aligned}$$

Οι παραπάνω όροι αναλύονται ως εξής:

- Αγορά: αφορά το κόστος για την αγορά των μονάδων του αποθέματος ασφαλείας. Η τιμή αγοράς αυτών των ποσοτήτων ορίζεται ως η Μέση τιμή αγοράς για το εκάστοτε εξάρτημα, όπως αυτή έχει προκύψει από τις παραγγελίες που έχουν πραγματοποιηθεί τα προηγούμενα χρόνια.

$$\text{Αγορά} = \text{Απόθεμα Ασφαλείας} \cdot \text{Μέση τιμή αγοράς}$$

- Αποστολή: Αναφέρεται στο κόστος αποστολής των εξαρτημάτων από την τοποθεσία της αποθήκης, προς τα πλοία στα οποία πρέπει να φτάσουν. Το κόστος για την αποστολή των εκάστοτε εξαρτημάτων είναι διαφορετικό για κάθε εξάρτημα και εξαρτάται από την προτεραιότητα της παραγγελίας.
 - i. Όταν η παραγγελία είναι ρουτίνας συμβολίζεται με Cr. Το κόστος αποστολής παραγγελιών ρουτίνας είναι συνήθως χαμηλό, επειδή οι παραγγελίες ρουτίνας συνήθως ομαδοποιούνται και έτσι μία αποστολή περιλαμβάνει περίπου 10 παραγγελίες. Έτσι το κόστος της αποστολής μοιράζεται στις εκάστοτε παραγγελίες, ελαττώνοντας σημαντικά το κόστος της κάθε μεμονωμένης παραγγελίας.
 - ii. Όταν η παραγγελία είναι υψηλής προτεραιότητας (Spot Order), το κόστος αποστολής συμβολίζεται με Cs. Επειδή οι παραγγελίες με υψηλή προτεραιότητα δεν μπορούν να ομαδοποιηθούν καθώς υπάρχει η ανάγκη να εκτελεστούν άμεσα, το κόστος αποστολής τους είναι σημαντικά μεγαλύτερο συγκριτικά με τις παραγγελίες ρουτίνας, όπως θα φανεί και παρακάτω.

Στην περίπτωση αγοράς ποσοτήτων για τη δημιουργία αποθέματος, οι παραγγελίες δεν είναι επείγουσες, αλλά αποτελούν μία στρατηγική σχεδιασμού. Έτσι το κόστος αποστολής είναι Cr. Το κόστος αποστολής είναι ένα σταθερό κόστος που αφορά την κάθε αποστολή και όχι την ποσότητα του εξαρτήματος που αποστέλλεται. Για αυτό το λόγο, το συνολικό κόστος αποστολής για ένα εξάρτημα το οποίο θα διατηρηθεί σε απόθεμα είναι το Cr πολλαπλασιασμένο με τον αριθμό αποστολών που υπολογίζεται ότι θα πρέπει να πραγματοποιηθούν για το εκάστοτε ανταλλακτικό. Όπου:

$$\text{Αριθμός αποστολών} = \frac{\text{Απόθεμα Ασφαλείας}}{\text{Μέση ποσότητα παραγγελίας}}$$

Ο οποίος στρογγυλοποιείται θετικά ώστε να είναι ακέραιος. Έτσι το κόστος αποστολής είναι:

$$\text{Αποστολή} = Cr \cdot \text{Αριθμός αποστολών}$$

- Διαχείριση: Αναφέρεται στο διαχειριστικό κόστος για την τοποθέτηση μίας παραγγελίας. Έτσι για την περίπτωση που μελετάται, η παραγγελία θα τοποθετηθεί μία φορά για ένα μεγάλο αριθμό εξαρτημάτων από τον κάθε κωδικό, επομένως αυτό το κόστος υπολογίζεται μία φορά για κάθε κωδικό. Το κόστος αυτό είναι δύσκολο να προσδιοριστεί από μία επιχείρηση, ενώ οι μέθοδοι υπολογισμού του διαφέρουν. Στην επιχείρηση που εξετάζεται υπολογίζεται ότι το κόστος αυτό ανέρχεται σε 19\$ για τις παραγγελίες ρουτίνας και σε 45\$ για τις επείγουσες παραγγελίες. Ωστόσο το απόθεμα ασφαλείας θα αγοραστεί μαζί με τη συνολική ετήσια ποσότητα, επομένως συνεπάγεται μηδενικό διαχειριστικό κόστος. Άρα:

$$\text{Διαχείριση} = 0\$$$

- Αποθήκευση: Αφορά το κόστος αποθήκευσης του αποθέματος το οποίο υπολογίζεται σε παλέτες. Το κόστος τήρησης μίας ευρωπαϊκής (EURO PALLET) για ένα έτος υπολογίζεται στα 1800\$. Σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης για τις ευρωπαϊκές, το ασφαλές βάρος λειτουργίας είναι 1500 κιλά για ισοκαταμεμημένα φορτία, ενώ για μη ισοκαταμεμημένα φορτία είναι 1000 κιλά. Έτσι το κόστος αποθήκευσης προκύπτει βάσει του βάρους του εκάστοτε εξαρτήματος. Οι παλέτες αποθήκευσης δεσμεύονται με διάρκεια ενός έτους. Έτσι το κόστος αποθήκευσης για το απόθεμα του κάθε εξαρτήματος θα είναι:

$$\text{Αποθήκευση} = \frac{\text{Απόθεμα Ασφαλείας} \cdot \text{Μέσο βάρος} \cdot 1800\$}{1000Kg}$$

- Κόστος κεφαλαίου: αφορά το κόστος που προκύπτει από τη δέσμευση των κεφαλαίων της επιχείρησης για την απόκτηση και την τήρηση του αποθέματος. Προκύπτει από τα δεσμευμένα κεφάλαια και το επιτόκιο αναγωγής.

$$\text{Κόστος κεφαλαίου} = (\text{Απόθεμα Ασφαλείας} \cdot \text{Τιμή αγοράς} + \text{Αποθήκευση}) \cdot wacc$$

Εφόσον οι θέσεις αποθήκευσης δεσμεύονται από την αρχή του έτους με διάρκεια ενός έτους και τα χρήματα καταβάλλονται εφάπαξ, το κόστος αποθήκευσης υπολογίζεται και αυτό ως δεσμευμένο κεφάλαιο.

6.3 Κόστος έλλειψης αποθέματος (Stock-out cost)

Το stock-out cost αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιλογή του βέλτιστου αποθέματος ασφαλείας. Το stock-out cost αντιστοιχεί

στο κόστος που θα επωμιστεί η επιχείρηση στην περίπτωση που εγερθεί η ανάγκη για έναν από τους κωδικούς που προσδιορίστηκαν στα προηγούμενα βήματα και δεν υπάρχει διαθέσιμο απόθεμα ανταλλακτικών για να ικανοποιηθεί άμεσα η ανάγκη αυτή.

Ένας παράγοντας ο οποίος επηρεάζει σημαντικά το κόστος μίας παραγγελίας ενός εξαρτήματος (όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο απόθεμα), αποτελεί η αναγκαιότητα της παραγγελίας. Αν ένα εξάρτημα κριθεί κρίσιμο για τη λειτουργία του πλοίου, τότε η παραγγελία θα τεθεί σε υψηλή προτεραιότητα με στόχο την όσο το δυνατόν γρηγορότερη ολοκλήρωσή της. Για τους σκοπούς της εργασίας, η πιθανότητα ένα εξάρτημα να ζητηθεί με υψηλή προτεραιότητα θα είναι ίση με το πεδίο Spot Ratio το οποίο έχει αναφερθεί στις προηγούμενες ενότητες και έχει αποτελέσει έναν από τους βασικούς άξονες της ανάλυσης. Έτσι το Stock-out cost θα προκύπτει ως εξής:

Stock – out cost

$$= [SpotRatio \cdot (Cs \cdot \text{Αριθμός αποστολών} + \text{Μέση Τιμή Κατασκευαστή} \cdot \text{Ζητούμενη ποσότητα} + \text{Άμεση Διαχείριση} \cdot \text{Αριθμός αποστολών}) + (1 - SpotRatio) \cdot (Cr \cdot \text{Αριθμός αποστολών} + \text{Μέση Τιμή Αγοράς} \cdot \text{Ζητούμενη ποσότητα} + \text{Διαχείριση} \cdot \text{Αριθμός αποστολών})] \cdot (1 - B.E.)$$

Όπου:

- Cs: κόστος αποστολής μίας παραγγελίας υψηλής προτεραιότητας για το συγκεκριμένο εξάρτημα
- Άμεση διαχείριση: το κόστος για τη διαχείριση μίας παραγγελίας με υψηλή προτεραιότητα το οποίο διαφέρει από αυτό μίας παραγγελίας ρουτίνας και είναι ίσο με 45\$, όπως αυτό έχει υπολογιστεί από την επιχείρηση που μελετάται.

Στην περίπτωση που η παραγγελία είναι υψηλής προτεραιότητας, η αγορά πραγματοποιείται από τον επίσημο κατασκευαστή του εξαρτήματος (με υψηλότερο κόστος συνήθως) καθώς αυτός είναι συνήθως ο μόνος που έχει το εξάρτημα σε απόθεμα και μπορεί να αποσταλεί άμεσα ή με ελάχιστες καθυστερήσεις. Η τιμή του κατασκευαστή συνήθως είναι υψηλότερη από τη μέση τιμή αγοράς του προϊόντος που έχει προκύψει από τα δεδομένα του παρελθόντος.

Η ζητούμενη ποσότητα προκύπτει ως η διαφορά μεταξύ του αποθέματος ασφαλείας για Βαθμό Εξυπηρέτησης (B.E.) 100% και του εκάστοτε αποθέματος ασφαλείας που έχει επιλεγεί. Έτσι είναι:

$$\text{Ζητούμενη Ποσότητα} = SS(100\%) - SS(x\%)$$

Όπου το «x» αντιστοιχεί στον επιλεγμένο βαθμό εξυπηρέτησης.

Επιπλέον είναι:

$$\text{Αριθμός Αποστολών} = \frac{\text{Ζητούμενη Ποσότητα}}{\text{Μέση ποσότητα παραγγελίας}}$$

Ο αριθμός αποστολών στρογγυλοποιείται προς τα θετικά και είναι ακέραιος. Επισημαίνεται σε αυτό το σημείο ότι ο όρος «1-B.E.» εκφράζει την πιθανότητα η ζήτηση να ξεπεράσει το απόθεμα ασφαλείας.

6.4 Προσδιορισμός βέλτιστης ποσότητας αποθέματος ασφαλείας

Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης τιμής του αποθέματος ασφαλείας, βασιζόμαστε σε δύο παράγοντες του κόστους που αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, το κόστος τήρησης του αποθέματος ασφαλείας και το κόστος έλλειψης του αποθέματος. Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται άμεσα και συνδέονται μέσω του Βαθμού Εξυπηρέτησης. Η επιλογή της βέλτιστης τιμής του αποθέματος ασφαλείας έγκειται στην ελαχιστοποίηση του αθροίσματος αυτών των δύο παραγόντων κόστους. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα στοιχεία για έναν ψεκαστήρα βαλβίδας έγχυσης καυσίμου, που ανήκει στους κωδικούς που προσδιορίστηκαν ως τα πιο σημαντικά common parts (Maker Reference 5).

Πίνακας 6-1 Στοιχεία ψεκαστήρα βαλβίδας έγχυσης καυσίμου (Maker Reference 5)

Ψεκαστήρας βαλβίδας έγχυσης καυσίμου	
Μέση τιμή αγοράς (1 μονάδα)	\$ 114,28
Τιμή κατασκευαστή	\$ 148,66
Κόστος Αποθήκευσης (pallet/year)	\$ 1.800,00
Βάρος/παλέτα (kg)	1000
Επιτόκιο αναγωγής	4,96%
Spot Ratio	26%
Cr	\$ 340,07
Cs	\$ 712,88
Διαχείριση	\$ 19,00
Άμεση διαχείριση	\$ 45,00
E(T)	0,05
σ_T	0,06
E(d)	13,25
σ_D	3,41
Αριθμός πλοίων	11,75
Μέσο βάρος (kg)	1,5
Πρόγνωση ζήτησης	156
Μέση ποσότητα παραγγελίας	10

Με βάση τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα ανάλογα με το Βαθμό Εξυπηρέτησης.

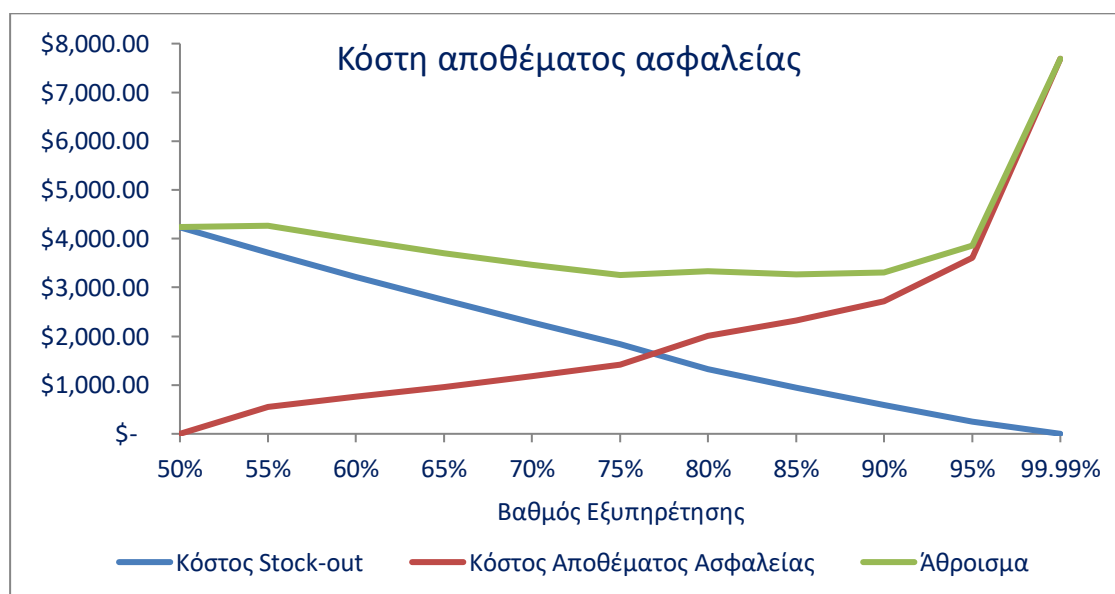
Πίνακας 6-2 Κόστη αποθέματος ασφαλείας Maker Reference 5 ανάλογα με τον Βαθμό Εξυπηρέτησης

Βαθμός Εξυπηρέτησης	Z	Απόθεμα Ασφαλείας	Κόστος Stock-out	Κόστος Αποθέματος Ασφαλείας	Άθροισμα
50%	0	0	\$4.233,40	-	\$ 4.233,40
55%	0,13	1,71	\$3.715,09	\$545,52	\$ 4.260,61
60%	0,27	3,56	\$3.211,39	\$766,78	\$ 3.978,16
65%	0,39	5,14	\$2.741,78	\$956,42	\$ 3.698,20
70%	0,53	6,98	\$2.281,91	\$1.177,68	\$ 3.459,58
75%	0,68	8,96	\$1.840,71	\$1.414,73	\$ 3.255,44
80%	0,84	11,07	\$1.328,06	\$2.007,67	\$ 3.335,73
85%	1,04	13,70	\$947,34	\$2.323,74	\$ 3.271,09
90%	1,29	16,99	\$590,98	\$2.718,84	\$ 3.309,82
95%	1,64	21,61	\$243,94	\$3.612,05	\$ 3.855,99
97,5%	1,96	25,82	\$108,98	\$4.117,77	\$ 4.226,75
99%	2,33	30,70	\$32,96	\$5.042,59	\$ 5.075,55
99,50%	2,58	33,99	\$14,45	\$5.437,68	\$ 5.452,13
99,99%	3,79	49,94	-	\$7.690,03	\$ 7.690,03

Όπως προαναφέρθηκε, στόχος της ανάλυσης είναι η επιλογή του βέλτιστου αποθέματος ασφαλείας για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους. Γίνεται λοιπόν σαφές ότι θα πρέπει να επιλεγεί η ποσότητα του αποθέματος ασφαλείας που θα ελαχιστοποιεί το άθροισμα:

$$\min(\text{Stock - out cost} + \text{Κόστος αποθέματος Ασφαλείας})$$

Η στρατηγική μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητή βλέποντας το παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 6-1 Κόστη αποθέματος ασφαλείας Maker Reference 5 ανάλογα με τον Βαθμό Εξυπηρέτησης

Γίνεται εμφανές ότι η τιμή στην οποία ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος είναι σε βαθμό εξυπηρέτησης 75%, όπου το απόθεμα ασφαλείας είναι 8,96 και το συνολικό κόστος 3.255,44\$. Ωστόσο υπάρχουν δύο παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- Το σημείο αυτό μπορεί να μην είναι το πραγματικό ελάχιστο του συνολικού κόστους καθώς το βήμα του βαθμού εξυπηρέτησης είναι 5%.
- Το απόθεμα ασφαλείας πρέπει να είναι ακέραιο καθώς δεν είναι δυνατό να αγοραστούν 8,96 τεμάχια από ένα εξάρτημα.

Επομένως, το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος των δυνατών (ακέραιων) τιμών γύρω από το ελάχιστο που εντοπίστηκε. Υπολογίζεται λοιπόν το συνολικό κόστος και ο Β.Ε. για απόθεμα ασφαλείας 7,8,9,10 και 11 μονάδες προϊόντος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6-3 Εύρεση του βέλτιστου αποθέματος ασφαλείας (Maker Reference 5)

Β.Ε.	Z	Απόθεμα Ασφαλείας	Κόστος Stock-out	Κόστος Αποθέματος Ασφαλείας	Άθροισμα
70,24%	0,53	7	\$2.263,11	\$1.179,71	\$ 3.442,82
72,81%	0,61	8	\$2.033,84	\$1.299,65	\$ 3.333,49
75,27%	0,68	9	\$1.819,43	\$1.419,60	\$ 3.239,03
77,61%	0,76	10	\$1.516,44	\$1.539,55	\$ 3.055,99
79,81%	0,83	11	\$1.342,32	\$1.999,57	\$ 3.341,89

Από τον παραπάνω πίνακα εξάγεται το συμπέρασμα ότι το βέλτιστο απόθεμα ασφαλείας για το συγκεκριμένο εξάρτημα είναι 10 μονάδες. Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται η βέλτιστη ποσότητα του αποθέματος ασφαλείας για όλα τα common parts που εντοπίστηκαν στις παραπάνω ενότητες της εργασίας, ενώ υπολογίστηκε και το σημείο αναπαραγγελίας που συμπληρώνει την βέλτιστη στρατηγική αναπλήρωσης του αποθέματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6-4 Αποθέματα Ασφαλείας και Σημεία Αναπαραγγελίας των κοινών ανταλλακτικών

Κωδικός ανταλλακτικού	Βαθμός Εξυπηρέτησης	Απόθεμα Ασφαλείας	Σημείο Αναπαραγγελίας
Maker Reference 1	80,02%	4	6
Maker Reference 2	87,66%	2	4
Maker Reference 3	88,60%	2	3
Maker Reference 4	98,70%	1	1
Maker Reference 5	87,25%	15	22
Maker Reference 6	85,17%	7	11
Maker Reference 7	92,40%	7	10
Maker Reference 8	93,97%	11	15
Maker Reference 9	99,13%	1	1
Maker Reference 10	84,48%	11	18
Maker Reference 11	92,65%	7	9
Maker Reference 12	82,97%	13	21
Maker Reference 13	83,08%	42	73
Maker Reference 14	98,53%	26	33

Έχοντας υπολογίσει την βέλτιστη ποσότητα του αποθέματος ασφαλείας, απομένει ο προσδιορισμός του συνολικού κόστους προμήθειας της στρατηγικής που εξετάζει αυτή η διπλωματική και η σύγκρισή του με το κόστος προμήθειας της στρατηγικής που ακολουθεί αυτή τη στιγμή η επιχείρηση.

6.5 Συνολικό κόστος στρατηγικής που μελετάται

Το συνολικό κόστος προμήθειας της στρατηγικής δημιουργίας αποθέματος που μελετάται, προκύπτει ως εξής:

$$\text{Κόστος αποθέματος} = \text{Αγορά} + \text{Αποστολή} + \text{Διαχείριση} + \text{Αποθήκευση} + \text{Κόστος Κεφαλαίου}$$

Οι παραπάνω όροι αναλύονται ως εξής:

- Αγορά: αφορά το κόστος για την αγορά τόσο της προβλεπόμενης ετήσιας ποσότητας, όσο και για την προμήθεια του αποθέματος ασφαλείας. Η τιμή αγοράς αυτών των ποσοτήτων ορίζεται ως η Μέση τιμή αγοράς για το εκάστοτε εξάρτημα, όπως αυτή έχει προκύψει από τις παραγγελίες που έχουν πραγματοποιηθεί τα προηγούμενα χρόνια.
$$\text{Αγορά} = (\text{Πρόγνωση ζήτησης} + \text{Απόθεμα ασφαλείας}) \cdot \text{Μέση τιμή αγοράς}$$
- Αποστολή: Αναφέρεται στο κόστος αποστολής των εξαρτημάτων από την τοποθεσία της αποθήκης, προς τα πλοία στα οποία πρέπει να φτάσουν. Όπως αναφέρθηκε το κόστος για την αποστολή των εκάστοτε εξαρτημάτων είναι διαφορετικό για κάθε εξάρτημα και εξαρτάται από την προτεραιότητα της παραγγελίας. Στην περίπτωση που εξετάζεται, έχοντας τα ανταλλακτικά σε απόθεμα και άμεσα διαθέσιμα, προσφέρεται η δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης και ομαδοποίησης με άλλες παραγγελίες ώστε να επιτυγχάνεται χαμηλότερο κόστος αποστολής. Έτσι το κόστος αποστολής είναι Cr. Το κόστος αποστολής είναι ένα σταθερό κόστος που αφορά την

κάθε αποστολή και όχι την ποσότητα του εξαρτήματος που αποστέλλεται. Για αυτό το λόγο, το συνολικό κόστος αποστολής για ένα εξάρτημα το οποίο θα διατηρηθεί σε απόθεμα είναι το Cr πολλαπλασιασμένο με τον αριθμό αποστολών που υπολογίζεται ότι θα πρέπει να πραγματοποιηθούν για το εκάστοτε ανταλλακτικό.

$$\text{Αποστολή} = Cr \cdot \text{Αριθμός αποστολών}$$

Όπου,

$$\text{Αριθμός αποστολών} = \frac{\text{Πρόγνωση ζήτησης} + \text{Απόθεμα Ασφαλείας}}{\text{Μέση ποσότητα παραγγελίας}}$$

- Διαχείριση: Αναφέρεται στο διαχειριστικό κόστος για την τοποθέτηση μίας παραγγελίας. Έτσι για την περίπτωση που μελετάται, η παραγγελία θα τοποθετηθεί μία φορά για ένα μεγάλο αριθμό εξαρτημάτων από τον κάθε κωδικό, επομένως αυτό το κόστος υπολογίζεται μία φορά για κάθε κωδικό και είναι κόστος ρουτίνας:

$$\text{Διαχείριση} = 19\$$$

- Αποθήκευση: Το κόστος αποθήκευσης προκύπτει κατά τα γνωστά, σύμφωνα με τη συνολική ποσότητα και το βάρος του κάθε κωδικού. Οι θέσεις αποθήκευσης δεσμεύονται από την αρχή του έτους και για διάρκεια ενός έτους άρα:

$$\begin{aligned} \text{Αποθήκευση} \\ = \frac{(\text{Πρόγνωση ζήτησης} + \text{Απόθεμα Ασφαλείας}) \cdot \text{Μέσο βάρος} \cdot 1800\$}{1000Kg} \end{aligned}$$

- Κόστος κεφαλαίου: αφορά το κόστος που προκύπτει από τη δέσμευση των κεφαλαίων της επιχείρησης για την απόκτηση και την τήρηση του αποθέματος. Προκύπτει από τα δεσμευμένα κεφάλαια και το επιτόκιο αναγωγής. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι λαμβάνεται υπόψη το μέσο επίπεδο αποθέματος. Έτσι είναι:

$$\begin{aligned} \text{Κόστος κεφαλαίου} \\ = \left[\left(\frac{\text{Πρόγνωση ζήτησης}}{2} + \text{Απόθεμα Ασφαλείας} \right) \cdot \text{Τιμή αγοράς} \right. \\ \left. + \text{Αποθήκευση} \right] \cdot wacc \end{aligned}$$

Εφόσον οι θέσεις αποθήκευσης δεσμεύονται από την αρχή του έτους με διάρκεια ενός έτους και τα χρήματα καταβάλλονται εφάπαξ, το κόστος αποθήκευσης υπολογίζεται και αυτό ως δεσμευμένο κεφάλαιο.

Η συμμετοχή των παραπάνω παραγόντων στο συνολικό κόστος της ετήσιας προμήθειας του κωδικού Maker Reference 5, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 6-2 Ανάλυση κόστους εξεταζόμενης στρατηγικής (Maker Reference 5)

6.6 Συνολικό κόστος παρούσας στρατηγικής

Σύμφωνα με την παρούσα στρατηγική η επιχείρηση που μελετάται δεν τηρεί απόθεμα ανταλλακτικών. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι όταν εγείρεται η ζήτηση για κάποιο ανταλλακτικό, ενεργοποιείται η διαδικασία της αγοράς και αποστολής του ανταλλακτικού για την αντικατάστασή του. Το κόστος της προμήθειας εξαρτάται από την αναγκαιότητα της παραγγελίας, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω. Η πιθανότητα εμφάνισης επείγουσας παραγγελίας για το κάθε εξάρτημα είναι Spot Ratio (SR). Έτσι το συνολικό κόστος της υπάρχουσας στρατηγικής της επιχείρησης θα είναι:

$$\text{Συνολικό κόστος} = (1 - SR) \cdot (\text{Αγορά} + \text{Αποστολή} + \text{Διαχείριση})_{\text{Routine}} + \\ SR \cdot (\text{Αγορά} + \text{Αποστολή} + \text{Διαχείριση})_{\text{Spot}}$$

Το παραπάνω κόστος πρέπει να υπολογιστεί για την ίδια ποσότητα ανταλλακτικών με τη στρατηγική που μελετάται παραπάνω προκειμένου να συγκριθούν οι δύο στρατηγικές. Η ποσότητα αυτή είναι:

$$\text{Συνολική ποσότητα προμήθειας} = \text{Πρόγνωση} + \text{Απόθεμα ασφαλείας}$$

Για τις παραγγελίες ρουτίνας (Routine), τα κόστη αυτά διαμορφώνονται ως εξής:

- $\text{Αγορά} = \text{Συνολική ποσότητα προμήθειας} \cdot \text{Μέση τιμή αγοράς}$
- $\text{Αποστολή} = C_R \cdot \text{Αριθμός αποστολών}$
- $\text{Διαχείριση} = 19\$ \cdot \text{Αριθμός αποστολών}$

Ενώ, για τις παραγγελίες με υψηλή προτεραιότητα (Spot), τα κόστη αυτά διαμορφώνονται ως εξής:

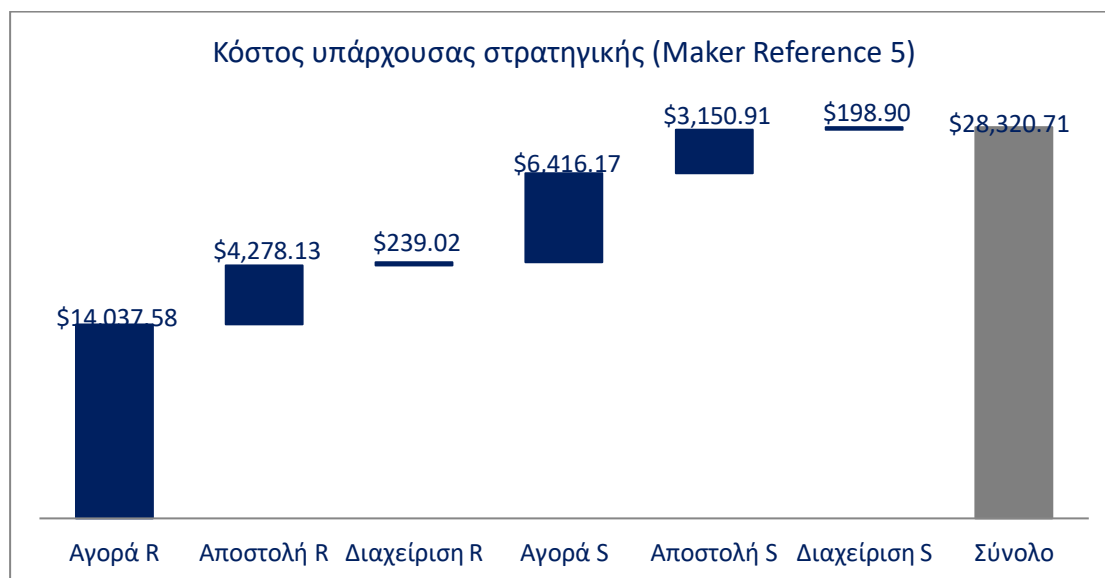
- $\text{Αγορά} = \text{Συνολική ποσότητα προμήθειας} \cdot \text{Μέση τιμή κατασκευαστή}$
- $\text{Αποστολή} = C_S \cdot \text{Αριθμός αποστολών}$
- $\text{Διαχείριση} = 45\$ \cdot \text{Αριθμός αποστολών}$

Ο αριθμός αποστολών υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Αριθμός αποστολών} = \frac{\text{Συνολική ποσότητα προμήθειας}}{\text{Μέση ποσότητα παραγγελίας}}$$

Ενώ στρογγυλοποιείται προς τα πάνω για να είναι ακέραιος.

Η συμμετοχή των παραπάνω παραγόντων στο συνολικό κόστος της ετήσιας προμήθειας του κωδικού Maker Reference 5, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα. Τα σύμβολα R και S, αντιστοιχούν σε κόστη ρουτίνας και επείγουσας παραγγελίας αντίστοιχα.



Εικόνα 6-3 Ανάλυση κόστους υπάρχουσας στρατηγικής (Maker Reference 5)

6.7 Αποτελέσματα

Έχοντας προσδιορίσει τις συναρτήσεις του κόστους για τις δύο στρατηγικές αναπλήρωσης (παρούσα και εξεταζόμενη), μπορούν πλέον να υπολογιστούν τα συνολικά ετήσια κόστη της προμήθειας των 14 κοινών ανταλλακτικών. Εφαρμόζοντας στις συναρτήσεις κόστους τα στοιχεία του κάθε ανταλλακτικού προκύπτουν τα αποτελέσματα όπως αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6-5 Σύγκριση κόστους υπάρχουσας και προτεινόμενης στρατηγικής

Κωδικός ανταλλακτικού	Στρατηγική Δημιουργίας Αποθέματος	Παρούσα Στρατηγική
Maker Reference 1	\$34.813,94	\$34.281,27
Maker Reference 2	\$18.214,38	\$20.069,57
Maker Reference 3	\$18.761,97	\$23.548,71
Maker Reference 4	\$1.511,34	\$2.535,22
Maker Reference 5	\$25.711,57	\$28.320,71
Maker Reference 6	\$13.242,42	\$13.615,33
Maker Reference 7	\$4.959,56	\$6.465,92
Maker Reference 8	\$3.747,85	\$5.032,83
Maker Reference 9	\$935,36	\$1.047,07
Maker Reference 10	\$5.105,83	\$7.780,00
Maker Reference 11	\$2.633,47	\$2.761,53
Maker Reference 12	\$4.768,42	\$6.299,02
Maker Reference 13	\$5.519,36	\$7.872,04
Maker Reference 14	\$1.669,08	\$2.447,65

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι για το ανταλλακτικό Maker Reference 1, η παρούσα στρατηγική αποδεικνύεται πιο αποτελεσματική από αυτή που εξετάζει η ανάλυση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το Maker Reference 1 παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Υψηλή τιμή αγοράς (1.262,19\$)
- Υψηλό βάρος (116,4 kg)

Και συνεπώς συνεπάγεται μεγάλα κόστη αποθήκευσης και δεσμευμένου κεφαλαίου, αυξάνοντας το κόστος της στρατηγικής δημιουργίας αποθέματος πάνω από αυτό της παρούσας στρατηγικής προμηθειών. Συνεπώς ο κωδικός Maker Reference 1 αφαιρείται από την ανάλυση.

Συνοψίζοντας, εφαρμόζοντας τη στρατηγική δημιουργίας αποθέματος που προσδιορίστηκε στις παραπάνω ενότητες, για τους 13 κωδικούς ανταλλακτικών που εντοπίστηκαν, το συνολικό κόστος προμήθειας ανέρχεται στο ποσό των 106.780\$. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί σε μείωση 16,4% συγκριτικά με την υπάρχουσα στρατηγική προμηθειών, και εξοικονόμηση 21.014\$ ετησίως για το τμήμα προμηθειών της υπό εξέτασης επιχείρησης.

Ωστόσο, η επιλογή της επιχείρησης είναι η εφαρμογή της νέας αυτής στρατηγικής για τους κωδικούς οι οποίοι αποδίδουν μείωση του κόστους προμηθειών $\geq 10\%$. Έτσι εξαιρούνται ακόμα 3 κωδικοί από την ανάλυση και το τελικό σύνολο αποτελείται από 10 κωδικούς ανταλλακτικών. Για αυτούς τους κωδικούς το συνολικό κόστος της στρατηγικής δημιουργίας αποθέματος ανέρχεται στις 72.689\$ ετησίως. Έτσι επιτυγχάνεται μείωση του κόστους προμήθειας των 10 κωδικών κατά 20,4%, ενώ εξοικονομούνται 18.658\$ ετησίως.

7 Σύνοψη μοντέλου και πεδίο εφαρμογής

Το μοντέλο που παρουσιάστηκε στην παρούσα διπλωματική οδήγησε σε αξιόλογα αποτελέσματα με σημαντική μείωση του κόστους προμηθειών συγκεκριμένων κωδικών ανταλλακτικών. Για την υλοποίηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης και ανάλυσης δεδομένων. Αυτές οι μέθοδοι αφορούν ποσοτικά και όχι ποιοτικά δεδομένα. Έτσι, καθίσταται δυνατή η εφαρμογή του μοντέλου, από επιχειρήσεις οι οποίες διαχειρίζονται τη συντήρηση ενός στόλου ή γραμμής παραγωγής με πληθώρα μηχανολογικού εξοπλισμού. Κατά συνέπεια, το πεδίο εφαρμογής του μοντέλου δεν περιορίζεται στον κλάδο της ναυτιλίας.

Επιχειρήσεις οι οποίες θα μπορούσαν να εφαρμόσουν το μοντέλο που αναπτύχθηκε είναι οι εξής:

- Ναυτιλιακές επιχειρήσεις οι οποίες διαχειρίζονται ένα στόλο πλοίων
- Αεροπορικές επιχειρήσεις, οι οποίες διαχειρίζονται ένα στόλο αεροσκαφών, η συντήρηση των οποίων απαιτεί πληθώρα ανταλλακτικών
- Βιομηχανικές επιχειρήσεις παραγωγής προϊόντων. Οι γραμμές παραγωγής των βιομηχανικών επιχειρήσεων απαιτούν πληθώρα ανταλλακτικών για τη συντήρηση και την απρόσκοπτη λειτουργία τους. Ιδίως στην περίπτωση ύπαρξης παράλληλων γραμμών παραγωγής, η ύπαρξη κοινών ανταλλακτικών είναι αναπόφευκτη
- Πετρελαϊκές επιχειρήσεις εξόρυξης και διύλισης. Οι επιχειρήσεις αυτές βασίζονται στην απρόσκοπτη λειτουργία συνόλων μηχανολογικού εξοπλισμού, τα οποία απαιτούν σημαντικές ποσότητες ανταλλακτικών ετησίως και η ύπαρξη κοινών ανταλλακτικών είναι πιθανή
- Μεταφορικές επιχειρήσεις, οι οποίες διαχειρίζονται τη συντήρηση ενός στόλου μεταφορικών μέσων
- Συντήρηση εξοπλισμού εθνικής άμυνας όπως αεροσκάφη, πλοία και οχήματα ξηράς τα οποία διαχειρίζεται ο ελληνικός στρατός.

Βασικές προϋποθέσεις για την αποτελεσματική εφαρμογή του μοντέλου από μία ναυτιλιακή επιχείρηση, αλλά και κάθε επιχείρηση η οποία διαχειρίζεται τη συντήρηση ενός στόλου ή συνόλου παραγωγής, είναι:

- Η ύπαρξη οργανωμένου συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης των δεδομένων αγοράς ανταλλακτικών τουλάχιστον τα τελευταία 4 έτη
- Η διαχείριση ικανοποιητικού μεγέθους στόλου ή παραγωγικού συνόλου από την επιχείρηση
- Η ύπαρξη αξιόπιστων δεδομένων που αφορούν τους παράγοντες κόστους των προμηθειών
- Ο αξιόπιστος προσδιορισμός της αναγκαιότητας του κάθε ανταλλακτικού για την αποτελεσματική λειτουργία του στόλου ή του παραγωγικού συνόλου
- Η ύπαρξη έμπειρων στελεχών τα οποία είναι σε θέση να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Τηρώντας τις παραπάνω απαιτήσεις, μία τέτοια επιχείρηση μπορεί να προσδιορίσει τα κοινά ανταλλακτικά με τη χρήση του αλγορίθμου dbscan.

Οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις πιο συγκεκριμένα, μπορούν να εφαρμόσουν το μοντέλο θέτοντας τους εξής περιορισμούς για τη μείωση του όγκου των δεδομένων:

- Μέσος ή Σταθμισμένος χρόνος παράδοσης > 20 ημέρες
- Αριθμός συμβατών πλοίων ≥ 3
- Παραγγελίες που δεν αφορούν Dry Dock > 25%
- Spot Ratio > 0%

Οι βέλτιστες μεταβλητές για αποτελεσματικό clustering μέσω του dbscan, όπως αυτές προσδιορίστηκαν από την παρούσα ανάλυση είναι:

- Μέσος ή Σταθμισμένος χρόνος παράδοσης
- Αριθμός συμβατών πλοίων
- Παραγγελίες που δεν αφορούν Dry Dock
- Spot Ratio
- Αριθμός παραγγελιών ανά έτος

Το πακέτο που χρησιμοποιείται είναι: Michael Hashler and Matthew Piekenbrock (2018), dbscan: Density Based Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) and Related Algorithms.

Στη συνέχεια απαιτείται αξιολόγηση των παρατηρήσεων του cluster 0 του αλγορίθμου για τον προσδιορισμό των πιο ελπιδοφόρων κοινών ανταλλακτικών μίας ναυτιλιακής επιχείρησης.

Για την πρόγνωση της ετήσιας ζήτησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι προσεγγίσεις που αναφέρονται στο *Κεφάλαιο 5*. Οι μέθοδοι που αποδείχθηκε να αποδίδουν καλύτερα στην παρούσα διπλωματική είναι αυτή του Κινούμενου Μέσου Όρου, της εκθετικής εξομάλυνσης και η μέθοδος Croston's με τις παραλλαγές της (SBA και TSB) όπως αυτές περιγράφονται στην *Ενότητα 2.7*. Για τον υπολογισμό της μεθόδου Croston's και SBA μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πακέτο tsintermittent – Nikolaos Kourentzes and Fotios Petropoulos, Intermittent Time Series Forecasting , 2016 σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R.

Ο προσδιορισμός του κατάλληλου αποθέματος ασφαλείας και της βέλτιστης στρατηγικής αναπλήρωσης εξαρτώνται σημαντικά από τις συναρτήσεις κόστους της εκάστοτε επιχείρησης, αλλά και από τη διαδικασία προμηθειών. Ωστόσο, οι εξισώσεις του *Κεφαλαίου 6* μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν σημείο εκκίνησης και να τροποποιηθούν ώστε να αντιστοιχούν στα μεγέθη και τον τρόπο λειτουργίας της εκάστοτε επιχείρησης.

8 Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας όπως αυτός περιγράφηκε στην εισαγωγή, ήταν να αποτελέσει αυτή η εργασία εργαλείο υποστήριξης των αγοραστικών αποφάσεων του τμήματος προμηθειών ναυτιλιακής επιχείρησης, όσον αφορά την προμήθεια κοινών ανταλλακτικών.

Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, πρώτο βήμα αποτέλεσε ο προσδιορισμός των πιο σημαντικών κοινών ανταλλακτικών τα οποία στη συνέχεια απασχόλησαν την ανάλυση. Ο προσδιορισμός αυτών των ανταλλακτικών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας 3 αλγορίθμους clustering. Αξιολογώντας τα αποτελέσματα του clustering από τους 3 αλγορίθμους, κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός των μεταβλητών της ανάλυσης οι οποίες τελικά οδήγησαν στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Έτσι προσδιορίστηκε η ομάδα των κοινών ανταλλακτικών όπως τα υπέδειξε το cluster 0 του αλγορίθμου dbscan. Ύστερα από αξιολόγηση αυτών με περεταίρω επιχειρησιακά κριτήρια, προσδιορίστηκαν τα 14 πιο σημαντικά κοινά ανταλλακτικά.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε πρόγνωση της ζήτησης για τους κωδικούς που προσδιορίστηκαν στο προηγούμενο βήμα. Η πρόγνωση πραγματοποιήθηκε με ανάλυση χρονοσειρών ακολουθώντας δύο προσεγγίσεις, την πρόγνωση της συνολικής ποσότητας και την πρόγνωση της ποσότητας ανά πλοίο. Για την πρόγνωση χρησιμοποιήθηκαν 5 μέθοδοι και επιλέχθηκε η προσέγγιση και η μέθοδος που απέδιδε ικανοποιητικό MAPE. Τα MAPE των τελικών προβλέψεων κυμαίνονταν κατά μέσο όρο στο 14%.

Έχοντας ολοκληρώσει την πρόγνωση των ανταλλακτικών για το επόμενο έτος, προσδιορίστηκε η βέλτιστη στρατηγική αναπλήρωσης. Εντοπίστηκε η βέλτιστη ποσότητα αποθέματος ασφαλείας ώστε να ελαττώνεται το άθροισμα του κόστους τήρησης του αποθέματος ασφαλείας με αυτό της έλλειψης αποθέματος. Στη συνέχεια προσδιορίστηκε το συνολικό κόστος της προτεινόμενης στρατηγικής προμηθειών και της υπάρχουσας στρατηγικής προμηθειών που ακολουθεί αυτή τη στιγμή η επιχείρηση. Επιλέγοντας να εφαρμοστεί η στρατηγική μόνο στους κωδικούς που απέδιδαν μείωση του συνολικού κόστους προμηθειών $\geq 10\%$, η επιχείρηση κατάφερε ελάττωση του κόστους προμηθειών 10 κωδικών κατά 20,4%, εξοικονομώντας 18.658\$ ετησίως.

Για την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας και την επίλυση των επιμέρους προβλημάτων χρησιμοποιήθηκαν ποσοτικές μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης και ανάλυσης δεδομένων. Έτσι, το μοντέλο που αναπτύχθηκε, δεν αφορά μόνο τον τομέα της ναυτιλίας, αλλά δύναται να εφαρμοστεί και σε άλλες επιχειρήσεις και κλάδους, οι οποίες διαχειρίζονται στόλους ή σύνολα βιομηχανικού εξοπλισμού. Για την αποτελεσματική εφαρμογή του μοντέλου, πρέπει να τηρούνται βασικές προϋποθέσεις, και να εφαρμόζονται στοχευμένες παρεμβάσεις για την προσαρμογή του στην εκάστοτε επιχείρηση.

Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της διπλωματικής εργασίας, εντοπίστηκαν οι παρακάτω τομείς που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας:

- Αύξηση του αριθμού των κοινών ανταλλακτικών, είτε με αλλαγή των βασικών μεταβλητών των αλγορίθμων clustering, είτε με την πάροδο του χρόνου και τη δημιουργία νέων αξιόπιστων δεδομένων

- Αύξηση των διαστάσεων της διαδικασίας του clustering, προκειμένου οι αλγόριθμοι να κατευθύνονται αποτελεσματικότερα στη δημιουργία clusters που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της ανάλυσης
- Προσδιορισμός της αναγκαιότητας του κάθε ανταλλακτικού για την αποτελεσματική λειτουργία του πλοίου και την ασφάλεια του πληρώματος
- Προσδιορισμός αξιόπιστων στοιχείων, για τους παράγοντες κόστους που συνδέονται με την προμήθεια των ανταλλακτικών
- Με την πάροδο του χρόνου και την αύξηση των δεδομένων της ζήτησης, δίνεται η δυνατότητα για πρόγνωση της ζήτησης με άλλες μεθόδους όπως την Holt-Winter's seasonal method κατά (Holt, 1957) και (Winters, 1960), ή την Damped Holt's method κατά (Gardner & McKenzie, 1985) οι οποίες δύναται να οδηγήσουν σε περεταίρω μείωση του MAPE της πρόγνωσης.

9 Κατάλογος αναφορών

- Arnold, T. K., Chapman, S., Gatewood, A. K., & Clive, L. (2016). *Introduction to Materials Management | 8th Edition*. Pearson.
- Chatfield, C. (2001). *Time-Series Forecasting*. London, UK: CHAPMAN & HALL/CRC.
- Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J., & Xu, X. (1996). *A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise*. Munich, Germany: Institute of Computer Science, University of Munich.
- Fotopoulos, S., & Wang, M.-C. (1988). *Safety stock determination with correlated demands and arbitrary lead times*. North-Holland: European Journal of Operational Research.
- Gardner, E., & McKenzie, E. (1985). *Forecasting trends in time series*.
- Hamerly, G., & Elkan, C. (2002). *Alternatives to the k-means clustering that find better clusterings*.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data mining - Concepts and Techniques , 3rd edition*. USA: Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier.
- Hartigan, J., & Wong, M. (1979). *Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm*. Journal of the Royal Statistical Society.
- Hemeimat, R., Al-Qatawneh, L., Arafeh, M., & Masoud, S. (2016). *Forecasting Spare Parts Demand Using Statistical Analysis*. Amman, Jordan: American Journal of Operations Research.
- Holt, C. (1957). *Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted averages*. Pittsburgh USA: Carnegie Institute of Technology.
- (23 June 1969). *International Convention on Tonnage Measurement of Ships*. London.
- Jacobs, R., & Chase, R. (2012). *Διοίκηση λειτουργιών και εφοδιαστικής αλυσίδας*. ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Π.Χ.ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ.
- Kriegel, H., Kroger, P., Sander, J., & Zimek, A. (2011). *Density-based Clustering*.
- Morris, M. (2013). *Forecasting Challenges of the Spare Parts industry*. Journal of Business Forecasting.
- Nidheesh, N., Abdul Nazeer, K., & Ameer, P. (2017). *An enhanced deterministic k-means clustering algorithm for cancer subtype prediction from gene expression data*.
- NYU, S. (2020). *Cost of Capital by Sector (US)*. NYU Stern.
- Pena, J., Lozano, J., & Larranaga, P. (1999). *An empirical comparison of four initialization methods for the k-means algorithm*.
- Prandeka, M., & Zarkos, V. (2014). *The Greek maritime transport industry and its influence on the Greek economy*. Eurobank Ergasias S.A.

- Sander, J., Ester, M., Kriegel, H., & Xu, X. (1998). *Density-Based Clustering in Spatial Databases: The Algorithm GDBSCAN and Its Applications*.
- Schmidt, M., Hartmann, W., & Nyhuis, P. (2012). *Simulation based comparison of safety-stock calculation methods*. Hannover, Germany: Elsevier.
- Schuberrt, E., Sander, J., Ester, M., Kriegel, H., & Xu, X. (2017). *DBSCAN Revisited, Revisited: Why and How You Should (Still) Use DBSCAN*.
- Shenstone, L., & Hyndman, R. J. (2005). *Stochastic models underlying Croston's method for intermittent demand forecasting*. Australia: Department of Econometrics and Business Statistics Monash University.
- Shipowners, U. o. (2019). *Greek Shipping and the economy 2019*.
- Sujit, S. (2017). *A Critical Look at Measuring and Calculating Forecast Bias*. Institute of Business Forecasting & Planning.
- Syntetos, A., & Boylan, J. (2001). *On the bias of intermittent demand estimates*. UK: Buckinghamshire Chilterns University College.
- Teunter, R., Syntetos, A., & Zied Babai, M. (2011). *Intermittent Demand: Linking Forecasting to Inventory Obsolescence*. European Journal of Operational Research.
- UNCTAD. (2018). *Review of Maritime Transport*.
- Winters, P. (1960). *Forecasting sales by exponentially weighted moving averages*.
- Zalik, K. R. (2008). *An efficient k-means clustering algorithm*. Maribor, Slovenia: University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Department of Mathematics and Computer Science.
- Ακακιάδου, Γ. (2007). *Μελέτη του αλγορίθμου συσταδοποίησης k-means σε δεδομένα του παγκόσμιου ιστού, Διπλωματική Εργασία*. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Πληροφορικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ανάστος, Α. (2019). *Σχεδίαση και υλοποίηση Κατανεμημένου Αλγορίθμου Συσταδοποίησης σε Ροές Δεδομένων, Πτυχιακή Εργασία*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Πληροφορικής.
- Θεοδωρίδης, Χ. (2012). *Ανάπτυξη συστήματος πρόγνωσης εταιρίας εισαγωγής και εμπορίας βιομηχανικού υδραυλικού εξοπλισμού, Διπλωματική Εργασία*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Καλαμβόκη, Γ. (2017). *Μέθοδοι Πρόβλεψης Χρονοσειρών: Χρονοσειρές στην Ελληνική Οικονομία, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*. Πάτρα, Ελλάδα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Μπουντούρης, Η. (2014). *Επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού με χρήση κατάλληλου λογισμικού (Excel, Lindo)*. ΤΕΙ Ηπείρου.

Νταγολούδη, Α. (2009). *Συστήματα Διαχείρισης Αποθεμάτων: Case Study "Δόμηση Ρόδου"*. Θεσσαλονίκη, Ελλάδα: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Τσολάκης, Κ. (2018). *Ο αλγόριθμος k-means σε Python*. Θεσσαλονίκη: Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Τσουμπού, Π. Κ. (2015). *Σύγκριση αλγορίθμων εξόρυξης γνώσης από πολύ μεγάλες βάσεις δεδομένων, Μεταπτυχιακή Διατριβή*. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Πληροφορικής.